

Правительство Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
«ВЫСШАЯ ШКОЛА ЭКОНОМИКИ»
(НИУ ВШЭ)

УДК 001.18:001.8
Рег. № НИОКТР 122072700008-5
Рег. № ИКРБС

УТВЕРЖДАЮ
Проректор НИУ ВШЭ,
кандидат физико-
математических наук
_____ Д.А. Дагаев
«___» _____ 2022 г.

ОТЧЕТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ И МЕТОДОВ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В УСЛОВИЯХ
ГЛУБОКОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ
(заключительный)

Руководитель НИР,
директор центра, доктор
технических наук, профессор

Ф.Т. Алескеров

Москва 2022

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель НИР, директор центра, доктор технических наук	_____	Ф.Т. Алескеров (введение, заключение)
Исполнители:		
Главный научный сотрудник, кандидат физико-математических наук	_____	А.В. Соколов (введение, заключение)
Директор центра, кандидат экономических наук	_____	А.А. Чулок (подраздел 1.1)
Директор центра	_____	М.Ю. Голанд (подраздел 1.1)
Директор центра	_____	Е.Г. Нечаева (подраздел 2.5)
Директор центра	_____	Н.Н. Тарасова (подраздел 2.6)
Заместитель директора центра	_____	Я.Я. Радомирова (подраздел 1.6)
Заместитель директора центра	_____	А.Ю. Гребенюк (подраздел 1.4, 1.6)
Профессор	_____	В.В. Подиновский (подраздел 1.7)

Профессор	_____	А.С. Беленький (подраздел 1.8)
Профессор	_____	А.Е. Лепский (подраздел 1.8)
Доцент	_____	Л.Г. Егорова (подраздел 2.1)
Доцент	_____	А.Л. Мячин (подраздел 1.5)
Доцент	_____	С.В. Швыдун (подраздел 2.2)
Заведующий лабораторией	_____	О. Саритас (подраздел 1.1)
Заведующий отделом	_____	И.В. Логинова (подраздел 2.7)
Заведующий отделом	_____	В.В. Дементьев (подраздел 2.6)
Заместитель начальника отдела	_____	И.В. Кобинёк (подраздел 2.3)

Ведущий научный сотрудник	_____	С.А. Шашнов (подраздел 2.6)
Ведущий научный сотрудник, кандидат географических наук	_____	И.Ф. Кузьминов (подраздел 1.2)
Ведущий научный сотрудник, PhD	_____	Ю.Я. Дранев (подраздел 1.4, 1.9)
Ведущий научный сотрудник, кандидат политических наук	_____	Л.Н. Проскурякова (подраздел 1.2)
Старший научный сотрудник, кандидат экономических наук	_____	К.О. Вишневский (подраздел 1.3)
Старший научный сотрудник, кандидат экономических наук	_____	Н.Н. Веселитская (подраздел 2.6)
Старший научный сотрудник, кандидат экономических наук	_____	Ю.В. Мильшина (подраздел 1.1, 1.2)
Старший научный сотрудник	_____	М.Н. Коцемир (подраздел 2.5)
Старший научный сотрудник	_____	В.Л. Абашкин (подраздел 1.4)
Старший научный сотрудник	_____	А.Ю. Снегирев (подраздел 1.1)

Старший научный сотрудник	_____	В.И. Якуба (подраздел 1.5)
Научный сотрудник	_____	С. Дутта (подраздел 1.8, 2.8)
Научный сотрудник	_____	Е.С. Очирова (подраздел 2.8)
Научный сотрудник	_____	П.П. Хачикян (подраздел 1.8)
Младший научный сотрудник	_____	С.С. Демин (подраздел 1.8)
Младший научный сотрудник	_____	И.И. Кучин (подраздел 2.6)
Ведущий эксперт	_____	Д.Е. Грибкова (подразделы 1.1, 1.2, 1.3)
Ведущий эксперт	_____	В.С. Изотов (подраздел 2.3)
Ведущий эксперт	_____	А.В. Клыпин (подраздел 2.4)
Ведущий эксперт	_____	А.Ю. Шашков (подраздел 1.1)

Эксперт	_____	А.Е. Пермякова (подраздел 1.7)
Стажер-исследователь	_____	В.Е. Якуткина (подраздел 2.5)
Стажер-исследователь	_____	Д.С. Ткачев (подразделы 2.1, 2.4, 2.7)
Стажер-исследователь	_____	Д.А. Чубарова (подраздел 1.8)
Главный аналитик	_____	Л.А. Росовецкая (подраздел 1.3)
Аналитик	_____	В.А. Саркисянц (подраздел 1.5)
Студент	_____	Д.С. Егоров (подраздел 2.2)
Студент	_____	Д.А. Кобец (подраздел 1.9)
Менеджер	_____	С.И. Шацкая (введение)
Нормоконтроль	_____	В.Е. Якуткина

РЕФЕРАТ

Отчёт 280 с., 1 кн., 32 рис., 27 табл., 489 источн.

СИСТЕМНАЯ МЕТОДОЛОГИЯ ФОРСАЙТА, СЛАБЫЕ СИГНАЛЫ, ДЖОКЕРЫ, ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ, ГЛУБОКАЯ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬ, СЕТЕВОЙ АНАЛИЗ, МЕЖДУНАРОДНАЯ ТОРГОВЛЯ ПРОДОВОЛЬСТВИЕМ, САНКЦИОННЫЕ ОГРАНИЧЕНИЯ, ЛОГИСТИЧЕСКИЕ СЕТИ, УГРОЗЫ ПРИРОДНОГО ХАРАКТЕРА

Цель научного исследования – разработка и исследование методов выявления слабопредсказуемых событий с высоким потенциальным эффектом (джокеров), моделей и методов принятия решений по противодействию джокерам природного и санкционного характера.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- Разработка оригинальных моделей и методов принятия решений по предупреждению и противодействию джокерам;
- Пилотирование моделей и методов принятия решений по предупреждению и противодействию слабопредсказуемым угрозам.

1) В рамках задачи по разработке оригинальных моделей и методов принятия решений по предупреждению и противодействию джокерам: разработаны принципы классификации слабопредсказуемых событий; проведен динамический анализ изменения приоритетов и важности джокеров за последние годы и прогностический анализ этих изменений; предложены форматы представления и разработан прототип базы данных потенциальных слабопредсказуемых событий; разработаны модели и методы принятия решений в условиях глубокой неопределенности наступления джокеров с учетом оценок стоимости мероприятий по предупреждению угроз от них, противодействию их развитию и ликвидации последствий от их наступления, используя различные концепции таких решений и др.

2) Для выполнения задачи по пилотированию моделей и методов принятия решений по предупреждению и противодействию слабопредсказуемым угрозам: разработан прототип программного комплекса оценивания эффектов от слабопредсказуемых угроз техногенного и природного характера; проведен динамический сетевой анализ международной торговли продовольствием с учетом различных сценариев изменений санкционной политики и др.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	11
1 Разработка оригинальных моделей и методов принятия решений по предупреждению и противодействию джокерам	12
1.1 Разработка принципов классификации различных слабопредсказуемых событий.....	12
1.2 Динамический анализ изменения приоритетов и важности таких угроз за последние годы и прогностический анализ этих изменений, в том числе с помощью интеллектуальной системы анализа больших данных iFORA	22
1.3 Анализ влияния джокеров на направления развития глобальных трендов	28
1.4 Создание форматов представления и прототипа базы данных потенциальных слабопредсказуемых событий; подготовка регулярных коротких обзоров, содержащих описание слабопредсказуемых событий и их потенциальных эффектов	36
1.5 Анализ и классификация существующих моделей и методов принятия решений по выявлению, предупреждению и противодействию джокерам.....	85
1.6 Анализ и классификация существующих моделей и методов оценки эффектов слабопредсказуемых событий	115
1.7 Сценарное планирование в условиях глубокой неопределенности и роста вероятности реализации событий-джокеров	118
1.8 Разработка моделей и методов принятия решений в условиях глубокой неопределенности наступления джокеров с учетом оценок стоимости мероприятий по предупреждению угроз от них, противодействию их развитию и ликвидации последствий от их наступления, используя различные концепции таких решений (динамического адаптивного планирования, динамических адаптивных политик, робастного принятия решений и т. д.)	133
1.8.1 Об оценке инвестиционной привлекательности грузовых транспортных систем, функционирующих в условиях неопределенности	133
1.8.2 Аналитический обзор влияния террактов и чрезвычайных ситуаций на безопасность авиационной транспортной инфраструктуры	149

1.8.3 Об оптимальном размытии точечных экспертных оценок и их агрегировании в рамках теории свидетельств	155
1.8.4 Совершенствование интервальной модификации анализа охвата данных с учетом объектов, которые лежат ниже границы наилучшей эффективности	170
1.8.5 Метод туннельной кластеризации в задаче анализа паттернов и его реализация в виде человеко-машинной процедуры	175
1.8.6 Методы и инструменты, используемые для решения проблем принятия решений в условиях глубокой неопределенности	180
1.9 Стохастическое моделирование ущерба от реализации слабопредсказуемых событий.....	183
 2 Пилотирование моделей и методов принятия решений по предупреждению и противодействию слабопредсказуемым угрозам	208
2.1 Разработка прототипа программного комплекса оценивания эффектов от слабопредсказуемых угроз техногенного и природного характера	208
2.2 Исследование слабопредсказуемых событий и методов оценивания эффектов от их наступления в сфере международной торговли продовольствием, проведение сетевого анализа международной торговли продовольствием	216
2.3 Разработка и исследование методов выявления и ранжирования устойчивых поставщиков и покупателей стратегических продуктов с учетом санкционных ограничений	222
2.4 Динамический сетевой анализ международной торговли продовольствием с учетом различных сценариев изменений санкционной политики.....	222
2.5 Динамический анализ отдельных логистических сетей с учетом различных сценариев изменений санкционной политики	222
2.6 Моделирование различных сценариев изменения международной торговли продовольствием с помощью методов форсайта	222
2.7 Разработка моделей и методов принятия решений в сфере торговли продовольствием в условиях глубокой неопределенности, связанной с изменением санкционных ограничений, и риска принятия неверных решений	224

2.8 Разработка прототипа программного комплекса моделирования сценариев изменения международной торговли продовольствием и соответствующей системы поддержки принятия решений	224
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	234
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	236

ВВЕДЕНИЕ

Проект посвящен разработке моделей и методов принятия решений по предупреждению и противодействию слабопредсказуемым угрозам (джокерам), число которых в последние годы быстро растет, что обусловлено усложнением технологий, повсеместно используемых в промышленности, объектах инфраструктуры, социальной сфере, а также в связи с изменениями климата и окружающей среды, связанными с деятельностью человека. Наряду с джокерами техногенного и природного характера текущая ситуация в России характеризуется беспрецедентным санкционным давлением со стороны зарубежных стран, которое в значительной степени носит слабопредсказуемый характер.

Модели и методы выявления потенциальных угроз и их предупреждения, разработанные в рамках проекта, апробированы на двух пилотных кейсах.

Первый кейс посвящен применению методов сценарного анализа для оценки эффекта потенциальных катастроф природного и техногенного характера, которые происходят в результате активизации слабопредсказуемых угроз (джокеров) техногенного и природного характера. Ущерб от таких угроз может быть очень значительным, при этом большинство таких угроз могут быть заблаговременно выявлены, а последствия от их наступления – оценены. Влияние ряда таких угроз может быть купировано за счет принятия определенных управлеченческих решений и проведения организационных мероприятий долговременного, но, зачастую, финансово необременительного характера.

Второй кейс демонстрирует применение моделей сетевого анализа, в т.ч. направленных взвешенных сетей, и методов форсайт-исследований для моделирования сценариев в условиях глубокой неопределенности. В качестве предметной области для применения разработанных методов и моделей использована торговля продовольствием в условиях применения санкций. Разрыв экономических связей между поставщиками продовольствия вынуждает оперативно изменять логистические сети поставок, что, в свою очередь, приводит к сбоям в снабжении товарами населения, комплектующими и материалами производственных компаний, к значительному удорожанию товаров. Сформирована модель логистических и торговых систем в виде направленных взвешенных сетей, на базе которой разработаны методы выявления и ранжирования устойчивых поставщиков и покупателей стратегических продуктов с учетом санкционных ограничений, проведен динамический анализ отдельных логистических сетей и сетей торговли с учетом различных сценариев изменений санкционной политики.

1 Разработка оригинальных моделей и методов принятия решений по предупреждению и противодействию джокерам

1.1 Разработка принципов классификации различных слабопредсказуемых событий

Растущая степень взаимосвязанности сложных систем в глобальных процессах повышает вероятность возникновения событий, вызывающих шоки. Согласно А. Тоффлеру, шок будущего – это дезориентация, которая поражает отдельного человека, корпорацию или страну, когда он или она озадачены переменами и перспективой перемен.¹ Последствия шока могут быть не только негативными и часто зависят от отношения субъекта к событию: событие с негативными последствиями для одной стороны может создать возможности для другой стороны (ценовой шок на энергоресурсы). Также некоторые события, в начале сбивающие с толка, несут за собой позитивные изменения (например, технологические шоки).²

Обобщая различные определения событий «джокеров», изложенных разными авторами, их можно охарактеризовать как слабопредсказуемые события с потенциально высоким уровнем воздействия, низкой вероятностью возникновения и отсутствием ситуаций в прошлом, которые могут убедительно указать на возникновение «джокеров» (слабые сигналы), и объясняемые зачастую лишь постфактум.³

Слабые сигналы перед шоковыми событиями могут умышленно игнорироваться.⁴ Zeisberger, Munro⁵ считают, что слабые сигналы могут игнорироваться по причине предубеждений. Авторы Enria, Farkas, Overby⁶ предполагают, что слабые сигналы могут игнорироваться из-за имеющихся трудностей по отчуждению актива или отказа от проекта, которые потенциально могут оказаться очень дорогостоящими.

¹ Alvin Toffler, Future Shock, Bantam, 1970, ISBN: 0553277375.

² OECD, Future Global Shocks. Improving Risk Governance, 2011, ISBN 978-92-64-11458-6.

³ Ingrid Glette-Iversen, Terje Aven, On the meaning of and relationship between dragon-kings, black swans and related concepts, Reliability Engineering & System Safety, Volume 221, 2021, ISSN 09518320, <https://doi.org/10.1016/j.ress.2021.107625>.

⁴ Laurence B. Siegel, Black Swan or Black Turkey? The State of Economic Knowledge and the Crash of 2007–2009, Financial Analysts Journal, Volume 66, Issue 4, Pages 6-10, 2010, DOI:10.2307/25741280.

⁵ Claudia Zeisberger, David Munro, (2010). Dirty White Swans: Could Unexpected Extreme Events Put You Out of Business?

⁶ Andrea Enria, Adam Farkas and Lars Jul Overby, (2016). Sovereign Risk: Black Swans and White Elephants.

Авторы выделяют несколько уровней воздействия шоковых событий, а, следовательно, и уровней необходимых действий, а также несколько тематических сфер (природу эффекта), в которых реализуются шоковые события. Barber⁷ выделяет следующие уровни воздействия: глобальный, международный, межгосударственный, национальный, локальный, личный. Elina Hiltunen⁸ делит события-джокеры по уровню последствий: обратимые и необратимые. Meristö⁹ выделил тематические сферы аналогичные STEEP-факторам: политические/военные; технологические; экономические; социокультурные; экологические/биологические. Mendonca, Cunha, Ruff, Kaivo-oja¹⁰ также классифицировали события с точки зрения их политического, экономического, социального, технологического и экологического характера. Saritas, Smith,¹¹ при обозначении шоковых событий используют следующие тематические сферы: общество и культура; наука и технологии; энергия; экология и экономика; geopolитика и безопасность.

Попытки систематизации характеристик шоковых событий предпринимались и ранее. Исследователи из НИУ ВШЭ¹² предложили систематизацию событий по категориям, ранее предложенным в литературе: возможности обратимости последствий; продолжительности реализации событий; вероятности возникновения событий; типу разрыва (тенденции развития последствий); тематике; жизненным сферам; уровню воздействия. Glette-Iversen, Aven¹³ в своем анализе выделяют следующие основные характеристики шоковых событий: накоплены ли по ним исторические и статистические данные; проходила ли научная разработка по данной проблематике; уровень понимания

⁷ Marcus Barber, Wildcards—Signals from a future near you. Journal of Futures Studies, Volume 11, Issue 1, Pages 75-94, 2006, ISSN 1027-6084.

⁸ Hiltunen E., Was It a Wild Card or Just Our Blindness to Gradual Change? Journal of Futures Studies, Volume 11, Issue 2, Pages 61-74, 2006, ISSN 1027-6084.

⁹ Pavlova D., Milshina Y., Vishnevskiy K., Saritas O. (2018) The Role of Wild Cards Analysis in Foresight Studies, HSE, 34 pp., 2018.

¹⁰ Sandro Mendonça, Miguel Pina e Cunha, Frank Ruff, Jari Kaivo-oja, Venturing into the Wilderness Preparing for Wild Cards in the Civil Aircraft and Asset-Management Industries, Long Range Planning, Volume 42, Issue 1, Pages 23-41, 2009, <https://doi.org/10.1016/j.lrp.2008.11.001>.

¹¹ Saritas O., Smith J. E., (2011) The Big Picture – trends, drivers, wild cards, discontinuities and weak signals, Futures, Volume 43, Issue 3, Pages 292-312, 2011, <https://doi.org/10.1016/j.futures.2010.11.007>.

¹² Pavlova D., Milshina Y., Vishnevskiy K., Saritas O. (2018) The Role of Wild Cards Analysis in Foresight Studies, HSE, 34 pp., 2018.

¹³ Ingrid Glette-Iversen, Terje Aven, (2021) On the meaning of and relationship between dragon-kings, black swans and related concepts, Reliability Engineering & System Safety, Volume 211, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.ress.2021.107625>.

явлений (знание основных механизмов, вызывающих экстремальные события; понимание причин возникновения события; понимание взаимодействия между компонентами системы); уровень изученности темы для оценки рисков; перечень методов, используемых для прогнозирования наступления события; точность прогнозирования наступления события. Steinmüller¹⁴ для систематизации событий-джокеров предлагает рассматривать следующие характеристики: тематические сферы, уровень воздействия, вероятность реализации, временную шкалу реализации события (в целях отличия событий-джокеров от других шоковых событий), причины возникновения события.

Таблица 1 — Классификация событий-джокеров

Событие	Частота наступления	Единичный случай	Крайне редкая (1 раз в 50-100 лет)	Редкая (1 раз в 10-15 лет)	Частая (несколько раз в 10-15 лет)
	Скорость наступления	Медленная (годы-месяцы)	Быстрая (дни-часы)	Внезапная	
	Ожидаемое время наступления	Через 1-2 года	Через 3-5 лет	Через 5-10 лет	Через 10-20 лет
Причины наступления события	Уровень влияния человека/людей на вероятность наступления события	Высокий	Низкий	Отсутствует	
	Совокупность факторов, ставших причиной наступления события	Единичный фактор	Совокупность известных факторов	Неизвестные факторы	
	Понимание первопричины наступления события	Да	Нет	Расхождение в понимании	
Возможность предвидеть наступление события	Уровень предсказуемости наступления события	Не предсказуемо	Низкий	Средний	Высокий
	Согласуемость с данными из прошлого	Да	Нет		
	Наличие слабых сигналов и степень реакции на них	Нет	Да, но игнорируются как шум	Да, учитывают при планировании реакции на джокер	
Реакция на событие	Уровень необходимых действий	На уровне глобальных институтов	На уровне государства	На уровне региона	На уровне компании
	Наличие ресурсов/потенциала для реагирования	Полное	Частичное	Отсутствует	
	Необходимая скорость реагирования	Немедленная	Среднесрочная	Долгосрочная (системные изменения)	
	Скорость адаптации к событию в разрезе факторов	Экономика		Общество	
		Низкая	Высокая	Низкая	Высокая
	Необходимые меры	Отдельные меры	Системные изменения		

¹⁴ Steinmüller K. (2004) The Future as Wild Card – a Short Introduction to a New Concept // Spatial Development Trends – Nordic Countries in a European Context. Nordregio. № 6. Stockholm.

Продолжение таблицы 1

	Поведение общества в случае наступления события	Снижает последствия	Усугубляет последствия	Разнонаправленное	
Последствия наступления события и эффекты	Интерпретация последствий	Нейтральная	Негативная	Позитивная	
	Потенциал мобилизации сил для преодоления последствий	Низкий	Высокий		
	Обратимость последствий	Да	Нет	Частично	
	Природа эффекта	Социально-экономический	Технологический	Экологический	Политический
	Масштабы эффекта	Глобальный	Локальный		
	Уровень воздействия на структурные изменения в социально-экономической сфере	Нулевой	Минимальный	Максимальный	
	Период между событием и последствиями	Краткосрочный (часы-дни)	Среднесрочный (недели-месяцы)	Долгосрочный (годы)	

Предложенная классификация событий-джокеров состоит из 5 основных категорий, подразделяющихся еще на несколько подкатегорий (таблица 1). Ниже приведены описания категорий и их основных подкатегорий.

Первая основная категория «Событие» подразделяется на две подкатегории:

1) Частота наступления:

- Единичный случай. Сроки и обстоятельства наступления единичных событий плохо прогнозируется в связи с отсутствием исторического опыта. К таким событиям можно отнести, например, появление роботов, обладающих эмоциональным интеллектом, неотличимым от человеческого.
- Крайне редкая (1 раз в 50-100 лет). К событиям такого типа можно отнести повторяющиеся масштабные природные катастрофы на территории определенных регионов, например, выдающиеся наводнения повторяются один раз в 50-100 лет на Алтае.¹⁵
- Редкая (1 раз в 10-15 лет). В то же время опасные природные явления, повторяющиеся реже, как правило, носят не катастрофичные последствия. К таким событиям можно отнести низкие (малые) наводнения, характерные для равнинных рек. Их периодичность составляет один раз в 10—15 лет, при этом заливается водой не более 10%

¹⁵ Чрезвычайные ситуации природного и техногенного характера, возможные на территории Алтайского края. Действия при чрезвычайных ситуациях URL: http://umc22.asu.ru/pluginfile.php/1598/mod_resource/content/1/%D0%A2%D0%B5%D0%BC%D0%B0%202.pdf

земель, расположенных в низких местах. Как правило, низкие наводнения не связаны со значительными материальными потерями и человеческими жертвами.¹⁶

– Частая (несколько раз в 10-15 лет). К шоковым событиям этой категории можно отнести циклы деловой активности и пики экономических кризисов разного масштаба.

2) Скорость наступления:

– Медленная (годы-месяцы). Данный критерий свидетельствует о возможности «предсказания» условий и сроков наступления шокового события при условии ведения форсайт-исследований и неигнорирования слабых сигналов. К таким событиям можно отнести полную резистентность бактерий к антибиотикам, так как уже сейчас ежегодно умирают сотни тысяч людей от этой проблемы.

– Быстрая (дни-часы). При быстром наступлении события возможность его избежать или подготовиться к нему очень ограничена. Например, политическое решение может «обрушить» фондовый рынок: в этом случае, меньше потеряют владельцы ценных бумаг, умеющие предсказывать возможность принятия таких решений (учет слабых сигналов), а также чьи решения наиболее оперативны.

– Внезапная. При внезапном наступлении события-джокера, избежать его, как и подготовиться к нему, невозможно. К таким событиям можно отнести ядерный удар.

3) Ожидаемое время наступления:

- через 1-2 года;
- через 3-5 лет;
- через 5-10 лет;
- через 10-20 лет.

Вторая основная категория «Причины наступления события» состоит из трех подкатегорий:

1) Уровень влияния человека/людей на вероятность наступления события:

– Высокий. Изобретение лекарства от онкологии может изменить структуру смертности и увеличить продолжительность жизни, в некоторых случаях значительно.

– Низкий. Разработка и применение вакцин от вируса гриппа сможет снизить распространение вируса, но не сможет его «победить».

¹⁶ Учебно-методический центр ГО и ЧС г. Москвы (2018) Классификация аварий, катастроф, стихийных бедствий. Причины и последствия. URL: https://www.timacad.ru/uploads/files/20180418/1524039882_5_klas-avarii-katastrofu.pdf

– Отсутствует. К таким событиям можно отнести нелинейные климатические изменения с гораздо более катастрофическими последствиями, чем последствия постепенного изменения климата.

2) Совокупность факторов, ставших причиной наступления события:

– Единичный фактор. В 1999 г. медузы привели к закрытию угольной электростанции Sual в Лусон (Филиппины). Кратковременное отключение электроэнергии оставило 40 млн человек без электричества и вызвало широко распространенное мнение среди местного населения о готовящемся военном перевороте.

– Совокупность известных факторов. Примером может служить возможное наступление эпохи тотального неравенства. Факторами неравенства в различных его проявлениях могут служить экономические кризисы, вспышки пандемий, цифровизация, изменение климата.

– Неизвестные факторы. Могут происходить климатические изменения, не связанные с расчетным влиянием антропогенных факторов.

3) Понимание первопричины наступления события:

– Да. Например, принятие антропоморфных роботов в качестве членов семей объясняется их масштабной вовлеченностью в свою жизнь. Особенно это касается людей с ограниченными возможностями и пожилых, за которыми роботы осуществляют уход, в т.ч. обеспечивая социальное общения (телефрисутствие, напоминание о встречах, выражение «эмоций»).

– Нет. В настоящее время активно обсуждается возможная потеря человечеством контроля над новейшими технологиями, но нет единого мнения, что может стать главной проблемой (драйвером).

– Расхождение в понимании. К этой группе можно отнести поведенческие факторы, например, экономически необъяснимые причины изменения цены акций.

Третья основная категория «Возможность предвидеть наступление события» подразделяется на четыре подкатегории:

1) Уровень предсказуемости наступления события:

– Не предсказуемо. Появление биткойна было непредсказуемым, так как технология блокчейна появилась намного раньше, но все это время в этом направлении не использовалась.

– Низкий. К событиям с низкой прогнозируемостью можно отнести, например, землетрясения. Несмотря на существование математических моделей, предсказывающих землетрясения, они не являются высокоточными. В то же время причины землетрясений могут объясняться потсфактуром.

- Средний. Обнаружено, что микроорганизмы (например, кишечная палочка *Escherichia coli*) способны к выживанию в водородной среде, что делает вероятным обнаружение внеземных форм жизни.
- Высокий. Распространение цифровых двойников пациентов становится ожидаемым, т.к. они позволяют смоделировать определенные процессы человеческого организма и действие лекарств на эти процессы.

2) Согласуемость с данными из прошлого:

- Да. Возможное повсеместное использование искусственного интеллекта в качестве советника и помощника человека согласуется с текущей ситуацией – уже сейчас люди используют роботизированные технологии в качестве бизнес-ассистентов или социальных помощников с развитым спектром «эмоций». А роботы-охранники обучаются в зависимости от предстоящих задач.
- Нет. Пока нет каких-либо фактов, указывающих на то, что искусственный интеллект обретет творческие способности, сравнимые с человеческими.

3) Наличие слабых сигналов и степень реакции на них:

- Нет. Некоторые виды природных явлений – например, землетрясения.
- Да, но игнорируются (как шум или по причине предубеждений). Многие исследователи уверены, что слабые сигналы, уведомляющие о кризисах, часто игнорируются – например, просто из-за низкого уровня ожидания их трансформации в шоковые события. Потеря лидирующих позиций компаниями Nokia, Kodak и Blackberry ввиду игнорирования нарастающих трендов в связи со своими личными и текущими интересами.
- Да, учитывают при планировании реакции на джокер. Так неигнорирование «проблемы 2000-го года» позволило избежать реализации этого шокового события. А Подготовка Хартии прав трансчеловека является слабым сигналом к ее утверждению на законодательном уровне, что уже обсуждается в обществе.

Четвертая основная категория «Реакция на событие» состоит из семи подкатегорий:

1) Уровень необходимых действий:

- На уровне глобальных институтов. Рост температуры окружающей среды выше целевых значений требует мер реагирования со стороны глобальных институтов.
- На уровне государства. Должны быть проработаны правила при реализации идеи цифрового бессмертия.
- На уровне региона. Гибель пчел в регионах, специализирующихся на сельском хозяйстве, остается важной проблемой в связи с возможностью резкого снижения

урожайности. Регионами должен быть осуществлен контроль за использованием пестицидов и ввозов пчел из других местностей.

– На уровне компании. Распространение цифровых двойников пациентов требует от компаний привлечения финансирования в целях создания специализированного ПО.

2) Наличие ресурсов/потенциала для реагирования:

– Полное. В случае активного распространения новые приложения для знакомств (подбор партнера с помощью анализа ДНК) есть возможность осуществления гарантий по отсутствию генетической дискриминации.

– Частичное. В случае потери человечеством контроля над новейшими технологиями возможности реагированию ограничены в связи, как правило, отсутствием дублирования цифровых систем.

– Отсутствует. При новых пандемиях ресурсы для реагирования могут отсутствовать.

3) Необходимая скорость реагирования:

– Немедленная. Новые пандемии требуют немедленного реагирования.

– Среднесрочная. Распространение цифровых двойников пациентов требует среднесрочного реагирования в целях эффективной подготовки научно-технической базы.

– Долгосрочная (системные изменения).

4) Скорость адаптации к событию в разрезе факторов (экономика):

– Низкая. Возможные новые эпидемии, вероятно, будут продолжать вызывать экономическую нестабильность.

– Высокая. Введение универсального базового дохода является обсуждаемой темой, но вряд ли возникнут адаптационные трудности, так как уже есть опыт применения pilotных программ.

5) Скорость адаптации к событию в разрезе факторов (общество):

– Низкая. Цифровая реинкарнация людей может встретить сопротивление некоторых групп людей в связи с их этическими и религиозными взглядами.

– Высокая. В связи с увеличением количества инвалидов во всем мире, люди-киборги будут интегрированы в общество.

6) Необходимые меры:

– Отдельные меры. Гибель пчел требует мер по контролю за использованием пестицидов.

- Системные изменения. Обнаружение внеземных форм жизни потребует всеобщих усилий по работе и контролю за ними.

7) Поведение общества в случае наступления события:

- Снижает последствия. Появление цифровых архивов запахов и вкусов снижает последствия пандемии коронавируса.
- Усугубляет последствия. При полной автоматизация процесса обучения благодаря мозговым имплантам обучающиеся смогут уделять больше времени обучению необходимых предметов.
- Разнонаправленное. В случае исчезновения шопинга и производство одежды на домашних 3D-принтерах часть общества будет покупать цифровые копии, а часть – «пиратить».

Пятая категория «Последствия наступления события и эффекты» подразделяется на семь подкатегорий:

1) Интерпретация последствий:

- Нейтральная. Исчезновение шопинга и производство одежды на домашних 3D-принтерах скорее всего вызовет нейтральную оценку со стороны большей части общества, так как рынок производства и продажи одежды (цифровые форматы) не исчезнет, а будет видоизменен; а проблема «пиратства» будет касаться лишь дизайнеров и людей, избегающих выполнять социальные и коммерческие обязательства.
- Негативная. Наступление эпохи тотального неравенства и разделение людей на касты вызовет негативную реакцию большинства общества, так как это ограничивает их доступ к экономическим и социальным благам.
- Позитивная. Полная автоматизация процесса обучения благодаря мозговым имплантам, вероятно, вызовет позитивный отклик со стороны общественности, в связи с возможностью перераспределения своего времени в пользу обучения тематических предметов и отдыха.

2) Потенциал мобилизации сил для преодоления последствий:

- Низкий. Полное замещение врачей роботами может не вызвать широкого распространения противного мнения в связи с длительностью процесса перехода к такой модели оказания медицинской помощи и процессами деглобализации (все больше людей может начать жить в отдаленных районах в отсутствии медицинской помощи).
- Высокий. Раздробление интернет-экосистемы на национальные интрасети может вызвать протесты и запуск процессов по отказу от спринтернета.

3) Обратимость последствий:

- Да. При гибели большинства пчел, их популяция может быть восстановлена в искусственных условиях.
- Нет. Использование новых приложений для знакомств (подбор партнера с помощью анализа ДНК) может восприниматься как самый лучший метод знакомств, и люди не захотят от него отказываться.
- Частично. Тотальный контроль над поведением населения может быть отменен, но, вероятно, его уровень все равно будет выше первоначального.

4) Природа эффекта:

- Социально-экономический. Создание частных городов, принадлежащих компаниям, могут являться экономическим выгодным и социально полезным как для компаний, так для жителей и органов власти.
- Технологический. Революция в накопителях энергии, изобретение новых способов хранения энергии вызвана технологическими возможностями.
- Экологический. Прогнозируется нехватка медицинских работников на определенных территориях по причине климатической миграции.
- Политический. Тотальный контроль над поведением населения может быть введен только в случае политических решений.

5) Масштабы эффекта:

- Глобальный. Генетический дизайн детей может изменить подход к подготовке деторождения во всем мире, а также изменить подходы к союзам людей разных этнических и социальных групп.
- Локальный. Использование квантовых симуляторов будет зависеть от научных и экономических возможностей территории в связи со спецификой их использования и высокой стоимостью.

6) Уровень воздействия на структурные изменения в социально-экономической сфере:

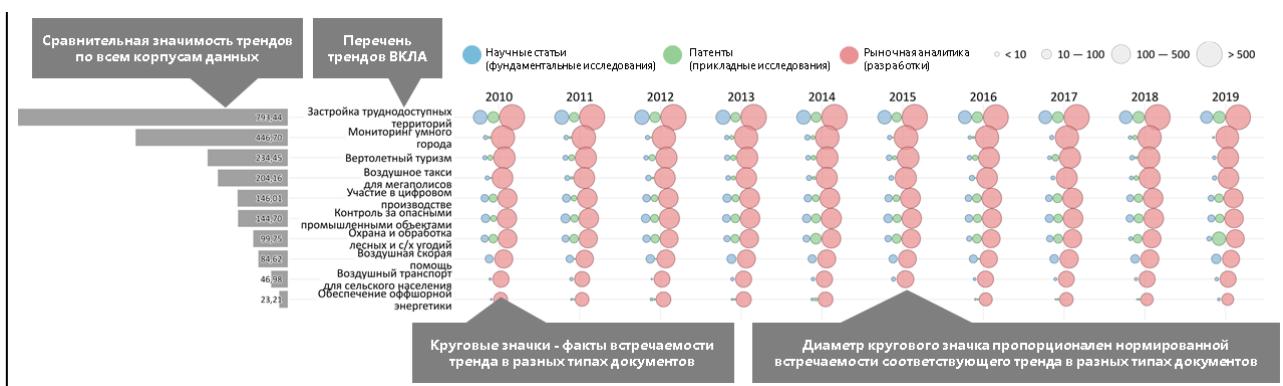
- Нулевой. Возможное появление цифровых архивов запахов и вкусов сможет быть значительным явлением для определенных групп граждан, но нет предпосылок для воздействия на структурные изменения в социально-экономической сфере.
- Минимальный. Появление людей-киборгов незначительно скажется на изменениях в социально-экономической сфере. Среди возможных изменений: увеличение торговой оборота в этой области, введение кодексов/правил о возможности участия людей-киборгов в спортивных мероприятиях и т.д.
- Максимальный. Широкое распространение метавселенных поможет управлять предпочтениями пользователей.

7) Период между событием и последствиями:

- Краткосрочный (часы-дни). Потеря человечеством контроля над новейшими технологиями сможет иметь негативные результаты в течение «реального времени».
- Среднесрочный (недели-месяцы). Гибель пчел достаточно быстро приведет к резкому удорожанию и сокращению продукции.
- Долгосрочный (годы). Обнаружение внеземных форм жизни не позволит в сжатые сроки начать колонизацию иных планет.

1.2 Динамический анализ изменения приоритетов и важности таких угроз за последние годы и прогностический анализ этих изменений, в том числе с помощью интеллектуальной системы анализа больших данных iFORA

Формат диаграмм жизненного цикла (ДЖЦ) показывает, насколько давно и интенсивно изучаемые тематики представлены в различных типах источников больших данных: научных публикациях, патентах, рыночной аналитике, позволяющий определить тенденции развития и стадии зрелости. ДЖЦ могут быть использованы для анализа того, как менялись приоритеты и важность различных событий-джокеров за несколько последних лет, а также для прогнозирования изменений. Ниже приведен пример ДЖЦ с кратким пояснением (рисунок 1).



Примечание — Источник: Система интеллектуального анализа больших данных iFORA (правообладатель – ИСИЭЗ НИУ ВШЭ)

Рисунок 1 — Пример диаграммы жизненного цикла с пояснениями

Описание визуально-аналитических материалов

Как вид визуально-аналитических материалов, диаграммы жизненного цикла (ДЖЦ) дают представление о динамике упоминаемости предмета исследования (трендов, технологий, научных направлений и др.) в разных категориях источников. К элементам ДЖЦ относятся название тематики (предмета исследования), источник информации, упоминаемость по годам и источникам. В левой части ДЖЦ находятся *названия тематик*

– направления, выбранные для анализа жизненного цикла. В качестве *источников информации* используются научные статьи (фундаментальные исследования), патенты (прикладные исследования) и рыночная аналитика (разработки), включающая типы «отраслевая периодика» и «профессиональные СМИ». Источники анализируются на предмет упоминаемости в них ключевых слов по заявленным тематикам. Типы источников перечислены в верхней части ДЖЦ; в центральной части диаграмм они обозначены как круглые значки разного цвета. Размер круглых значков отражает *упоминаемость по годам и источникам*. Чем он больше, тем чаще относящаяся к тематике область, упоминается в документах. Отсутствие таких значков для всей строки означает отсутствие устойчивого упоминания тематики в проанализированных документах. Это говорит или о низкой (начальной) степени разработанности темы, или об отсутствии сформировавшегося понятийного аппарата, что может быть признаком переформатирования или становления направления.

Под источниками информации размещена легенда разных размеров значков и соответствующего им количества упоминаний. Упоминаемость может быть представлена на ДЖЦ по принципу накопления: например, размеры круговых значков за 2019 г. отражают упоминаемость направления в 2017, 2018 и 2019 гг.

Методология построения визуально-аналитических материалов

Для построения диаграмм жизненного цикла (ДЖЦ) для каждой тематики на основе изучения отраслевых материалов составляются списки ключевых слов – поисковых запросов.

Первый этап предполагает отбор алгоритмом релевантных запросам научных публикаций, патентов и разработок для каждой тематики за каждый год временных рамок исследования. Затем может быть составлен прогноз – если исследование охватывает 2017-2021 гг., то прогноз может быть дан, например, на 2022 г., с учетом доступной открытой информации и динамики в 2017-2021 гг. На третьем этапе данные об упоминаемости направлений в различных типах источников отражаются напрямую или по принципу накопления: в 2018 г. отображается информация за 2017 и 2018 гг., в 2019 – за 2017, 2018 и 2019 и т.д. для отслеживания темпов изменения представленности тематик в текстах по принципу подхода «S-кривые», который отражает этапы развития процессов, явлений и систем¹⁷.

¹⁷ Жилин В. В. Применение кривых роста для изучения и прогнозирования социально-экономических процессов // Вопросы социально-экономического развития регионов. – 2017. – №. 2. – С. 18-25.

В рамках настоящего исследования по ключевым словам алгоритм отобрал подходящие научные статьи и гранты, патенты, рыночную аналитику для каждой тематики за каждый отдельный год с 2017 г. по 2021 г. Прогноз составлен на следующие три года (2022-2024 гг.). Полученные данные отображены на ДЖЦ напрямую (рисунки 2–8).

Как источники количественных оценок частоты встречаемости тематик использовались:

- Научные гранты: гранты ЕС Cordis, гранты Американского института здоровья NIH, гранты Американского фонда NSF, объединённая база грантовых материалов ведущих мировых организаций, гранты научных организаций.
- Научные статьи: база данных Microsoft Academic Graph.
- Патенты: база данных PATSTAT.
- Рыночная аналитика: отраслевая периодика и профессиональные СМИ.

Принципы работы с диаграммами жизненного цикла для лиц, принимающих решения

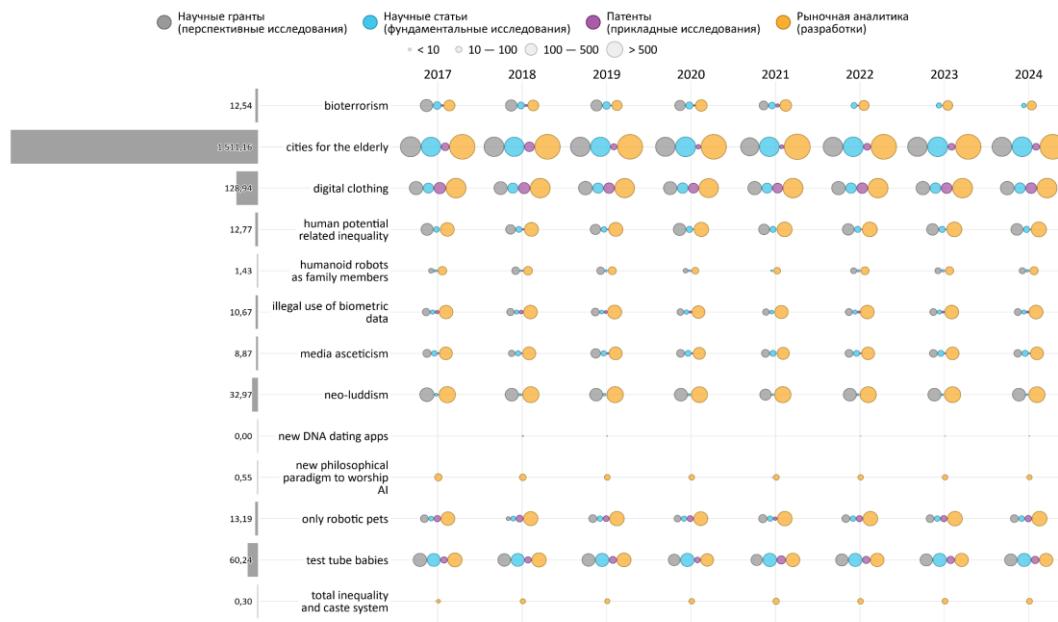
Лица принимающие решения (ЛПР) могут использовать ДЖЦ как самостоятельные аналитические материалы для оценки стадии и активности развития определенной тематики или сопоставления степени развития тематик в рамках одного направления. В основу ДЖЦ заложена концепция жизненного цикла продуктов, включающего стадии создания, роста, зрелости, спада.¹⁸ Аналогично этим этапам ДЖЦ показывают соотношение упоминаемости в различных источниках в различные годы. Увеличение числа научных статей говорит о возникновении направлений в рамках тематики. Рост разработанности совпадает с усилением патентной активности, затем следуют прикладные разработки, становящиеся предметом рыночной аналитики. Широта исследуемых направлений не позволяет говорить о точной последовательной сменяемости этапов, динамика показывает результаты соответствующих тематике параллельно ведущихся работ. Направления работы с результатами включают:

- 1) Анализ интенсивности упоминаемости тематик (выражается через размер соответствующего круглого значка).
- 2) Анализ структуры упоминаемости тематик (в каких источниках данных и с какой интенсивностью они упоминаются).

Информация на диаграммах позволяет изучать изменение интенсивности и структуры одного тематического направления по годам или сопоставлять разные тематики.

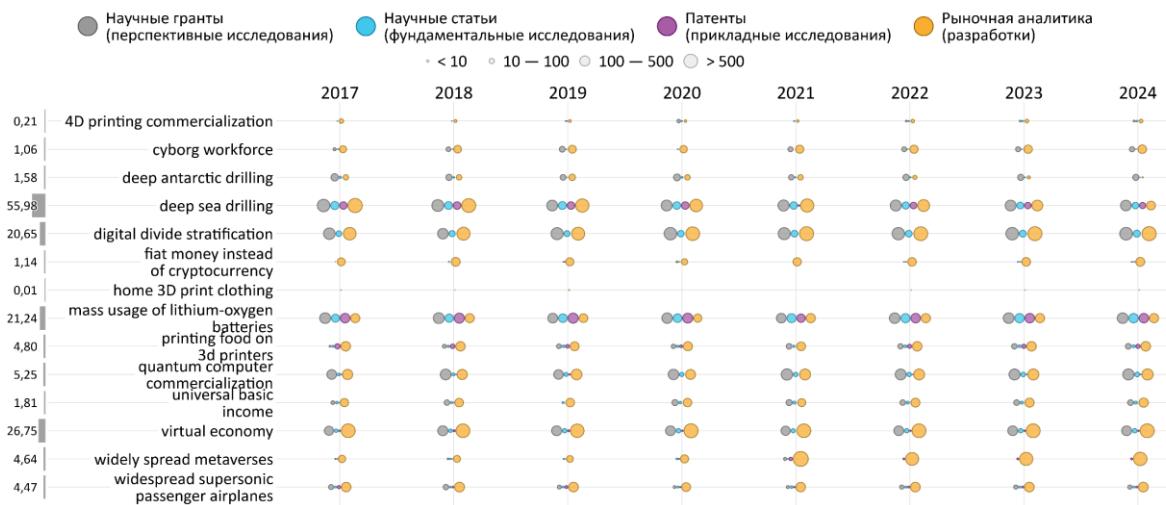
¹⁸ Rink D. R., Swan J. E. Product life cycle research: A literature review //Journal of business Research. – 1979. – Т. 7. – №. 3. – С. 219-242.

Анализ можно укрупнять и расширять в зависимости от задач. Если необходимо проанализировать динамику упоминаемости тематики в одном и том же источнике с течением времени, то можно использовать следующий подход к анализу: планомерное увеличение частоты упоминаемости тематики (визуально выражается через размер круглого значка) в рассматриваемом источнике данных (визуально выражается через цвет круглого значка) с течением времени говорит о продолжении активности, значительное увеличение – о ее нарастании.



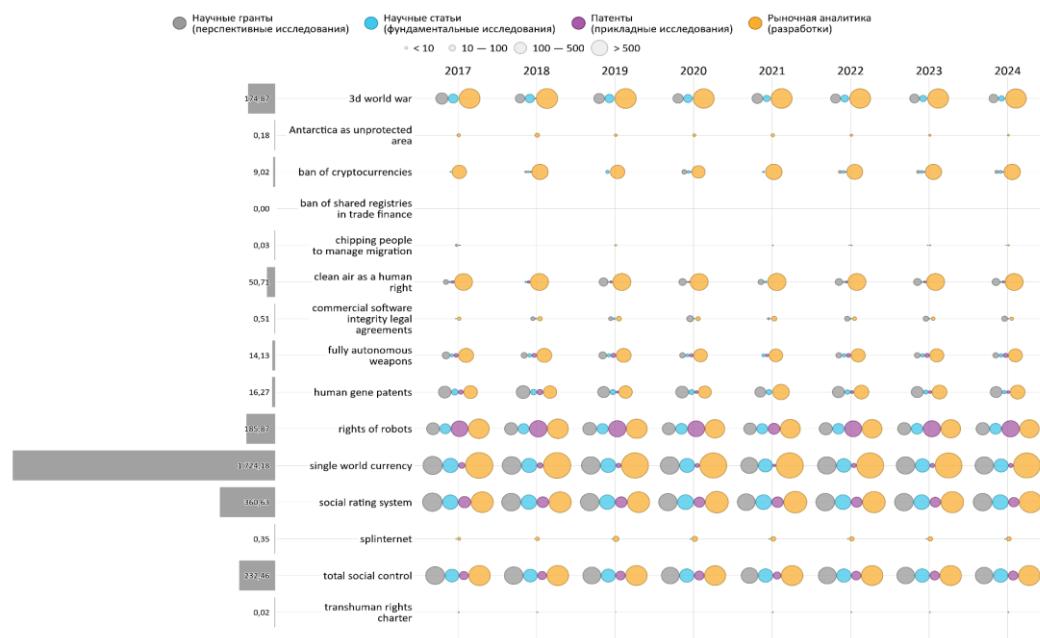
Примечание — Источник: Система интеллектуального анализа больших данных iFORA (правообладатель – ИСИЭЗ НИУ ВШЭ)

Рисунок 2 – Диаграмма жизненного цикла по социальным джокерам



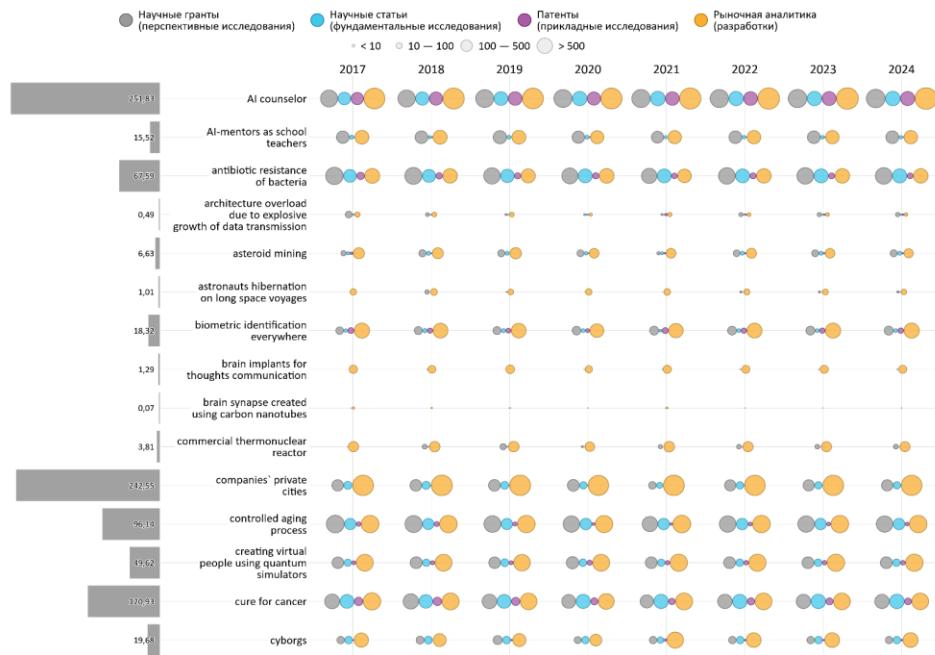
Примечание — Источник: Система интеллектуального анализа больших данных iFORA (правообладатель – ИСИЭЗ НИУ ВШЭ)

Рисунок 3 – Диаграмма жизненного цикла по экономическим джокерам



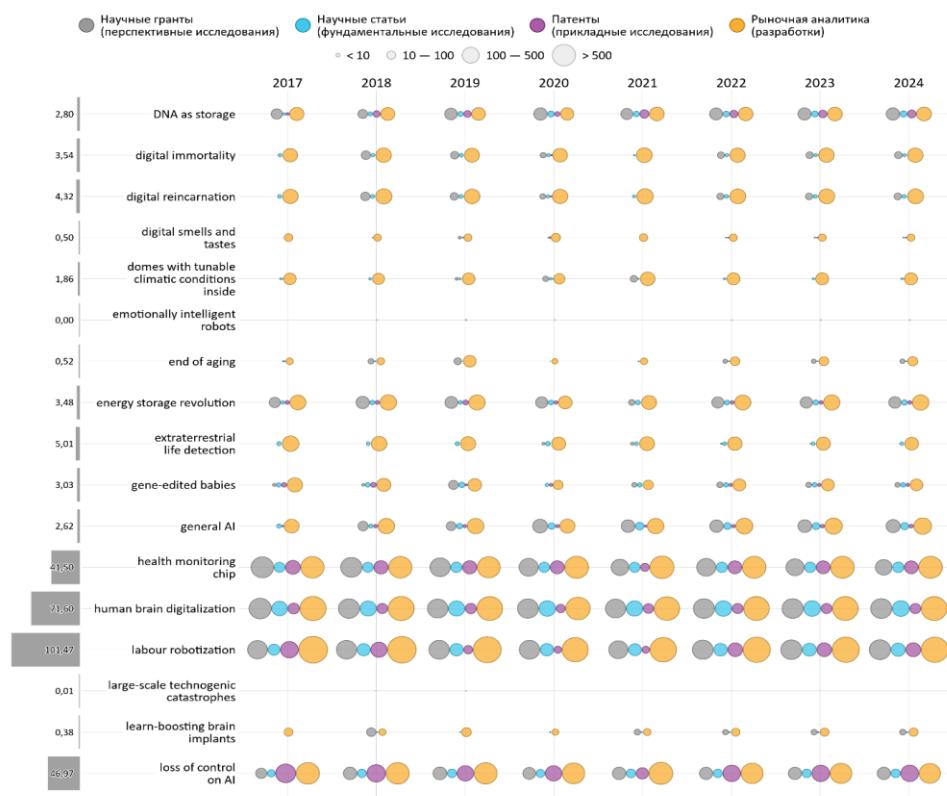
Примечание — Источник: Система интеллектуального анализа больших данных iFORA (правообладатель – ИСИЭЗ НИУ ВШЭ)

Рисунок 4 – Диаграмма жизненного цикла по политическим джокерам



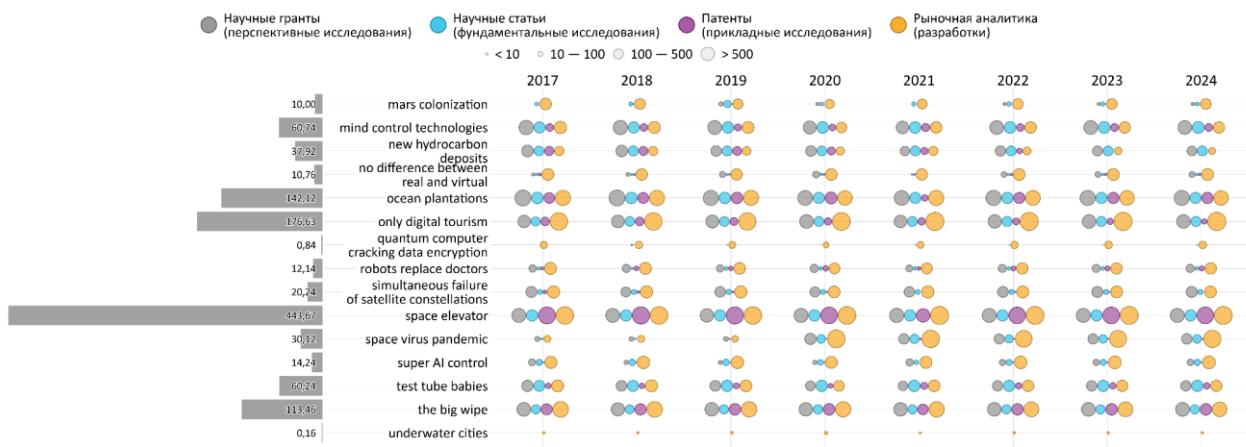
Примечание — Источник: Система интеллектуального анализа больших данных iFORA (правообладатель – ИСИЭЗ НИУ ВШЭ)

Рисунок 5 – Диаграмма жизненного цикла по технологическим джокерам (1 часть)



Примечание — Источник: Система интеллектуального анализа больших данных iFORA (правообладатель – ИСИЭЗ НИУ ВШЭ)

Рисунок 6 – Диаграмма жизненного цикла по технологическим джокерам (2 часть)



Примечание — Источник: Система интеллектуального анализа больших данных iFORA (правообладатель – ИСИЭЗ НИУ ВШЭ)

Рисунок 7 – Диаграмма жизненного цикла по технологическим джокерам (3 часть)



Примечание — Источник: Система интеллектуального анализа больших данных iFORA (правообладатель – ИСИЭЗ НИУ ВШЭ

Рисунок 8 – Диаграмма жизненного цикла по экологическим джокерам

1.3 Анализ влияния джокеров на направления развития глобальных трендов

Формирование эффективных стратегий развития, вне зависимости от сферы их приложения, требует изучения текущих, возникающих и будущих глобальных и национальных трендов. В условиях неопределенности траекторий формирования будущего необходимость в таких исследованиях растет.

Kosow и Gaßner приводят три точки зрения на предсказуемость будущего, определяющие применяемые к его исследованию подходы. Согласно первой, будущее предсказуемо (predictable), поскольку то, что произойдет, может быть рассчитано на основе знаний о прошлом и настоящем, и чем больше данных собрано, тем точнее будет прогноз. Придерживающиеся этой парадигмы полагаются на статистическую экстраполяцию трендов (statistical trend extrapolation), будущее для них представляется предсказуемым и контролируемым. Второй подход предполагает, что будущее постоянно меняется (evolutive), поэтому настоящих знаний недостаточно для прогнозирования. Будущее хаотично, неконтролируемо и «случайно» (follows a random path), что определяет невозможность целенаправленного управления ходом вещей. Доступными способами работы с будущими событиями оказываются эмерджентные стратегии и стратегия «интуитивного прохождения» череды событий («авось справимся») (intuitive muddling through). Согласно третьему представлению, будущее податливо (malleable), происходящее непредсказуемо, но не хаотично, потому курс развития поддается целенаправленным манипуляциям. Эта парадигма опирается на возможность использования интервенционистских стратегий, направленных на формирование будущего.¹⁹ Такой

¹⁹ Kosow H., Gaßner R. Methods of future and scenario analysis: overview, assessment, and selection criteria / Hannah Kosow ; Robert Gaßner. DIE Research Project “Development Policy: Questions for the Future”. – Bonn : Dt. Inst. für Entwicklungspolitik, 2007 – (Studies / Deutsches Institut für Entwicklungspolitik; 39) URL: https://www.idos-research.de/uploads/media/Studies_39.2008.pdf

подход наиболее близок к методологии форсайт-исследований, сутью которых является совместное конструирование будущего.

Любой из вышеобозначенных подходов должен учитывать фактор событий, способных кардинальным образом изменить траектории развития и последствия этих трансформаций. Вопрос о том, как соотносятся тренды и джокеры – один из важнейших для оценки эффектов событий с низкой вероятностью реализации. Джокеры, как крайне редкие, слабопредсказуемые, но чрезвычайно важные по своим последствиям явления, могут стать нелинейным поворотным моментом (*nonlinear turning point*) в развитии того или иного тренда^{20,21}. Steinmuller указывает на то, что джокеры подрывают текущие тренды; потенциальные джокеры – системы раннего оповещения, а слабые сигналы – предвестники будущих событий. Также он выделяет как отдельную группу джокеров разрывы в трендах или структурах (*discontinuities in trends or structures*) – внезапные события, связанные с процессами, не привлекающими общественное или научное внимание в течение длительного периода времени и потому не заметными. Такие джокеры иногда относят к категории «ползучих катастроф» (“*creeping catastrophe*”).²²

Несмотря на большое разнообразие джокеров все они оказывают большое влияние и имеют долгосрочные последствия для всех сфер деятельности человека. Cornish описывает джокеры как экстраординарные события, способные радикально изменить мышление лиц, принимающих решения; джокеры заставляют выходить за рамки привычного (линейного) мышления²³, адаптировать политику к новым условиям.²⁴

Lamper et al описывают развитие экономических, социальных, биологических систем как динамическую эволюцию (*dynamical evolution*), которая характеризуется относительно небольшим числом неожиданных крупных изменений, которые авторы называют экстремальными событиями (*extreme events*).²⁵ В отличие от Kosow и Gaßner,

²⁰ Mendonça, S., Cunha, M., Kaivo-oja, J. and Ruff, R. (2004). “Wild cards, weak signals and organizational improvisation,” *Futures*, 36, 201–218.

²¹ Kuosa T. 2010. “Futures Signals Sense-Making Framework (FSSF): A Start-Up Tool to Analyse and Categorise Weak Signals, Wild Cards, Drivers, Trends and Other Types of Information.” *Futures* 42 (1): 42–48.

²² Steinmüller K. (2004) The Future as Wild Card – a Short Introduction to a New Concept // Spatial Development Trends – Nordic Countries in a European Context. Nordregio. № 6. Stockholm.

²³ Steinmüller K. (2004) The Future as Wild Card – a Short Introduction to a New Concept // Spatial Development Trends – Nordic Countries in a European Context. Nordregio. № 6. Stockholm.

²⁴ Cornish, E. (2003). “The wild cards in our future,” *The Futurist*, 37(4), 18–22.

²⁵ Lamper D., Howison S. D., Johnson N. F. (2002) Predictability of Large Future Changes in a Competitive Evolving Population // *Physical Review Letters* DOI: 10.1103/PhysRevLett.88.017902

выделивших один из подходов к изучению будущего, при котором оно воспринимается как «эволюционно развивающееся» (evolutive), Lamper отмечает, что большие изменения «закодированы» в состоянии системы, и их предсказуемость повышается непосредственно перед возникновением.

События-джокеры и шоки меняют или создают новые траектории развития²⁶. Это позволило Holopainen и Toivonen выделить еще одну характеристику таких событий – если выявление и прогнозирование трендов «сужает» диапазон возможного будущего, то джокеры (и намекающие на них слабые сигналы) расширяют, создают новые перспективы.²⁷

Steinmuller сравнивает джокеры с хаосом, – как бифуркации в теории хаоса, джокеры знаменуют начало новых направлений развития, расходящихся эволюционных путей (diverging evolutionary paths); они могут быть интерпретированы, как выражение поведения нелинейной (динамической) системы (expression of non-linear system behavior). Steinmuller отмечает, что если принимать будущее как такую систему, то нужно быть готовым не только к убедительному, логичному и «причинно-следственному», но и к нелогичному поведению, как следвию нелинейности системы. Для этого в исследовании необходимо учитывать фактор джокеров. Такой подход используется для проверки сценариев на «устойчивость» и чувствительность к негативному влиянию внезапных внешних или внутренних событий (анализ чувствительности).

Van Rij в работе «Зарождающиеся тенденции и «джокеры» как инструменты формирования и изменения»²⁸ отмечает, что наступление джокера радикально меняет положение вещей, текущий ход событий. Джокеры могут повлиять на повестку социально-экономической и экологической политики, политики в сфере безопасности, они создают новые вызовы, но иногда и окна возможностей. Они могут оказывать чрезвычайно сильное воздействие глобального масштаба, соответственно меняя ход развития определенных

²⁶ Saritas O., Smith J. E., (2011) The Big Picture – trends, drivers, wild cards, discontinuities and weak signals, *Futures*, Volume 43, Issue 3, Pages 292-312, 2011, <https://doi.org/10.1016/j.futures.2010.11.007>.

²⁷ Holopainen M., Toivonen M., Weak signals: Ansoff today, *Futures*, Volume 44, Issue 3, 2012, Pages 198-205, ISSN 0016-3287, <https://doi.org/10.1016/j.futures.2011.10.002>.

Hauptman, A., Hoppe, M. & Raban, Y. Wild cards in transport. *Eur J Futures Res* 3, 7 (2015). <https://doi.org/10.1007/s40309-015-0066-9>

²⁸ ван Рай В. Зарождающиеся тенденции и «джокеры» как инструменты формирования и изменения будущего // Форсайт. – 2012. – Т. 6. – №. 1. – С. 60-73 URL: <https://foresight-journal.hse.ru/data/2013/03/29/1294347383/6-vanRij-60-73.pdf>

трендов. При этом для разных субъектов последствия наступления джокера могут различаться.

Автор отмечает, что на практике цепочка почти незаметных событий (слабых сигналов) или трендов приводит к возникновению критической напряженности и возникновению джокера. То есть, сканируя слабые сигналы и тренды, некоторые из таких событий можно спрогнозировать. На основе анализа ретроспективных джокеров в контексте приведших к ним событий Van Rij представил следующую классификацию нарративов:

– Нарратив «рост напряженности», при котором цепочка почти незаметных событий или трендов приводит к появлению критической напряженности (переломного момента), результатом которой становится «взрыв» и радикальные изменения в системе (например, накопление неразлагаемых токсических веществ – экологическая катастрофа; растущая напряженность между различными слоями населения либо между странами – войны; растущее число людей, недовольных правящим режимом – революции, террористические акты).

– Нарратив «происшествия и катастрофы», при котором джокер характеризуется как внезапное неожиданное событие с серьезными последствиями, о которых известно, что они происходили ранее и будут случаться в будущем (цунами, извержения вулканов, технические сбои на ядерных и промышленных установках, падение астероида).

– «Черными лебедями» называют джокеры, обладающие свойствами, которые были неизвестны до того, как они произошли, и неясно, произойдут ли они в будущем (первая эпидемия чумы, обнаружение внеземных форм жизни, внезапное изменение солнечного цикла). В определенной степени события, обозначающиеся как «черные лебеди» также можно предвидеть, поскольку некоторые из них можно представить; на их реализацию или последствия можно повлиять.

Автор делит джокеры на реализованные, прогнозируемые (в той или иной степени) и воображаемые. Воображаемые, или выдуманные, джокеры важно отделять от тех, которые «формируются в процессе поиска устойчивости системы к внешним воздействиям или новых возможностей для лиц, принимающих решения в данной ситуации». Здесь возникает важный аспект, касающийся целенаправленного использования событий-джокеров (прогнозируемых или «воображаемых») для воздействия на дискурс, активного продвижения идеи об определённости сценариев будущего.

Borjeson at el отмечают, что прогнозы могут быть «самоисполнимыми» (self-fulfilling), что, вероятно, применимо к прогнозированию джокеров. Так, прогнозируемый

рост трафика может способствовать принятию мер по строительству большего количества дорог, увеличению пропускной способности автомагистралей, что станет причиной увеличения интенсивности транспортного потока. Учет фактора «самоисполнимости» может сделать стратегическое планирование более эффективным, способствовать привлечению внимания и инвестиций к определенному вопросу. Но это же способствует консервации и сохранению определенных тенденций, в том числе негативных.²⁹

Прогнозирование джокеров, с одной стороны, позволяет формировать устойчивую политику лицам, принимающим решения. С другой – знание о них и попытки «лоббирования» представлений об определённых событиях создаёт субъективный информационный ландшафт в виде «нарративов будущего», которые сами по себе уже в настоящем начинают воздействовать на изменение направления тренда в форме самосбывающихся пророчеств.³⁰ Определённая картина будущего вместе с джокерами также может быть использована группами интересов для продвижения выгодных для них решений и политик, – сам факт выявления потенциального джокера способен изменить направление тренда или сформировать новые устойчивые тренды, если принимающими решения лицами будут приняты определенные меры.

Примеры анализа событий-джокеров и их влияния на развитие глобальных трендов

1. На национальном и региональном уровне

Проект RACE2050

В рамках проекта RACE2050³¹ были разработаны сценарии развития транспортной сферы ЕС до 2030 г. и 2050 г. Исследование проводилось в 2012-2015 гг. в несколько этапов: 1) идентификация событий-джокеров на основе анализа литературы и сбора экспертных мнений; 2) оценка вероятности и влияния таких событий на тренды в транспортной сфере с помощью онлайн-опроса экспертов, определение слабых сигналов; 3) «связывание» событий-джокеров с SWOT-анализом, в том числе для определения будущей динамики

²⁹ Börjeson L., Höjer M., Dreborg K. H., Ekvall T., Finnveden G., Scenario types and techniques: Towards a user's guide, *Futures*, Volume 38, Issue 7, 2006, Pages 723-739, ISSN 0016-3287, <https://doi.org/10.1016/j.futures.2005.12.002>.

³⁰ ван Рай В. Зарождающиеся тенденции и «джокеры» как инструменты формирования и изменения будущего // Форсайт. – 2012. – Т. 6. – №. 1. – С. 60-73 URL: <https://foresight-journal.hse.ru/data/2013/03/29/1294347383/6-vanRij-60-73.pdf>

³¹ Responsible innovation Agenda for Competitive European transport industries up to 2050. European Commission <https://cordis.europa.eu/project/id/314753>

развития под влиянием противоречивого воздействия джокеров и выявления потенциальной синergии между джокерами и текущими трендами.³²

Анализ джокеров предполагал определение осведомленности о них, причин их возникновения, влияния на разные сегменты транспортной отрасли, возможного времени появления. Экспертам предлагалось оценить вероятность проявления каждого джокера в разные временные промежутки, влияние на сегменты отрасли, период максимального воздействия, уязвимости этих сегментов, актуальность для лиц принимающих решения. Помимо этого, эксперты оценили географическую широту эффектов джокеров – глобальное влияние будут иметь те, что связаны с технологическими трендами, вопросами природопользования, прежде всего с источниками энергии, и политическими вопросами (взаимоотношения ЕС-США). Только несколько джокеров, такие как «медленные путешествия» (slow travel), распространение дронов и автономных машин, будут иметь значительные эффекты на локальном и национальном уровне. На основе результатов исследования был сделан вывод о необходимости построения сложных сценариев (complex scenario building), отражающих взаимосвязи между текущими трендами и джокерами.

Проект IKNOW

IKNOW – один из форсайт-проектов, координируемый Манчестерским институтом инновационных исследований и поддерживаемый Европейской комиссией. Направлен на объединение знаний о вызовах и технологических разработках, способных повлиять на будущее науки, технологий и инноваций в Европе и мире. Цели проекта включают формирование методологической основы для обнаружения и изучения слабых сигналов и событий-джокеров и изучение их влияния на развитие сферы ИиР и Европейского исследовательского пространства (European Research Area).³³

Проект IKNOW показал, насколько сильное воздействие оказывают события-джокеры и слабые сигналы на европейскую инновационную систему. Одним из ожидаемых результатов его реализации было повышение осведомленности ученых, руководителей и политиков о джокерах и слабых сигналах и значимости учета этих факторов в исследованиях. Межстрановой анализ показал, что проявление того или иного джокера или слабого сигнала детерминировано страновым контекстом. Одним из проектов, в котором

³² Hauptman, A., Hoppe, M. & Raban, Y. Wild cards in transport. *Eur J Futures Res* 3, 7 (2015). <https://doi.org/10.1007/s40309-015-0066-9>

³³ European Commission. CORDIS EU Research results. interconnecting Knowledge for the early identification of issues, events and developments (e.g. wild cards and associated weak signals) shaping and shaking the future of STI in the ERA URL: <https://cordis.europa.eu/project/id/225695/reporting>

были применены результаты исследований, проведенных в рамках IKNOW, стал Towards a future Internet (TAFI), о будущем интернета и взаимосвязи между технологическими, социальными и экономическими трендами.

Контекст, в привязке к которому изучаются слабые сигналы и джокеры, – это все более взаимосвязанный, турбулентный и уязвимый для слабо предсказуемых событий мир и повестка ИиР, которая должна реагировать на комплексность системы. Ключевой же вопрос заключается в том, как использовать исследования о джокерах и слабых сигналах для генерации и управления новыми знаниями. Полученные при реализации IKNOW результаты показали, что в целом исследовательские программы и проекты фокусируются на проблематичных, важных с точки зрения последствий системных изменениях (wild, problematic, high impact issues of systemic change). К ним относятся стихийные и техногенные катастрофы, социальные, экономические, культурные, политические, этические «коварные» проблемы ('wicked' problem), решение которых найти, как считается, невозможно или весьма затруднительно, из-за отсутствия единого понимания причин их появления, границ и возможностей решения. При этом предполагается, что методы изучения слабых сигналов и джокеров должны быть неотъемлемой частью методологии всего исследования.

Система стратегического и политического анализа (ЕС)

В 2010 г. была создана Система стратегического и политического анализа (European Strategy and Policy Analysis System, ESPAS)³⁴, выполняющая координирующие функции между Европарламентом, Европейской комиссией, Советом Европы и Европейской службой внешних связей. Организация занимается выявлением и анализом глобальных трендов и потенциальных шоков, занимает важное место в системе стратегического планирования ЕС. База знаний ESPAS постоянно обновляется, особое внимание уделяется неожиданным трендам (unexpected trends) и кардинально пересмотренным оценкам (strongly revised assessments) тех или иных событий.

2. На корпоративном уровне

Крупные компании проводят мониторинг трендов, затрагивающих сферу их деятельности, что позволяет, например, находить признаки будущих инновационных прорывов, которые можно использовать для развития бизнеса. Под джокерами здесь чаще всего понимаются прорывные технологии, обладающие большим трансформационным

³⁴ European Strategy and Policy Analysis System URL: <https://espas.eu/>

потенциалом. Так, проект IBM “Next five in Five”³⁵ был направлен на поиск технологий, способных повлиять на социальные тренды. Результаты были использованы IBM для определения стратегических приоритетов. Компании Microsoft и Fujitsu реализуют исследования, публикуемые в виде ежеквартальных отчетов (Insights Quarterly), направленные на поиск серьезных вызовов и технологических решений в сфере информационных технологий.³⁶

Финансовый конгломерат Morgan Stanley привлекает экономистов, стратегов и аналитиков к исследованиям, направленным на определение долгосрочных структурных изменений в бизнес-среде, которые влияют на основы отраслей и целых экономик по всему миру.³⁷ В Синей книге (Blue Paper) 2014 г., посвященной интернету вещей, рассматриваются последствия внедрения технологии в отраслях экономики и влияние этого на разные сферы деятельности человека. Так, авторы приходят к выводу, что интернет вещей имеет большой трансформационный потенциал, но если, например, он будет позитивным для экологии, развития «зеленых» технологий, производственной безопасности, то для занятости эффект скорее будет негативным.³⁸

Тренды взаимосвязаны, поэтому изменение в развитии одного оказывает влияние на другие. Также и влияние шоковых событий не ограничивается одной сферой, ни один из процессов не происходит изолированно. Эксперты BBVA отмечают, что сложность и взаимосвязь рисков являются ключевым вызовом в их исследовании. Взаимовлияние протекающих в разных системах процессов создает неопределенности, новые уязвимые места, предпосылки для экстремальных событий. К категории джокеров они относят технологии, имеющие потенциал для значительного изменения курса развития

³⁵ IBM (2008) 5 in 5 – 5 innovations that could change your life in just 5 years URL: <https://www.ibm.com/blogs/research/2008/12/5-in-5-innovations-that-could-change-your-life-in-just-5-years/>

³⁶ Microsoft и Fujitsu (2011) Key ICT Trends and Priorities Based on a survey of over 200 Australian CIOs and ICT Managersю Insights Quarterly Volume 1 Q3, 2011 URL: https://download.microsoft.com/documents/Australia/InsightsQuarterly/IQ_IG%20Full%20Report.pdf

³⁷ Morgan Stanley (2015) Big shift in risks cloud reshape financial industry URL: <https://www.morganstanley.com/ideas/banking-blue-paper-2015>

³⁸ Morgan Stanley (2014) The “Internet of things” is now connecting the real economy URL: <https://www.yumpu.com/en/document/read/42307347/96-pages-2014morgan-stanley-blue-paper-the-internet-of-things-is-now-connecting-the-real-economy>

человечества (ядерное оружие, биоинжиниринг, геоинжиниринг, искусственный интеллект).³⁹

Обзор литературы и опыта компаний и официальных структур по мониторингу трендов и прогнозированию показал, что события-джокеры принимаются во внимание, как способные значительно повлиять на ход развития в настоящем и будущем. При этом их влияние не является однозначно негативным, для разных сфер деятельности эффекты и последствия будут отличаться, сами события будут по-разному восприниматься заинтересованными сторонами. Так, поскольку к джокерам могут привести целенаправленные действия, то восприятие вероятности (и неожиданности) будет разным. Создание системы работы с джокерами (wild card management system) увеличивает возможность их заблаговременного определения.⁴⁰

1.4 Создание форматов представления и прототипа базы данных потенциальных слабопредсказуемых событий; подготовка регулярных коротких обзоров, содержащих описание слабопредсказуемых событий и их потенциальных эффектов

В 2022 г. в рамках проекта был разработан прототип базы данных потенциальных слабопредсказуемых событий, включающей свыше 50 джокеров. В качестве источников информации для поиска джокеров использовались научная литература, материалы профессиональных СМИ, отчеты и прогнозы консалтинговых агентств (EY, Deloitte, McKinsey) и международных организаций (ОНН, Всемирный экономический форум, Всемирная организация здравоохранения), органов исполнительной (Европейская комиссия, Министерство науки и высшего образования РФ) и законодательной (Европейский парламент) власти, университетов (Манчестерский университет, Массачусетский технологический институт, Сеченовский университет), научно-исследовательских (Центр квантовых технологий МГУ, Лондонское королевское общество) и аналитических (РСМД, Chatham House) центров.

В базе события-джокеры распределены по категориям STEEP (social – социальная, technological – технологическая, economic – экономическая, environmental – экологическая, political – политическая) по принципу их «происхождения» (например, появление

³⁹ BBVA. Technological Wild Cards: Existential Risk and a Changing Humanity URL: <https://www.bbvaopenmind.com/en/articles/technological-wild-cards-existential-risk-and-a-changing-humanity/>

⁴⁰ Holopainen M., Toivonen M., Weak signals: Ansoff today, Futures, Volume 44, Issue 3, 2012, Pages 198-205, ISSN 0016-3287, <https://doi.org/10.1016/j.futures.2011.10.002>.

технологий контроля эмоций человека – технологический джокер). Более подробные классификации (PESTLE, PESTLIED, STEEPV, PESTLECE) не использовались. Выделение более узких и специализированных категорий (юридической, ценностной, гражданской, этической) зачастую избыточно из-за взаимосвязи с входящими в STEEP.

При этом необходимо отметить, что для большинства из джокеров определение категории затруднительно и требует учета междисциплинарности, поскольку к появлению того или иного джокера могут привести тренды из разных сфер (социальной, экономической, политической и др.). Например, включение права на чистый воздух в перечень основных прав человека может быть осуществлено уполномоченной организацией (ООН), то есть связано со сферой регулирования, и именно фиксация этого права в нормативно-правовом документе придает ему официальный статус, делает обязательным к соблюдению. В то же время, драйвером для этого может стать широкое общественное движение в поддержку включения права на чистый воздух в перечень основных прав человека. Так джокер относится сразу к двум категориям – политической и социальной и лишь условно (в зависимости от точки зрения исследователя, стремления подчеркнуть той или иной компонент) – к одной.

В рамках проекта был разработан формат описания событий-джокеров, который включает в себя следующие блоки: короткое описание джокера; оценки, относящиеся к слабым сигналам проявления джокеров и подтверждающие вероятность его реализации; классификация джокера по тем или иным параметрам на базе предложенной выше авторской классификации.

Далее в качестве примера представлены отдельные описания потенциальных событий-джокеров, которые структурированы по блокам: социальные, экономические, технологические, экологические джокеры.

Социальные события-джокеры

Повсеместное использование искусственного интеллекта в качестве советника и помощника человека

Все больше компаний используют искусственный интеллект в качестве помощника для автоматизации процесса клиентского обслуживания. Например, широко применяются виртуальные консультанты и голосовые помощники, направленные на облегчение взаимодействия с пользователями сайтов и клиентской базой компаний.

Существуют как помощники с искусственным интеллектом, так и виртуальные советники (консультанты). Основное различие между этими категориями заключается в том, что виртуальные помощники помогают клиенту сориентироваться в рамках

определенной активности, в то время как виртуальные консультанты выясняют, готов ли пользователь совершить эту активность.⁴¹ К 2030 г. мировой рынок виртуальных ассистентов человека на базе ИИ достигнет оборота в 50,9 млрд долл.⁴², рынок виртуальных помощников – 41,8 млрд долл.⁴³ Ожидается, что к 2030 г. виртуальные ассистенты и помощники будут широко использоваться в таких сферах, как финансы и здравоохранение, а также на рабочих местах и в образовательных учреждениях.⁴⁴

По мере совершенствования технологии искусственный интеллект может найти применение при принятии более серьезных решений, как на частном, так и на корпоративном, государственном уровнях. Например, уже сегодня США и Китай выделяют крупные статьи бюджета для развития ИИ в военной и оборонной областях⁴⁵. Как вспомогательный инструмент ИИ может использоваться в процессе принятия внешнеполитических решений и информационно-аналитического сопровождения.⁴⁶ Барьером для использования ИИ при принятии решений может стать риск превращения его не в независимого эксперта, а руководствующегося субъективными, заложенными разработчиками, установками.

- Частота наступления: единичный случай.
- Скорость наступления: медленная.
- Ожидаемое время наступления: через 3-5 лет.
- Уровень предсказуемости наступления события: высокий.

⁴¹ Automat. AI Assistant or Virtual Advisor? How to Buy Your Best AI URL: <https://automat.ai/resources/ai-assistant-or-virtual-advisor/>

⁴² Accesswire (2022) Intelligent Virtual Assistant Market to Rise at a CAGR of 33% during 2020-2030, TMR Study URL: <https://www.accesswire.com/714960/Intelligent-Virtual-Assistant-Market-to-Rise-at-a-CAGR-of-33-during-2020-2030-TMR-Study>

⁴³ Yahoo Finance (2022) Robo Advisory Market Size Worth \$41.83 Billion by 2030 URL: https://finance.yahoo.com/news/robo-advisory-market-size-worth-1200000757.html?guccounter=1&guce_referrer=aHR0cHM6Ly93d3cuZ29vZ2xlLmNvbS8&guce_referrer_sig=AQAAAM09VWz_YSS1t35sswjhBmXmXbL9vdd_zGwo5qJ-

⁴⁴ CBRE (2020) What Will Your Office Look Like in 2030? URL: <https://www.cbre.es/insights/articles/what-will-your-office-look-like-in-2030>

⁴⁵ РСМД (2022) Искусственный интеллект в процессе принятия внешнеполитических решений URL: <https://russiancouncil.ru/analytics-and-comments/columns/cybercolumn/iskusstvennyy-intellekt-v-protsesse-prinyatiya-vneshnepoliticheskikh-resheniy/>

⁴⁶ Там же.

- Наличие слабых сигналов и степень реакции на них: да.
- Природа эффекта: технологическая / социально-экономическая.
- Масштабы эффекта: локальные.

Принятие антропоморфных роботов в качестве членов семей

Антропоморфные роботы – это внешне похожие на человека роботы, выполняющие определенные функции.⁴⁷ В качестве примеров можно привести российского робота-спасателя Федора, отправленного на МКС в 2019 г.⁴⁸, а также андроида-помощника Tesla Bot.⁴⁹

Сегодня использование антропоморфных роботов набирает популярность в таких сферах, как: образование (робот-симулятор признаков инсульта для обучения студентов и медперсонала); развлечения (роботы для общения, копирующие мимику, голос и имеющие навыки невербального общения); медицина (робот-помощник врача, измеряющий температуру и проводящий массовую диагностику).⁵⁰

Антропоморфных роботов также называют социальными, поскольку их поведение адаптируется под поведение владельца. Согласно ряду исследований, в будущем социальные роботы смогут стать полноценными членами семей. Например, они могут быть компаньонами одиноких людей, помогать детям с выполнением домашнего задания, а пожилым людям – с мониторингом состояния здоровья и походом за лекарствами.⁵¹ Помимо этого, могут быть разработаны специальные роботы, играющие роль партнера в отношениях с человеком.⁵²

⁴⁷ Hi-News (2019) Что такое антропоморфный робот и почему их популярность растет? URL: <https://hi-news.ru/robots/chto-takoe-antropomorfnyj-robot-i-pochemu-ix-populyarnost-rastet.html>

⁴⁸ Известия (2020) Полет робота «Федор» на МКС стал одним из главных ИТ-инфоповодов 2019 года URL: <https://iz.ru/997890/2020-04-09/polet-robota-fedora-na-mks-stal-odnim-iz-glavnikh-it-infopovodov-2019-goda>

⁴⁹ Коммерсантъ (2021) Илон Маск делает ставку на Tesla Bot URL: <https://www.kommersant.ru/doc/4955538>

⁵⁰ Neurobotics. Робототехника URL: <https://neurobotics.ru/catalog/robotics/>

⁵¹ QUARTZ (2022) Social robots will become family members in the homes of the future URL: <https://qz.com/1383665/social-robots-will-become-family-members-in-the-homes-of-the-future/>

⁵² Artificial Intelligence News Daily (2022) 11 NEW Developing Female Robots That Will Be Your Partner In 2030 URL: https://www.youtube.com/watch?v=yUTyklBnZuk&ab_channel=ArtificialIntelligenceNewsDaily

Согласно опросу BMC Geriatrics, 20% респондентов считают, что распространение антропоморфных роботов приведет к сокращению контактов с людьми, а 10% опасаются выхода роботов из-под контроля человека.⁵³

- Частота наступления: единичный случай.
- Скорость наступления: медленная.
- Ожидаемое время наступления: через 10-20 лет.
- Уровень предсказуемости наступления события: средний.
- Наличие слабых сигналов и степень реакции на них: да, но игнорируются как шум.
- Природа эффекта: социально-экономическая / технологическая.
- Масштабы эффекта: локальные.

Биотерроризм

Биотерроризм – это сознательное использование человеком вирусов, бактерий, токсинов и других вредоносных организмов с целью вызова заболевания или причинения смерти людям, животным или растениям.⁵⁴ Применение биологического оружия может спровоцировать крупномасштабные эпидемии с беспрецедентной летальностью. Существует ряд категорий и критериев патогенов, по которым можно распознать биологическое оружие. К ним относятся следующие⁵⁵:

- Категории А, несущие угрозу национальной безопасности (сибирская язва, ботулизм, чума, оспа, эбола).
- Категории В, приводящие к умеренным показателям заболеваемости и требующие улучшения диагностического потенциала (брюцеллез, кишечная палочка, сыпной тиф, вирусный энцефалит).
- Категории С, возможные к распространению в будущем (вирус Нипах, хантавирус).

Сама по себе информация о вирусной угрозе может стать темой спекуляций и инструментом запугивания. Так, в начале пандемии Covid-19 фиксировались попытки

⁵³ BMC Geriatrics (2020) Ethical perceptions towards real-world use of companion robots with older people and people with dementia: survey opinions among younger adults URL: <https://bmccgeriatr.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12877-020-01641-5>

⁵⁴ INTERPOL Bioterrorism URL: <https://www.interpol.int/Crimes/Terrorism/Bioterrorism>

⁵⁵ CDC Bioterrorism Agents/Diseases URL: <https://emergency.cdc.gov/agent/agentlist-category.asp>

придерживающихся радикальных взглядов группировок использовать тему пандемии для радикализации социального движения, нагнетания паники и страха.⁵⁶

Пандемия выявила неготовность государств противостоять биологическим угрозам, доказав, что, несмотря на малую вероятность, биологические террористические акты реальны⁵⁷, а масштабы и последствия распространения вируса могут быть колоссальны.

Рост доступности технологий (например, геномного редактирования) дают людям с университетским образованием средства модификации существующих или создания новых организмов, что повышает риск возникновения и непреднамеренного распространения патогенов.

Спрос на средства защиты также подтверждает опасения о потенциально возможном использовании биологического оружия. Согласно прогнозам, к 2027 г. мировой рынок биологической защиты достигнет оборота в 1746 млн долл. США, CAGR 2021-2027 – 7,3%.⁵⁸

- Частота наступления: редкая.
- Скорость наступления: внезапное событие.
- Ожидаемое время наступления: через 3-5 лет.
- Уровень предсказуемости наступления события: средний.
- Наличие слабых сигналов и степень реакции на них: да, учитываются при планировании реакции на джокер.
- Природа эффекта: экологическая / политическая / социально-экономическая.
- Масштабы эффекта: локальные / глобальные.

Новое неравенство – в доступе к технологиям, усиливающим человеческий потенциал

Современные технологии прочно вошли в жизнь человека, они позволяют воспользоваться множеством возможностей в социальной, экономической, культурной сферах. С технологиями связывается устойчивое развитие, инклюзивность, доступ к

⁵⁶ INTERPOL (2020) INTERPOL – Terrorist groups using COVID-19 to reinforce power and influence URL: <https://www.interpol.int/News-and-Events/News/2020/INTERPOL-Terrorist-groups-using-COVID-19-to-reinforce-power-and-influence>

⁵⁷ ТАСС (2020) Замгенсека ООН заявил, что пандемия выявила неготовность стран противостоять биотerrorизму URL: <https://tass.ru/obschestvo/8892783>

⁵⁸ Yahoo Finance (2022) Biodefense Market to Reach USD 1746 Million by 2027 at a CAGR of 7.3% URL: <https://finance.yahoo.com/news/biodefense-market-reach-usd-1746-130000808.html>

образованию, однако обеспеченность населения такими технологиями отличается по странам и регионам. 2,9 млрд человек (37% населения) не имеют доступа в сеть Интернет.⁵⁹

В условиях роста человекоцентричности во всех сферах особое внимание уделяется технологиям, усиливающим когнитивные и физические возможности (human enhancement / augmentation technologies, НЕТ), которые вышли за рамки исключительно медицинских исследований и разработок и теперь охватывают сферу современных технологий – генные технологии, нейротехнологии, протезирование, ноотропы, нейрокомпьютерные интерфейсы, искусственный интеллект, др.⁶⁰ Разработкой НЕТ занимаются такие компании, как Atheer, Ekso Bionics Holdings, Neurolink, Samsung Electronics и др.

С НЕТ связывается преодоление ограничений организма человека, достижение «суперблагополучия» и «супердолголетия». ⁶¹ Широкое распространение технологий «усовершенствования» человека возможно в случае разработки всеобъемлющего регулирования. Однако экономическое и имущественное неравенство, вероятно, станет сдерживающим фактором. Воспользоваться такими технологиями смогут небольшие группы людей, преимущественно в развитых странах, что усилит социальный и экономический разрыв как внутри стран, так и между ними, и приведет к новому неравенству между «улучшенными» богатыми и «неулучшенными» бедными.

- Частота наступления: редкая.
- Скорость наступления: внезапное событие.
- Ожидаемое время наступления: -.
- Уровень предсказуемости наступления события: средний.
- Наличие слабых сигналов и степень реакции на них: да, но игнорируются как шум.
- Природа эффекта: технологическая / социально-экономическая.
- Масштабы эффекта: локальные / глобальные.

⁵⁹ ITU (2021) 2.9 billion people still offline URL: <https://www.itu.int/en/mediacentre/Pages/PR-2021-11-29-FactsFigures.aspx>

⁶⁰ Research and Markets (2022) Human Augmentation - Global Market Trajectory & Analytics URL: https://www.researchandmarkets.com/reports/4805541/human-augmentation-global-market-trajectory-and?utm_source=GNOM&utm_medium=PressRelease&utm_code=5qp5pq&utm_campaign=1719204+-+Global+Human+Augmentation+Market+Report+2022-2026+-+Human+Augmentation+Technologies+Sense+Robust+Opportunities+in+Industrial+Sector&utm_exec=chdo54prd

⁶¹ Lima, V. and Belk, R. (2022), "Human enhancement technologies and the future of consumer well-being", Journal of Services Marketing, Vol. 36 No. 7, pp. 885-894. <https://doi.org/10.1108/JSM-09-2021-0363>

Технологические события-джекеры

Полное замещение врачей роботами

Развитие медицинских технологий и искусственного интеллекта может привести к тому, что в долгосрочной перспективе (в 2040-2050 гг.) врачи могут быть полностью заменены технологиями на основе ИИ.

Сегодня ИИ используется врачами как вспомогательный инструмент для постановки диагнозов, выявления причин заболеваний. Согласно опросу, проведенному «Лабораторией Касперского», 37% опрошенных медработников согласны с тем, что повсеместная замена врачей роботами в ближайшие 20–30 лет является вполне вероятной.

43% опрошенных считают, что технологии искусственного интеллекта по прошествии указанного периода будут способны полностью заменить психологов. Например, для консультаций будут использоваться онлайн-приложения, в которых пациент будет задавать интересующие его вопросы, а ИИ будет генерировать ответы. Сегодня по такому принципу работает приложение Wysa, однако в его работу, кроме ИИ, вовлечен квалифицированный специалист.

Несмотря на перспективность технологии, около 60% специалистов сферы здравоохранения не посоветовали бы своим родственникам хирургическую операцию с учетом того, что ее будет проводить робот без какого-либо контроля со стороны человека.

- Частота наступления: единичный случай.
- Скорость наступления: медленная.
- Ожидаемое время наступления: через 10-20 лет.
- Уровень предсказуемости наступления события: низкий.
- Наличие слабых сигналов и степень реакции на них: да, но игнорируются как шум.
- Природа эффекта: социально-экономическая / технологическая.
- Масштабы эффекта: локальные / глобальные.

Появление цифровых архивов запахов и вкусов

Ольфакция изучает влияние восприятия запахов на процесс коммуникации. В настоящее время развивается два направления технологии цифровой ольфакции: первое связано с цифровыми способами обнаружения и анализа различных запахов, второе направление изучает возможности цифровой передачи и воссоздания запахов. В будущем эти технологии потенциально могут оказать значительное влияние на ряд отраслей — от парфюмерии, продуктов питания (возможность протестировать духи онлайн,

почувствовать вкус и запах еды через интернет), маркетинга и рекламы, сферы игр до медицины.⁶²

Для виртуальной реальности использование цифровых ароматов и вкусов приведет к расширению пользовательского опыта, станет одним из маркетинговых ходов. Цифровые запахи и вкусы сделают товары и услуги более реалистичными и привлекательными.⁶³

В области здравоохранения технология цифровых запахов может быть использована для восстановления обоняния у людей, которые потеряли его в результате болезни, травмы или врожденной аномалии. Также начал активное развитие проект «Smart Electronic Olfaction» посвященный разработке интеллектуальных электронных датчиков для обнаружения и передачи в цифровом виде здоровых и патологически измененных запахов тела, так как было обнаружено, что оценка изменения запаха тела может стать быстрым и точным диагностическим инструментом на ранней стадии заболевания.⁶⁴

Разработка устройств цифрового распознавания запахов позволит определять появление запахов дыма, утечки газа, свежести продуктов, оценивать чистоту воздуха. Предполагается, что технологии позволят внедрить подобное устройство в смартфон, обеспечивая его повсеместное использование.⁶⁵

По данным Института Интернета чувств, самыми ожидаемыми технологиями в области цифровых запахов станут: обнаружение опасных и незаконных материалов, мониторинг скорости дыхания, цифровая еда и напитки, ольфактивный «белый шум», используемый для нейтрализации неприятных запахов, искусственно произведенные феромоны, предназначенные для возбуждения, пробуждения или успокоения. В области цифрового вкуса наиболее ожидаемыми являются такие технологии, как: изменение или улучшение вкусов и текстур, возможность есть и пить вообще ничего не употребляя, либо

⁶² MIT Sloan (2021) Business Scents: The Rise of Digital Olfaction URL: <https://sloanreview.mit.edu/article/business-scents-the-rise-of-digital-olfaction/>

⁶³ The Metaverse insider (2022) The Rise of Digital Scent Technology: How the Metaverse is Gaining its Sense of Smell URL: <https://metaverseinsider.tech/2022/07/06/the-rise-of-digital-scent-technology-how-the-metaverse-is-gaining-its-sense-of-smell/>

⁶⁴ Medica Magazine (2022) Digitisation of the sense of smell URL: https://www.medicaltradefair.com/en/News/Archive/Diagnostics_Digitisation_of_the_sense_of_smell

⁶⁵ РБК Тренды (2022) Пахучие фильмы и цифровые запахи: как передать аромат на расстоянии URL: <https://trends.rbc.ru/trends/industry/63187e2a9a79472bde40a56b>

используя диетические продукты с имитацией желаемого вкуса, цифровое обнаружение загрязняющих веществ в окружающей среде или в организме.⁶⁶

- Частота наступления: единичный случай.
- Скорость наступления: медленная.
- Ожидаемое время наступления: через 1-2 года.
- Уровень предсказуемости наступления события: высокая.
- Наличие слабых сигналов и степень реакции на них: да, учитываются при планировании реакции на джокер.

- Природа эффекта: технологическая / социально-экономическая.

- Масштабы эффекта: локальные / глобальные.

Создание частных городов, принадлежащих компаниям

Частный город представляет собой жилые районы, созданные частными компаниями, которые содержат всю необходимую для жизни инфраструктуру (школы, торговые центры, полицию и т.д.).⁶⁷ Это комплексы смешанного назначения – для жизни, работы, отдыха; руководство таким городом осуществляется первыми лицами компаний.⁶⁸ Для потенциальных жителей такие города привлекательны из-за сосредоточения в одном месте обеспечиваемых компанией работы, жилья, необходимых для жизни сервисов («лучше, дешевле, свободнее, чем государственная модель»⁶⁹).

В 2020 г. в мире было порядка 15 частных городов (Гургаон в Индии, Данга Бэй в Малайзии, Сонгдо в Южной Корее, Вотерфорд и Стейн Сити в ЮАР, Спрингфилд в Австралии), еще десятки городских районов развиваются на условиях частно-государственного партнерства. Правительства извлекают выгоду из этих проектов, поскольку они способствуют экономическому развитию без использования денег налогоплательщиков. Резиденты таких городов продолжают платить налоги, при этом требуя меньше услуг от государства.⁷⁰ Частные города привлекают в регион инвестиции крупных корпораций.

Владение землей, на которой располагается город, и выполняемая компанией роль при его строительстве предполагает, что она будет иметь существенное влияние на

⁶⁶ The platform for emerging technology. Internet of senses Institute URL: <https://internetofsenses.com/about-internet-of-senses/>

⁶⁷ Private cities (2019) Flux Trends URL: <https://www.fluxtrends.com/private-cities/>

⁶⁸ Forbes (2020) Inside The Rise Of Private Cities: ‘Priority Of Management Is Profit, Not The Needs Of Citizens’ URL: <https://www.forbes.com/sites/wadeshepard/2020/01/31/inside-the-rise-of-private-cities-priority-of-management-is-profit-not-the-needs-of-citizens/?sh=17fa576fc9c2>

⁶⁹ Fee (2016) Private Cities: A Path to Liberty URL: <https://fee.org/articles/private-cities-a-path-to-liberty/>

⁷⁰ Private cities (2019) Flux Trends URL: <https://www.fluxtrends.com/private-cities/>

административные вопросы. Потенциально это может создать неясности юридического характера, в частности касающиеся защиты прав их жителей. Подобно особым экономическим зонам, частные города могут иметь собственные своды правил, не согласующиеся с законами страны.⁷¹ Поскольку приоритет такого города в создании прибыли, то управляющие лица несут ответственность перед акционерами, а не горожанами.⁷²

- Частота наступления: единичный случай.
- Скорость наступления: медленная.
- Ожидаемое время наступления: через 10-20 лет.
- Уровень предсказуемости наступления события: средний.
- Наличие слабых сигналов и степень реакции на них: да, но игнорируются как шум.
- Природа эффекта: технологическая / социально-экономическая.
- Масштабы эффекта: локальные.

Появление подводных городов

Подводные города (гидрополисы) – это проект поселений на дне океана, в которых может размещаться жилая инфраструктура, места досуга и исследовательские центры. Появление идеи создания подводных городов обусловлено возможной необходимостью справляться с вызовами, с которыми человечество может столкнуться в будущем (перенаселение и сокращение пригодных для жизни мест, новая мировая война и ее последствия, глобальное потепление). Вода покрывает 71% поверхности Земли, и подводные города потенциально могут стать местом проживания будущих поколений.

Самыми известными проектами подводных городов на сегодняшний день являются:

- Lady Landfill – разработанный сербскими архитекторами в 2011 г. проект гигантского небоскреба, который может перерабатывать скопившийся в Тихом океане мусор для выработки энергии.
- The Gyre, разработанный компанией Zigloo из Канады, является плавучим перевернутым небоскребом, четыре крыла которого могут вместить самые большие корабли.
- The Ocean Spiral City, разработанный в 2018 г. японской корпорацией Shimizu проект затопленной 500-метровой сферы, которая поддерживает башню с расположенными в ней домами, офисами, местами досуга и исследовательскими лабораториями. Для

⁷¹ Forbes (2020) Inside The Rise Of Private Cities: ‘Priority Of Management Is Profit, Not The Needs Of Citizens’ URL: <https://www.forbes.com/sites/wadeshepard/2020/01/31/inside-the-rise-of-private-cities-priority-of-management-is-profit-not-the-needs-of-citizens/?sh=17fa576fc9c2>

⁷² Там же.

выработки энергии в нем должна использоваться разница между температурой поверхностных и глубоководных вод.⁷³.

В существующих проектах подводные города не автономны и не самоокупаемы. Необходимы дополнительные исследования и разработки для создания эффективных систем аварийной эвакуации, контроля окружающей среды, подачи воздуха, поддержания необходимого уровня влажности и выработки энергии.

Появление подводных городов, вероятно, перспектива далекого будущего. Длительное пребывание под водой может нанести вред организму человека, поэтому для реализации таких проектов должны быть решены вопросы, касающиеся жизнеобеспечения в непривычных условиях (низкие температуры, большое давление и нехватка кислорода).⁷⁴

- Частота наступления: единичный случай.
- Скорость наступления: медленная.
- Ожидаемое время наступления: -.
- Уровень предсказуемости наступления события: средний.
- Наличие слабых сигналов и степень реакции на них: да, но игнорируются как шум.
- Природа эффекта: технологическая / социально-экономическая.
- Масштабы эффекта: глобальные.

Новые приложения для знакомств: подбор партнера с помощью анализа ДНК

Современные исследования в области генетики уже сегодня используются в dating-приложениях. Одним из первых стартапов в этой области стало приложение для знакомств на основе генетического теста Digid8, разработанное при участии профессора генетики Гарвардской медицинской школы Джорджа Черча.⁷⁵ Цель сервиса — при помощи ДНК теста и дополнительной информации о генетическом здоровье помогать людям образовывать пары с учетом вероятности наследственных заболеваний у будущих детей. Ученый утверждает, что использование информации о геноме способно устраниć около 7 тыс. генетических заболеваний и сохранить до 50 млн жизней в год.⁷⁶

⁷³ EDGY (2019) Building An Underwater City: The Future of Humanity URL: <https://edgy.app/underwater-city-challenges>

⁷⁴ Interesting Engineering (2020) 7 Things You Should Know About the Future of Underwater Cities URL: <https://interestingengineering.com/innovation/7-things-you-should-know-about-the-future-of-underwater-cities>

⁷⁵ Forbes (2020) Одной крови. Как генетик из Гарварда создал приложение для знакомств, которое ищет пары на основе ДНК URL: <https://www.forbes.ru/forbeslife/394413-odnoy-krovi-kak-genetik-iz-garvarda-sozdal-prilozhenie-dlya-znacomstv-kotoroe?ysclid=l8ncq02i43354842730>

⁷⁶ Scientific American (2020) The Illusion of Genetic Romance. Matchmaking based on “DNA compatibility” may sound intriguing, but the underlying science is hardly convincing URL: <https://blogs.scientificamerican.com/observations/the-illusion-of-genetic-romance/>

С распространением подобных приложений возникает ряд этических вопросов, таких как, вероятность дискриминации людей, не желающих использовать информацию о ДНК при образовании пары и рождении ими детей с генетическими расстройствами. Отчасти это связано с беспокойством людей о конфиденциальности своей генетической информации, спровоцированным случаями утечки или кражи медицинских данных. Для защиты клиентов в таком случае потребуется создание законодательной базы, гарантирующей отсутствие генетической дискриминации. В США существует закон о нелегальности такого рода дискриминации, хотя он не распространяется на некоторые сферы, например, на страхование жизни, при этом разработчики приложений берут на себя обязательство о защите данных клиентов в том числе от страховых компаний.⁷⁷

Еще одним этическим вопросом является вероятность создания «дизайнерских» детей. И если сегодня это невозможно, так как большинство индивидуальных черт, таких как рост, интеллект, цвет глаз, включают в себя большое количество генов, многие из которых неизвестны, в то время как большинство генетических заболеваний происходят лишь от одного гена, то с развитием технологий и научных исследований в данной области. Это может стать фактором риска.

Распространение также получают dating-приложения, заявляющие, что, используя информацию о геноме человека, могут подобрать партнера с лучшей романтической совместимостью. Такая идея является несостоятельной, так как науке неизвестны конкретные гены, отвечающие за образование романтической привязанности, кроме того, характер и эмоциональный интеллект человека определяются генами не более чем на 30%, большее воздействие на развитие личности оказывает воспитание и взаимодействие с внешней средой.

- Частота наступления: единичный случай.
- Скорость наступления: медленная.
- Ожидаемое время наступления: через 3-5 лет.
- Уровень предсказуемости наступления события: высокий.
- Наличие слабых сигналов и степень реакции на них: да.
- Природа эффекта: социально-экономическая / технологическая.
- Масштабы эффекта: локальные.

⁷⁷ Discover (2019) George Church Wants to Make Genetic Matchmaking a Reality URL: <https://www.discovermagazine.com/health/george-church-wants-to-make-genetic-matchmaking-a-reality>

Потеря человечеством контроля над новейшими технологиями

Новейшие технологии – это современные технологические решения, направленные на облегчение и/или автоматизацию человеческой жизни и выполняемых человеком ежедневных процессов. В качестве примеров новейших технологий, которые уже используются или находятся в стадии разработки на сегодняшний день, можно привести следующие решения⁷⁸:

- технологии искусственного интеллекта и машинного обучения.
- роботизация и автоматизация процессов.
- технологии виртуальной и дополненной реальности.
- технологии кибербезопасности.

Тем не менее, при разработке любой технологии стоит учитывать риски, связанные с потенциальным негативным влиянием. Под потерей контроля над новейшими технологиями чаще всего подразумевается потеря человеком контроля над искусственным интеллектом и роботизированными технологиями. Одним из примеров таких технологий является ПО, самостоятельно прогнозирующее и совершающее биржевые операции.⁷⁹ При условии ее повсеместного использования с последующим выходом из строя возможно нанесение серьезного ущерба национальным и международным финансовым системам.

- Частота наступления: единичный случай.
- Скорость наступления: медленная.
- Ожидаемое время наступления: через 10-20 лет.
- Уровень предсказуемости наступления события: не предсказуемо.
- Наличие слабых сигналов и степень реакции на них: нет.
- Природа эффекта: технологическая / политическая / социально-экономическая.
- Масштабы эффекта: глобальные.

Выход искусственного интеллекта (ИИ) из-под контроля

Результатом стремительной эволюции искусственного интеллекта (ИИ) может стать утрата человеком контроля над ним⁸⁰, как частный случай потери контроля над современными технологиями. Уже сейчас ИИ может выполнять многие задачи

⁷⁸ Koenig (2022) Top 9 New Technology Trends for 2022 URL: <https://www.koenig-solutions.com/blog/top-new-technology-trends>

⁷⁹ Watt Clarity (2022) “Rise of the Machines” – the increasing role of auto-bidding and self-forecasting in the modern-day NEM <https://wattclarity.com.au/articles/2022/03/rise-of-the-machines-the-increasing-role-of-auto-bidding-and-self-forecasting-in-the-modern-day-nem/>

⁸⁰ Соколов Ю.И. (2019) Экзистенциальный риск технологической сингулярности // Проблемы анализа риска. №3. С. 68.

эффективнее людей, его развитие не ограничено биологическими факторами и происходит во много раз быстрее человеческого. Перспектива развития ИИ подразумевает, что однажды он станет сверхразумным, т.е. превзойдёт возможности человеческого мозга.⁸¹ Создание системы контроля над решениями сверхразумного ИИ невозможно, поскольку он обладает способностью адаптироваться, используя сложные алгоритмы машинного обучения.⁸² Кроме того, затруднительно отследить конкретный момент, когда именно машины станут сверхразумными.⁸³

Выход ИИ из-под контроля подразумевает обретение им независимых от человеческих этических и моральных установок собственных интересов и мировоззрения. Это может стать угрозой для существования человеческого вида как такового.⁸⁴ Конкуренция людей с неконтролируемыми алгоритмами возможна на качественно новом этапе развития – постчеловечества, который может быть достигнут через интеграцию в организм электроники; «загрузки» человеческого мозга в компьютерную симуляцию; развития «усиленного интеллекта» (усовершенствованной версии разума человека).⁸⁵

Развитие сверхразумного ИИ часто относят к одному из процессов технологической сингулярности – моменту, когда человек окажется неспособным контролировать необратимый технический прогресс. Значение этих изменений оценивается по-разному: с одной стороны, как возможность для человечества самосовершенствоваться, перейти на новый этап цивилизационного развития или как угрозу для существования.⁸⁶

- Частота наступления: единичный случай.
- Скорость наступления: медленная.
- Ожидаемое время наступления: -.
- Уровень предсказуемости наступления события: не предсказуемо.
- Наличие слабых сигналов и степень реакции на них: да, но игнорируются как шум.

⁸¹ РБК Тренды (2021) Сможем ли мы контролировать сверхразумный искусственный интеллект URL: <https://trends.rbc.ru/trends/futurology/601ae24d9a7947c430681e1e>

⁸² Rahwan, I., et al. (2019). Machine Behaviour. Nature, 568(7753), 477–486.

⁸³ Alfonseca, M., Cebrian, M., Anta, A. F., Coviello, L., Abeliuk, A., & Rahwan, I. (2021). Superintelligence cannot be contained: Lessons from computability theory. Journal of Artificial Intelligence Research.

⁸⁴ Соколов Ю.И. (2019) Экзистенциальный риск технологической сингулярности // Проблемы анализа риска №3. С. 70.

⁸⁵ Там же.

⁸⁶ Kaspersky official blog (2020) Reaching the technological singularity: What will happen when machines become smarter than us? URL: <https://www.kaspersky.com/blog/secure-futures-magazine/technological-singularity/32158/>

- Природа эффекта: технологическая / политическая / социально-экономическая.
- Масштабы эффекта: глобальные.

Обретение искусственным интеллектом творческих способностей, сравнимых с человеческими

Стремительное развитие нейросетей актуализирует вопрос о достижении искусственным интеллектом (ИИ) уровня творческих способностей человека. Так, в сентябре 2022 г. работа, созданная моделью ИИ Midjourney, выиграла приз в художественном конкурсе.⁸⁷ Доступность технологий ИИ растет: теперь любой желающий может использовать инструменты моделей DALL-E 2, Midjourney или Stable Diffusion. Потенциал технологий привлекает интерес инвесторов: компании, создавшей систему Stable Diffusion, уже удалось привлечь инвестиции размером как минимум 10 млн долл., а в планах стартапа увеличить этот показатель до 1 млрд долл.⁸⁸

Широкая доступность способного заниматься творчеством ИИ создаёт риск для целого ряда профессий креативных индустрий. Музеи и выставочные центры уже обращаются в выставках к теме ИИ и инструментарию, который он предлагает.⁸⁹ Поскольку в процессе машинного обучения нейросеть использует миллионы изображений из интернета, возникает вопрос о критериях plagiat, защите интеллектуальной собственности, принадлежности созданного алгоритмом произведения, законодательных рамках использования данной технологии. Так, профсоюз индустрии развлечений Великобритании Equity запустил в апреле 2022 г. политическую кампанию по защите прав артистов «в ответ на быстрый рост ИИ».⁹⁰

Неспособность ИИ создать что-то действительно оригинальное, основанное на жизненном опыте, — это то, что отличает деятельность нейросетей от творческого процесса людей. Отсутствие автономии не позволит ИИ основать собственные движения в искусстве и сводит роль нейросетей к инструменту, с помощью которого люди могут достичь новых

⁸⁷ Roose, K. (2022) An A.I.-Generated Picture Won an Art Prize. Artists Aren't Happy. The New York Times. URL: <https://www.nytimes.com/2022/09/02/technology/ai-artificial-intelligence-artists.html>

⁸⁸ Cai, K. (2022) Startup behind AI Image Generator stable diffusion is in talks to raise at a valuation up to \$1 billion. Forbes. URL: <https://www.forbes.com/sites/kenrickcai/2022/09/07/stability-ai-funding-round-1-billion-valuation-stable-diffusion-text-to-image/?sh=2333f89024d6>

⁸⁹ Loos, T. (2020) Artists explore A.I., with some deep unease. The New York Times. URL: <https://www.nytimes.com/2020/04/08/arts/design/ai-artists-exhibitions.html>

⁹⁰ Campaigning update - stop AI stealing the show. Equity. (2022). URL: <https://www.equity.org.uk/news/2022/june/campaigning-update-stop-ai-stealing-the-show/>

творческих высот.⁹¹ Творческие способности человека и ИИ могут быть комплементарными.

- Частота наступления: единичный случай.
- Скорость наступления: медленная.
- Ожидаемое время наступления: через 5-10 лет.
- Уровень предсказуемости наступления события: средний.
- Наличие слабых сигналов и степень реакции на них: да, но игнорируются как шум.
- Природа эффекта: социально-экономическая / технологическая.
- Масштабы эффекта: локальные / глобальные.

Революция в накопителях энергии, изобретение новых способов хранения энергии

Данный джокер неразрывно связан с развитием безуглеродной энергетики, поиском «зелёных» альтернатив, Четвёртой промышленной революцией.⁹² Уже сейчас можно наблюдать появление и развитие новых способов хранения энергии: литий-ионные аккумуляторы, технология power-to-gas, гравитационная система хранения энергии, термальные накопители. Определённые трудности в строительстве и эксплуатации на данный момент не позволяют придать промышленный масштаб многим из этих технологий. Такие факторы, как дороговизна производства и хранения, сложность цепочек поставок и необходимость увеличения добычи и производства редких материалов, делают новые способы хранения энергии неравными конкурентами для традиционных аккумуляторов.⁹³

По оценкам экспертов, в ближайшие годы ожидается значительный рост рынка накопителей энергии.⁹⁴ Разнообразие новых накопителей энергии даст широкий спектр возможностей и применений, что позволит более гибко формировать и обеспечивать безопасность и сбалансированность энергосетей.⁹⁵ Прогресс в развитии накопителей

⁹¹ University of Oxford. (n.d.). (2022) Art for our sake: Artists cannot be replaced by machines – study URL: <https://www.ox.ac.uk/news/2022-03-03-art-our-sake-artists-cannot-be-replaced-machines-study>

⁹² TACC (2019) Эксперты: четвертая промышленная революция потребует правовых преобразований. URL: <https://nauka.tass.ru/nauka/6354637>

⁹³ Hutson, M. (2022) The renewable-energy revolution will need renewable storage. The New Yorker. URL: <https://www.newyorker.com/magazine/2022/04/25/the-renewable-energy-revolution-will-need-renewable-storage>

⁹⁴ Deloitte. (2018) Supercharged: Challenges and opportunities in global. URL: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/global/Documents/Energy-and-Resources/gx-er-challenges-opportunities-global-battery-storage-markets.pdf>

⁹⁵ Жизнин, С., Василев, С. (2021) Грядет ли "революция" в области хранения энергии? Независимая газета. URL: https://www.ng.ru/energy/2021-06-26/100_094026062021.html

энергии ведет к появлению новых бизнес-моделей, предоставлению клиентам дополнительного спектра услуг. Кроме того, зелёная повестка может служить механизмом разрядки международного напряжения, поскольку она требует сотрудничества многих акторов для избежания экологической катастрофы. Выбор развивающимися странами возобновляемой энергии и новых способов её хранения позволит государствам сразу перейти к технологиям XXI в., минуя этап использования ископаемого топлива.⁹⁶

Развитие новых способов хранения энергии сталкивается с серьёзным препятствием в виде устаревшей политики государственного регулирования, непригодной для гибкой инновационной технологии. При неосторожной имплементации данных технологий может быть достигнут противоположный эффект для экологии – произойдёт увеличение выбросов парникового газа.⁹⁷

- Частота наступления: единичный случай.
- Скорость наступления: медленная.
- Ожидаемое время наступления: через 5-10 лет.
- Уровень предсказуемости наступления события: высокий.
- Наличие слабых сигналов и степень реакции на них: да, учитываются при планировании реакции на джокер.
- Природа эффекта: технологическая / экономическая.
- Масштабы эффекта: глобальные.

Полная автоматизация процесса обучения благодаря мозговым имплантам

Мозговые имплтанты – вводимые в полость черепа устройства, соединяющие мозг или нервную систему с цифровым оборудованием или ИТ-системами⁹⁸ и используемые для активации определенных зон мозга, утративших свои прямые функции⁹⁹. Сегодня мозговые имплтанты широко используются в медицине и научных исследованиях. Например, животным вживляют мозговые имплтанты для мониторинга нейронной активности, а людям

⁹⁶ Hutson, M. (2022) The renewable-energy revolution will need renewable storage. The New Yorker. URL: <https://www.newyorker.com/magazine/2022/04/25/the-renewable-energy-revolution-will-need-renewable-storage>

⁹⁷ Bilich, A. (2019) Not all energy storage is clean – it might even increase emissions. Environmental Defense Fund. URL: <https://www.edf.org/blog/2019/02/06/not-all-energy-storage-clean-it-might-even-increase-emissions>

⁹⁸ The Royal Society (2019) iHuman Blurring lines between mind and machine URL: <https://royalsociety.org/-/media/policy/projects/ihuman/report-neural-interfaces.pdf>

⁹⁹ National Library of Medicine (2016) Enhancing Nervous System Recovery through Neurobiologics, Neural Interface Training, and Neurorehabilitation URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5186786/>

– для реабилитации после тяжелых заболеваний (инфаркт, паралич и т.п.).¹⁰⁰ Так, с помощью мозговых имплантов парализованные люди могут управлять компьютером силой собственной мысли.¹⁰¹

Еще одна сфера применения мозговых имплантов – обучение. В 2021 г. стартап Neuralink представил использование микрочипов на обезьяне, которую с их помощью научили играть в видеоигры.¹⁰² В 2022 г. Neuralink объявил о планах проведения испытаний с мозговыми имплантами на людях. Согласно заявлению компании, с помощью микрочипов можно будет не только лечить заболевания, но и вывести человека на один уровень с компьютером в части функций памяти и выполнения задач.¹⁰³ Еще один стартап, Kernel, сфокусирован непосредственно на разработке микрочипов, выполняющих операции с человеческой памятью. Такие имплантанты будут преобразовывать поступающую в мозг информацию в долгосрочные воспоминания, что позволит улучшить процесс обучения.¹⁰⁴

Согласно прогнозам футурологов, в будущем мозговые имплантанты в сфере обучения будут повседневным явлением: с самого начала обучения в школе детям будут вживлять мозговые имплантанты для улучшения памяти.¹⁰⁵ Так, имплантанты могут помочь студентам концентрироваться, запоминать, учиться, принимать решения, повысить уровень успеваемости. В результате обучение может свестись к «загрузке» новых знаний и навыков в мозг обучающегося.¹⁰⁶

¹⁰⁰ Известия (2022) Российские мозговые имплантанты смогли активировать органы чувств URL: <https://iz.ru/1350979/2022-06-17/rossiiskie-mozgovye-implanty-smogli-aktivirovat-organy-chuvstv>

¹⁰¹ РБК Тренды (2022) Специалист по имплантам мозга: кто научит нас общаться силой мысли URL: <https://trends.rbc.ru/trends/education/619271899a794708fbdf4b8b>

¹⁰² Ведомости (2021) Стартап Илона Маска научил обезьяну играть в видеоигры вживленным в мозг чипом URL: <https://www.vedomosti.ru/technology/news/2021/02/01/856203-startap-ilona-maski-uspeshno-vzhivil-mikrochip-v-mozg-obeyzani>

¹⁰³ Forbes (2022) Испытания нейрочипов на людях и массовые увольнения: что происходит в Neuralink Маска URL: <https://www.forbes.ru/tekhnologii/454543-ispytania-nejrocipov-na-ludah-i-massovye-uvolneniya-cto-proishodit-v-neuralink-maska>

¹⁰⁴ Хайтек (2016) Kernel разрабатывает мозговые имплантанты для восстановления памяти URL: <https://hightech.fm/2016/08/22/kernel>

¹⁰⁵ Preprints (2022) Neural implants: A review of current trends and future perspectives URL: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjpx4bkqPH6AhVOlosKHXi0C7EQFnoECC4QAQ&url=https%3A%2Fwww.preprints.org%2Fmanuscript%2F202202.0050%2Fv1%2Fdownload&usg=AOvVaw25MjzqF7_BVxLgl0kQJ8OW

¹⁰⁶ The Royal Society (2019) iHuman Blurring lines between mind and machine URL: <https://royalsociety.org/-/media/policy/projects/ihuman/report-neural-interfaces.pdf>

- Частота наступления: единичный случай.
- Скорость наступления: медленная.
- Ожидаемое время наступления: через 5-10 лет.
- Уровень предсказуемости наступления события: низкая.
- Наличие слабых сигналов и степень реакции на них: да, но игнорируются как шум.
- Природа эффекта: технологическая / социально-экономическая.
- Масштабы эффекта: локальные / глобальные.

Люди-киборги

Киборги – это люди, в организме которых интегрированы механические или электронные устройства, расширяющие его возможности (механические конечности, слуховые и зрительные имплантанты, и т. п.).¹⁰⁷ Предпосылки появления людей-киборгов можно наблюдать уже сегодня. Так, официально признанный первым в мире человеком-киборгом британский художник Н. Харбисон вживил в голову антенну, превращающую цвет в слышимые частоты, канадский кинорежиссер Р. Спенс вживил цифровую видеокамеру вместо глаза.¹⁰⁸

Согласно прогнозам французской компании L'Atelier, в 2020-2030 гг. цифровизация затронет преимущественно сферу наук о жизни из-за стремительных изменений окружающей среды и необходимости человека подстраиваться под них.¹⁰⁹ Так, в период до 2030-х гг. начнется использование сложных технологий, способных улучшить человеческие возможности. Например, аудио-имплантанты помогут улучшить слух и смогут переводить речь на различные языки, а обонятельные имплантанты будут направлены на стимулирование более точного восприятия запахов.

Прогресс в развитии неинвазивных устройств также будет способствовать распространению устройств, усиливающих способности человека. Коллектив ученых из России, США, Канады и Австралии описал технологию, которая станет возможной к 2040-2050 гг. благодаря стабильному и безопасному интернету, – нейронные нанороботы (neural

¹⁰⁷ Инвест-Форсайт (2020) 8 известных людей-киборгов URL: <https://www.if24.ru/8-izvestnyh-lyudej-kiborgov/>

¹⁰⁸ Там же.

¹⁰⁹ РБК Тренды (2021) Люди-киборги: каким будет человек в 2030 году URL: <https://trends.rbc.ru/trends/futurology/5f566f0e9a79477832051401>

nanorobotics) обеспечат взаимодействие человеческого мозга и «облака» (“human brain/cloud interface”).¹¹⁰

- Частота наступления: единичный случай.
- Скорость наступления: медленная.
- Ожидаемое время наступления: через 10-20 лет.
- Уровень предсказуемости наступления события: высокий.
- Наличие слабых сигналов и степень реакции на них: да.
- Природа эффекта: технологическая / социально-экономическая.
- Масштабы эффекта: локальные / глобальные.

Цифровая реинкарнация людей

Цифровая реинкарнация – это процесс имитации воскрешения людей с использованием цифровых технологий и искусственного интеллекта.¹¹¹ В качестве примеров цифрового бессмертия можно привести 2D-проекции, 3D-гологramмы, а также чат-ботов на основе алгоритмов машинного обучения и анализа данных пользователя.¹¹² Основная особенность голограмм заключается в том, что при помощи моделирования и алгоритмов ИИ создается точная копия определенного человека, способная копировать его действия, поведение и манеру общения. Цена за такую услугу от компании Kaleida, занимающейся изготовлением цифровых голограмм, может достигать 100 тыс. долл.¹¹³

Ученые расходятся во мнениях относительно этичности цифровой реинкарнации.¹¹⁴ Тем не менее, в будущем, вероятно, цифровая реинкарнация будет распространяться в повседневной жизни из-за цифровизации и роста доступности иммерсивных технологий, ИИ.¹¹⁵ Барьером могут стать религиозные убеждения, культурные особенности, характерные для того или иного общества.

¹¹⁰ Martins NRB, Angelica A, Chakravarthy K, Svidinenko Y, Boehm FJ, Opris I, Lebedev MA, Swan M, Garan SA, Rosenfeld JV, Hogg T and Freitas RA Jr (2019) Human Brain/Cloud Interface. *Front. Neurosci.* 13:112. doi: 10.3389/fnins.2019.00112

¹¹¹ The Economic Times (2021) Digital Reincarnation: What should happen to the data you leave behind after your death? URL: <https://economictimes.indiatimes.com/magazines/panache/digital-reincarnation-what-should-happen-to-the-data-you-leave-behind-after-your-death/articleshow/84707132.cms>

¹¹² Там же.

¹¹³ Там же.

¹¹⁴ Art Agenda (2020) “Digital Reincarnations” URL: <https://www.art-agenda.com/criticism/355558/digital-reincarnations>

¹¹⁵ UCR News (2021) Artificial intelligence is bringing the dead back to “life” – but should it? URL: <https://news.ucr.edu/articles/2021/08/04/artificial-intelligence-bringing-dead-back-life-should-it>

- Частота наступления: единичный случай.
- Скорость наступления: медленная.
- Ожидаемое время наступления: через 10-20 лет.
- Уровень предсказуемости наступления события: низкий.
- Наличие слабых сигналов и степень реакции на них: да, но игнорируются как шум.
- Природа эффекта: технологическая / социально-экономическая.
- Масштабы эффекта: локальные.

Полное замещение врачей роботами

Рынок высокотехнологичных роботов-хирургов постоянно расширяется, точность диапазона движений робота уже сейчас превосходит возможности человека и позволяет проводить сложнейшие операции, например, на мозге, с минимальными рисками. При этом, в настоящее время управление роботом осуществляется под контролем врача.¹¹⁶

Применение ИИ в области диагностики заболеваний также дает очень высокий результат и скорость постановки диагноза, ИИ применяется в клинической фармакологии, в генетических исследованиях, в разных видах терапии, в онкологии, особенно в лучевой диагностике¹¹⁷, и обладает огромным потенциалом в ближайшем будущем. Областями, в которых сильный искусственный интеллект способен заменить людей, могут стать клиническая фармакология, генетика.

Вопрос, могут ли роботизированные системы по мере развития технологий ИИ стать полностью автономными системами и исключить необходимость участия врача? Препятствием к такому развитию событий становится тот факт, что процесс лечения не является полностью алгоритмизированным: при принятии решений и рекомендаций врачу необходимо учитывать не только анамнез клиента и клиническую картину, но и другие аспекты жизни человека (его социальный контекст, финансовые обстоятельства, эмоциональное состояние и др.), также для многих пациентов отношения с врачом имеют большое значение, возможность диалога и поддержки опытным специалистом, ощущение заботы, что может оказывать существенное влияние на процесс исцеления.

Таким образом, использование ИИ в медицине скорее будет направлено на расширение и ускорение возможностей диагностики и лечения, но не на замену самого

¹¹⁶ Forbes (2021) Can Doctors Truly Be Replaced By Technology? URL: <https://www.forbes.com/sites/saibala/2021/09/22/can-doctors-truly-be-replaced-by-technology/?sh=537a65814a83>

¹¹⁷ Научная Россия (2021) Ассистент для любого врача. Об искусственном интеллекте в медицине URL: <https://scientificrussia.ru/articles/assistent-dla-lubogo-vraca-ob-iskusstvennom-intellekte-v-medicine-gabedzanc>

врача. Кроме того, распространение роботов в медицине актуализирует вопросы этики при разработке и создании сильного ИИ — наличие встроенных ограничений в его функционале и возможностях, для того, чтобы система не выходила за обозначенные рамки.

- Частота наступления: единичный случай.
- Скорость наступления: медленная.
- Ожидаемое время наступления: через 10-20 лет.
- Уровень предсказуемости наступления события: низкий.
- Наличие слабых сигналов и степень реакции на них: да, но игнорируются как шум.
- Природа эффекта: социально-экономическая / технологическая.
- Масштабы эффекта: глобальные.

Изобретение лекарства от онкологии

Около 10 млн человек в год умирают от рака¹¹⁸ и 20 млн ставят онкологический диагноз; учёные прогнозируют значительный рост этих цифр в ближайшие десятилетия¹¹⁹, в XXI в. онкология может стать основной причиной смерти в мире.¹²⁰ Концентрация систем здравоохранения на борьбе с вирусом Covid-19 негативно повлияла на процесс диагностики и лечения заболевания. Негативные прогнозы актуализируют вопрос о возможном изобретении лекарства от онкологии и социально-экономических последствиях этого.

Существование более 200 видов рака дает основание предположить, что лекарства для некоторых из них появятся гораздо раньше, чем изобретение универсального средства от онкологии. В настоящее время проводятся исследования, направленные на борьбу с «общим знаменателем» рака — видоизменёнными клетками, разрушающими здоровые органы и ткани. К ним относятся иммунотерапия, редактирование генома и деактивация теломеразы.¹²¹ Эффективная борьба с онкологией требует развития методов предотвращения рака, но большая часть ресурсов вкладывается в лечение болезни. Развитие технологий выявления и предотвращения рака (скрининговые тесты,

¹¹⁸ Morgan, K. K. (2022). How many people die of cancer a year? WebMD. URL: <https://www.webmd.com/cancer/how-many-cancer-deaths-per-year>

¹¹⁹ Министерство науки и высшего образования Российской Федерации (2022) Как российские ученые работают в области онкологии URL: <https://minobrnauki.gov.ru/press-center/news/novosti-podvedomstvennykh-uchrezhdeniy/46772/>

¹²⁰ Drexler, M. (2020) The cancer miracle isn't a cure. It's prevention. Harvard Public Health Magazine. URL: https://www.hsppharvard.edu/magazine/magazine_article/the-cancer-miracle-isnt-a-cure-its-prevention/

¹²¹ The Actuary (2020) What if: We found A cure for cancer? URL: <https://www.theactuary.com/features/2017/02/2017/02/08/what-if-we-found-cure-cancer>

непрерывный мониторинг риска развития рака и пр.) позволило бы существенно снизить смертность от онкологических заболеваний.

Изобретение лекарства от рака может иметь незначительный эффект на продолжительность жизни: в развитых странах она может увеличиться лишь на два года.¹²² Также как и в случае с лекарствами от других болезней и вакцин, обострится проблема доступности препаратов против онкологии как внутри отдельных стран, так и между ними. Также появление универсального лекарства может привести к кардинальным изменениям фармацевтической отрасли, обострению вопросов занятости в медицинской и научной сферах в связи с высвобождением большого числа специалистов. Например, Cancer Research UK финансирует деятельность более 7 тыс. учёных Великобритании, и в общей сложности более 300 тыс. человек задействованы в исследовании или лечении рака по всей стране.¹²³

- Частота наступления: единичный случай.
- Скорость наступления: медленная.
- Ожидаемое время наступления: через 5-10 лет.
- Уровень предсказуемости наступления события: низкий.
- Наличие слабых сигналов и степень реакции на них: да.
- Природа эффекта: социально-экономическая / технологическая.
- Масштабы эффекта: глобальные.

Цифровое бессмертие

Идея цифрового бессмертия предполагает «сохранение» личности человека на долговечных носителях информации и возможность взаимодействовать с ним. Цифровое бессмертие связано с гипотетическими технологиями «загрузки» сознания, для чего потребуется создание искусственной сети из 86 млрд нейронов (примерно из такого числа нейронов состоит мозг человека). Карта комбинаций и взаимосвязей всех нейронов пока не составлена, также как и не изучен механизм передачи сигналов между нейронами.¹²⁴ Кроме того, для хранения такого объема информации необходимо значительное увеличение

¹²² Sayburn, A. (2016). What if... we cured cancer? The Bulletin of the Royal College of Surgeons of England, 98(5), 190–193. <https://doi.org/10.1308/rcsbull.2016.190>

¹²³ Там же.

¹²⁴ РБК Тренды (2021) Цифровое бессмертие: есть ли жизнь после смерти в компьютере URL: <https://trends.rbc.ru/trends/futurology/5e2825d29a7947f9fe755f87>

мощностей для хранения данных – по приблизительным оценкам, сканирование 86 млрд нейронов соответствует 2,5 петабайтам данных.¹²⁵

Над технологиями цифрового бессмертия работают ряд стартапов, взявших за основу алгоритмы машинного обучения, например¹²⁶:

- LivesOn (генерирует сообщения в социальной сети Twitter с помощью анализа твитов конкретного пользователя и проекции их на искусственно созданный аккаунт в целях достижения полного совпадения написанных пользователем и автоматически сгенерированных твитов).

- Eterni.Me (предназначена для анализа аккаунтов пользователя в социальных сетях для создания цифрового прототипа после его смерти).

- HumAi (создает антропоморфных роботов, похожих на умерших людей, а также наделяет их искусственным интеллектом для общения с родными и близкими).

Теоретически загрузка сознания возможна, но ее практическая реализация – перспектива отдаленного будущего. В случае, если загрузка сознания человека станет реальной, возникнет ряд вопросов этического и юридического характера.

- Частота наступления: единичный случай.
- Скорость наступления: медленная.
- Ожидаемое время наступления: через 10-20 лет.
- Уровень предсказуемости наступления события: низкий.
- Наличие слабых сигналов и степень реакции на них: да, но игнорируются как шум.
- Природа эффекта: социально-экономическая / технологическая.
- Масштабы эффекта: глобальные.

Распространение цифровых двойников пациентов

Сегодня джокер о распространения цифровых двойников пациентов является возможным в рамках глобального тренда о переходе к партисипативной медицине.¹²⁷ Согласно модели партисипативной медицины, человек из «пассивного получателя» услуг становится активным участником, который сам выбирает диагностику и лечение наряду с лечащим врачом, используя различные приложения, дневники самонаблюдения и сервисы

¹²⁵ Future Business Tech (2022) The Insane Technology of Digital Immortality URL: <https://www.futurebusinesstech.com/blog/the-insane-technology-of-digital-immortality>

¹²⁶ SOC Arxiv (2020) Posthumous Performance and Digital Resurrection: From Science Fiction to Startups URL: <https://osf.io/preprints/socarxiv/2gkw9/>

¹²⁷ НИУ ВШЭ (2022) База глобальных трендов и вызовов URL: https://ncmu.hse.ru/chelpoten_trends/participative_med

простой диагностики.¹²⁸ Таким образом, становится возможным распространение цифровых двойников пациентов, поскольку с их помощью можно будет смоделировать как определенные процессы человеческого организма, так и действие лекарств на эти процессы.

Сегодня цифровые двойники внедряются для улучшения персонализированного подхода и повышения эффективности диагностики и лечения.¹²⁹ Виртуальные модели создаются на основе данных, полученных из носимых устройств, а также из записей в дневниках пациента и врача. Развитию технологии способствует использование технологий машинного обучения, передачи данных в реальном времени, а также AR и VR решений.

К 2025 г. на базе Сеченовского университета планируется открыть уникальный Центр биодизайна и персонализированного здравоохранения, направленного на разработку платформы анализа данных для создания цифровых двойников заболеваний.¹³⁰ Станет доступной возможность подбора наиболее эффективной для пациента схемы лечения с учетом индивидуальных характеристик его здоровья.

В качестве примеров цифровых двойников, над которыми различные организации работают уже сегодня, можно привести следующие¹³¹:

1) Проект виртуального сердца Philips HeartModel, моделирующий орган с помощью ультразвукового оборудования, позволяющего снабжать сердце характеристиками отдельных пациентов в целях отслеживания прогрессирования заболеваний и реакции на лекарства.

2) Цифровое моделирование цепочек РНК больных ревматоидным артритом мышей учеными из Линчёпингского университета (Швеция) в целях анализа диагностики и лечения заболевания с помощью копирования РНК.

3) Тестирование эффективности лекарств и медицинских устройств Управлением по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов США.

Помимо цифровых двойников пациентов, в будущем также возможно распространение цифровых двойников лабораторий лекарств, поскольку это поможет

¹²⁸ Там же.

¹²⁹ Venture Beat (2021) 21 ways medical digital twins will transform healthcare URL: <https://venturebeat.com/2021/07/04/21-ways-medical-digital-twins-will-transform-healthcare/>

¹³⁰ Сеченовский университет (2021) Цифровые двойники в медицине: помочь врачам, здоровье — пациентам URL: <https://www.sechenov.ru/pressroom/news/tsifrovye-dvoyniki-v-meditsine-pomoshch-vracham-zdorove-patsientam/>

¹³¹ РБК Тренды (2021) Виртуальные органы и испытание лекарств: цифровые двойники в медицине URL: <https://trends.rbc.ru/trends/industry/613b35369a7947506473665e>

автоматизировать процессы проверки. Так, в 2021 г. компания Artificial получила от Microsoft 21,5 млн долл. на разработку ПО для автоматизации лабораторий.¹³²

- Частота наступления: единичный случай.
- Скорость наступления: медленная.
- Ожидаемое время наступления: через 3-5 лет.
- Уровень предсказуемости наступления события: высокий.
- Наличие слабых сигналов и степень реакции на них: да, учитываются при планировании реакции на джокер.

- Природа эффекта: социально-экономическая.

- Масштабы эффекта: локальные / глобальные.

Обнаружение внеземных форм жизни

Внеземные формы жизни – это гипотетические формы жизни, которые могут возникнуть или уже возникли и существуют за пределами Земли. Варьируются от прокариот до целых цивилизаций, более развитых чем человечество.¹³³

В 2020 г. учеными Массачусетского технологического института (МТИ) было проведено исследование, в ходе которого обнаружилось, что микроорганизмы (например, кишечная палочка *Escherichia coli*) способны к выживанию в водородной среде.¹³⁴ Такая среда характерна для ряда экзопланет, которые являются потенциальным источником поиска внеземных форм жизни. Ученые МТИ проводят исследования по поиску комбинаций химических веществ (углерода, азота, кислорода, водорода, фосфора и серы), которые могли бы стать индикаторами присутствия внеземной жизни.

В 2021 г. был запущен космический телескоп «Джеймс Уэбб», который способен обнаруживать экзопланеты с температурой поверхности до 300 К (что практически равняется температуре поверхности Земли) и расстоянием от Земли до 15 световых лет.¹³⁵

¹³² Artificial (2021) Artificial Raises \$21.5M to Accelerate Life Science Breakthroughs URL: <https://www.artificial.com/news/artificial-series-a/>

¹³³ The New York Times (2013) Are We Alone in the Universe? URL: <https://www.nytimes.com/2013/11/19/opinion/are-we-alone-in-the-universe.html>

¹³⁴ Seager, S., Huang, J., Petkowski, J.J. et al. (2020) Laboratory studies on the viability of life in H₂-dominated exoplanet atmospheres. Nat Astron 4, 802–806 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41550-020-1069-4>

¹³⁵ Aarynn L. Carter, Sasha Hinkley et al (2022) The JWST Early Release Science Program for Direct Observations of Exoplanetary Systems I: High Contrast Imaging of the Exoplanet HIP 65426 b from 2–16 μm // Arxiv. Cornell University URL: <https://nplus1.ru/news/2022/09/02/jwst-hip-65426-b>

В 2030–2040 гг. возможен запуск более мощного телескопа, который позволит обнаружить меньшие по размеру экзопланеты.¹³⁶

- Частота наступления: единичный случай.
- Скорость наступления: медленная.
- Ожидаемое время наступления: через 10-20 лет.
- Уровень предсказуемости наступления события: не предсказуемо.
- Наличие слабых сигналов и степень реакции на них: да.
- Природа эффекта: технологическая / социально-экономическая.
- Масштабы эффекта: глобальные.

Генетический дизайн детей

Возможный благодаря развитию технологий «подбор» определенного сочетания генных признаков, которые определяют развитие когнитивных и физических характеристик детей, вызывает дискуссии в научном, политическом, общественном кругах. Основываясь на моральных представлениях о недопустимости генетических модификаций, некоторые ученые сравнивают их с евгеникой и считают неприемлемыми.¹³⁷ В это же время возможность самостоятельно выбрать набор генных признаков для будущего поколения определяется рядом других ученых как перспективное направление, способное принести глобальную пользу. Например, считается, что при генной модификации может быть снижена вероятность появления у ребенка определенных заболеваний, что, в свою очередь, приведет к формированию иммунитета у следующих поколений.¹³⁸

Впервые генетически модифицированные дети родились в 2018 г. в Китае. При помощи технологии генетических ножниц CRISPR-Cas9 ученый отредактировал ген CCR5, отвечающий за часть иммунной системы.¹³⁹ Эксперимент сочли неэтичным из-за отсутствия доклинических испытаний, которые могли бы подтвердить его безопасность, несмотря на то, что указанный выше ген способен защищать человека от ряда инфекций, а

¹³⁶ NASA. Is there life on other planets? URL: <https://exoplanets.nasa.gov/faq/5/is-there-life-on-other-planets/>

¹³⁷ Scientific American (2021) A New Era of Designer Babies May Be Based on Overhyped Science URL: <https://www.scientificamerican.com/article/a-new-era-of-designer-babies-may-be-based-on-overhyped-science/>

¹³⁸ Seisen International School (2020) Designer Babies, The Key To A Better Developed World URL: <https://www.seisen.com/student-life/seisen-post/features/~board/seisen-post/post/designer-babies-the-key-to-a-better-developed-world>

¹³⁹ Forbes (2022) Современный Прометей: как китайский ученый Хэ Цзянькуй создавал близнецов будущего URL: <https://www.forbes.ru/forbeslife/461919-sovremennyj-prometej-kak-kitajskij-uceniy-he-czan-kuj-sozдал-bliznecov-budusego>

также влиять на его когнитивные способности.¹⁴⁰ Кроме того, проведение эксперимента нарушало государственные законы КНР. Однако резкое осуждение в научном сообществе сменилось осторожным интересом к опыту¹⁴¹, что может служить сигналом того, что вопрос генетического «редактирования» будущих поколений сохранит свою актуальность.

Футуролог К. Хакль допускает, что к 2030 г. в мире могут появиться новые генно-модифицированные дети, обладающие уникальными свойствами организма, начиная от устойчивости к вирусам и заканчивая невосприимчивостью к радиоактивным волнам.¹⁴²

- Частота наступления: единичный случай.
- Скорость наступления: медленная.
- Ожидаемое время наступления: через 10-20 лет.
- Уровень предсказуемости наступления события: низкий.
- Наличие слабых сигналов и степень реакции на них: да.
- Природа эффекта: технологическая / социально-экономическая.
- Масштабы эффекта: глобальные.

Появление роботов, обладающих эмоциональным интеллектом, неотличимым от человеческого

Быстрое развитие робототехники ставит проблему глубокой интеграции роботизированных систем в среду обитания человека. Чтобы достичь этого симбиоза между людьми и роботами, искусственные системы должны учитывать эмоции — один из самых важных аспектов человеческой жизни.¹⁴³

Понимание сложных социальных сигналов (от выражения лица до языка тела) является сложной задачей для машин. Но уже сегодня есть примеры их использования для считывания человеческих эмоций. Крупные банки, такие как Bank of America и JPMorgan Chase, используют технологии для отслеживания эмоционального состояния трейдеров; роботы выполняют роли консультантов (Matey, Fujitsu; Pepper, SoftBank) и кассиров в магазинах. Совершенствование алгоритмов компьютерного зрения и машинного обучения

¹⁴⁰ N + 1 (2022) «Создатель» ГМ-детей Хэ Цзянькуй вышел из тюрьмы URL: <https://nplus1.ru/news/2022/04/05/he-unchained>

¹⁴¹ Известия (2020) Тюрьма вместо нобелевки: ученый, спасавший детей от ВИЧ, ломал им гены URL: <https://iz.ru/960139/ignat-shestakov/tiurma-vmesto-nobelevki-uchenyi-spasavshii-detei-ot-vich-lomal-im-geny>

TACC (2019) Эксперты ВОЗ высказались за создание регистра в сфере редактирования генов человека URL: https://nauka.tass.ru/nauka/6236200?utm_source=yxnews&utm_medium=desktop

¹⁴² Forbes (2021) Five Kids From The Future URL: <https://www.forbes.com/sites/cathyhackl/2021/04/18/five-kids-from-the-future/?sh=9868d5e7a379>

¹⁴³ Loghmani M. R., Rovetta S. and Venture G. (2017) Emotional intelligence in robots: Recognizing human emotions from daily-life gestures URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7989198>

внесет вклад в развитие способностей роботов распознавать и интерпретировать эмоции людей. Социально адаптированные роботы могут быть ценным активом в различных отраслях. Например, их можно использовать в качестве репетиторов для детей, опекунов для пожилых людей или пациентов больниц, помощников по обслуживанию клиентов в розничной торговле и т. д.¹⁴⁴

Эксперты указывают на то, что роботы не должны сами испытывать чувства, чтобы действовать эмоционально разумно.¹⁴⁵ Именно отсутствие у роботов эмоциональных перегрузок (в отличие от людей) позволяет сосредоточиться на чувствах и переживаниях других.

Растущая автономность и совершенствуемая способность роботов считывать и интерпретировать эмоциональное состояние человека поднимают этические и правовые вопросы о гипотетически возможном наделении их правами и обязанностями, аналогичными человеческим.

- Частота наступления: единичный случай.
- Скорость наступления: медленная.
- Ожидаемое время наступления: через 10-20 лет.
- Уровень предсказуемости наступления события: низкий.
- Наличие слабых сигналов и степень реакции на них: да.
- Природа эффекта: технологическая / социально-экономическая.
- Масштабы эффекта: локальные / глобальные.

Полная резистентность бактерий к антибиотикам

Резистентность бактерий к антибиотикам является результатом роста их устойчивости к лекарствам, в результате чего снижается эффективность медицинских препаратов. Ежегодно 700 тыс. человек умирают из-за устойчивости бактерий к лекарствам.¹⁴⁶

По оценкам ВОЗ, антибиотикорезистентность бактерий представляет собой серьезную угрозу здравоохранению и продовольственной безопасности. Без принятия необходимых мер, в частности улучшения эпиднадзора за устойчивыми к антибиотикам

¹⁴⁴ Visage Technologies (2020) Robots with emotional intelligence can improve human-robot interaction URL: <https://visagetechnologies.com/robots-with-emotional-intelligence/>

¹⁴⁵ Futurist (2017) Бездушные чувства: эмоциональный интеллект робота уже выше человеческого URL: <https://futurist.ru/articles/881-bezdushnie-chuvstva-emotsionalnyiy-intellekt-robota-uzhe-vishe-chelovecheskogo>

¹⁴⁶ World Health Organization (2019) New report calls for urgent action to avert antimicrobial resistance crisis URL: <https://www.who.int/news-room/detail/29-04-2019-new-report-calls-for-urgent-action-to-avert-antimicrobial-resistance-crisis>

инфекцими, профилактики инфекционных заболеваний и др., наступит постантибиотическая эра, в которой обычные инфекции и незначительные травмы снова могут иметь летальный исход.¹⁴⁷ Трансплантация органов, химиотерапия, операции, такие как кесарево сечение и лечение хронических заболеваний (диабет, астма), – становятся более опасными без эффективных антибиотиков для профилактики и лечения инфекций.¹⁴⁸

Невозможность лечения инфекций антибиотиками первой линии приводит к необходимости использования более дорогих лекарств. Увеличение продолжительности болезни и лечения увеличивает расходы на здравоохранение, а также несет экономическое бремя для семей и общества.

В отчете ВОЗ 2021 г. антибактериальные клинические и доклинические разработки описываются как застойные и далекие от удовлетворения глобальных потребностей. С 2017 г. одобрено только 12 антибиотиков, 10 из которых относятся к существующим классам с установленными механизмами устойчивости к противомикробным препаратам.¹⁴⁹

В связи с непрерывным ростом глобального потребления антибиотиков (в 2000-2018 гг. ежедневная доза потребления антибиотиков увеличилась на 46%¹⁵⁰) растет тенденция к устойчивости к противомикробным препаратам. Ожидается, что к 2050 г. общее число смертей, связанных с резистентностью к антибиотикам, может достичь 10 млн во всем мире.¹⁵¹ Результатом станет общемировое снижение производительности труда.

- Частота наступления: единичный случай.
- Скорость наступления: медленная.
- Ожидаемое время наступления: через 5-10 лет.
- Уровень предсказуемости наступления события: высокий.
- Наличие слабых сигналов и степень реакции на них: да, учитываются при планировании реакции на джокер.
- Природа эффекта: социально-экономическая / технологическая.

¹⁴⁷ World Health Organization (2020) Antibiotic resistance URL: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/antibiotic-resistance#:~:text=Antibiotic%20resistance%20occurs%20when%20bacteria,caused%20by%20non%2Dresistant%20bacteria>

¹⁴⁸ Там же.

¹⁴⁹ World Health Organization (2022) Lack of innovation set to undermine antibiotic performance and health gains URL:<https://www.who.int/news/item/22-06-2022-22-06-2022-lack-of-innovation-set-to-undermine-antibiotic-performance-and-health-gains>

¹⁵⁰ Browne, A. J., et al. (2021) Global antibiotic consumption and usage in humans, 2000–18: a spatial modelling study. The Lancet Planetary Health URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2542519621002801?via%3Dihub>

¹⁵¹ Chen Q. et al. (2022) Bacteriophage and Bacterial Susceptibility, Resistance, and Tolerance to Antibiotic. Pharmaceutics URL: <https://web.p.ebscohost.com/ehost/detail?vid=0&sid=9febcc43-a8be-4505-9047-ff38cb4632df%40redis&bdata=Jmxhbmc9cnU%3d#AN=158298941&db=asn>

- Масштабы эффекта: глобальные.

Экономические события-джокеры

Эпоха тотального неравенства, разделение людей на касты

Под неравенством могут пониматься различные проявления неравенства, начиная от налогового и заканчивая неравенством по признаку расы, гендера, социального статуса. Неравенство может быть измерено в следующих аспектах:

- Социальное (доступ к общественным благам и услугам).
- Экономическое (размер дохода и богатства).
- Этническое (дискриминация по расовому, половому и другим признакам).

Провал принимаемых на международном и национальных уровнях мер по сокращению неравенства в условиях глубокой неопределенности и динамично меняющейся среды может привести к тотальному неравенству. Так, регресс в его сокращении произошел в период пандемии Covid-19. Неравенство может проявляться как внутри одного государства, так и между государствами в целом.¹⁵² Основными драйверами неравенства в различных его проявлениях могут служить экономические кризисы, вспышки пандемий, цифровизация, изменение климата.¹⁵³ На сегодняшний день наиболее прогрессирующими аспектами неравенства являются социальное и экономическое, которое сильнее всего проявляется в США и Великобритании.^{154,155}

Согласно прогнозам, к 2035 г. США и Великобритания в условиях глобальной цифровизации могут потерять от 15 до 80 млн рабочих мест, при этом, новые рабочие места не будут создаваться из-за роботизации процессов и наличия гибридных рабочих мест.¹⁵⁶ Таким образом, доступ людей к определенным благам сможет варьироваться в зависимости от их доступа к работе и заработка, что будет определять социальное положение, подобно индийским кастовым системам.

- Частота наступления: единичный случай.

¹⁵² Global Governance Futures. A World Divided? Envisioning the Future of Global Inequality URL: <https://www.ggfutures.net/analysis/ggf2035-politics-of-inequality>

¹⁵³ Там же.

¹⁵⁴ Council on foreign relations (2022) The U.S. Inequality Debate URL: <https://www.cfr.org/backgrounder/us-inequality-debate>

¹⁵⁵ Big Issue (2022) What you need to know about UK inequality URL: <https://www.bigissue.com/news/social-justice/what-you-need-to-know-about-uk-inequality/>

¹⁵⁶ EPRS (2018) Global Trends to 2035 URL: [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2018/627126/EPRS_STU\(2018\)627126_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2018/627126/EPRS_STU(2018)627126_EN.pdf)

- Скорость наступления: медленная.
- Ожидаемое время наступления: через 10-20 лет.
- Уровень предсказуемости наступления события: средний.
- Наличие слабых сигналов и степень реакции на них: да, но игнорируются как шум.
- Природа эффекта: социально-экономическая / политическая.
- Масштабы эффекта: глобальные.

Повсеместное использование квантовых симуляторов

Квантовый симулятор – это устройство для выполнения квантовых алгоритмов, решающее задачи по моделированию квантовых систем и оптимизации.¹⁵⁷ Также под квантовым симулятором может пониматься программное обеспечение для классических компьютеров, с помощью которого можно запускать и тестировать квантовые программы с учетом наблюдения за поведением квантовых битов (кубитов).¹⁵⁸

Одной из сфер применения квантовых симуляторов является медицина. В 2018 г. ученые продемонстрировали виртуальную модель вибрации молекул, созданную с применением фотонного квантового симулятора.¹⁵⁹ С помощью оптического чипа было симулировано движение атомов внутри молекул на квантовом уровне. Впоследствии эти данные могут использоваться для совершенствования способов создания лекарств и других фармацевтических препаратов.¹⁶⁰ Еще одной областью применения технологий квантовых симуляций является промышленность. В 2022 г. Bosch заключила с испанской платформой квантового ПО контракт по разработке цифровых двойников с помощью квантовых симуляторов.¹⁶¹ Компания планирует использовать квантовых двойников у себя на заводах в целях ускорения сбора данных, аналитики и моделирования.

Согласно прогнозам, к 2026 г. мировой рынок квантовых вычислений составит 1,77 млрд долл., CAGR 2021-2026 – 30,2%. Такой рост будет в большей степени объясняться

¹⁵⁷ Центр квантовых технологий (2022) Цифровой квантовый симулятор на основе одиночных нейтральных атомов URL: <https://quantum.msu.ru/ru/technologies/projects/quantum-simulator>

¹⁵⁸ Microsoft (2022) Quantum simulators URL: <https://learn.microsoft.com/en-us/azure/quantum/machines/>

¹⁵⁹ Phys.org (2018) Scientists use a photonic quantum simulator to make virtual movies of molecules vibrating URL: <https://phys.org/news/2018-05-scientists-photonic-quantum-simulator-virtual.html>

¹⁶⁰ Там же.

¹⁶¹ Venture Beat (2022) Bosch's new partnership aims to explore quantum digital twins URL: <https://venturebeat.com/ai/bosch-building-quantum-digital-twin/>

потребностью в использовании квантовых алгоритмов в криптографии, машинном обучении и симуляторах.¹⁶²

- Частота наступления: единичный случай.
- Скорость наступления: медленная.
- Ожидаемое время наступления: через 10-20 лет.
- Уровень предсказуемости наступления события: средний.
- Наличие слабых сигналов и степень реакции на них: да.
- Природа эффекта: технологическая.
- Масштабы эффекта: глобальные.

Широкое распространение метавселенных

Метавселенная является конвергенцией физических и цифровых сфер на новом этапе развития Интернета и социальных сетей с использованием 3D в реальном времени.¹⁶³

Метавселенная характеризуется постоянством виртуальных миров (они продолжают существовать даже когда человек выходит из них) и бесконечностью пространства. Для функционирования метавселенных необходимы иммерсивные технологии (виртуальная (VR), дополненная (AR) и смешанная реальности (MR), соответствующие технические устройства, гарнитуры).¹⁶⁴

Ожидается, что к 2026 г. 25% людей будут проводить час в метавселенной, а 30% компаний будут предлагать услуги и продукты для метавселенной.¹⁶⁵ Глобальный доход от метавселенных может приблизиться к 800 млрд долл. в 2024 г. по сравнению с примерно 500 млрд долл. в 2020 г. Первичный рынок для производителей онлайн-игр и игрового оборудования может превысить 400 млрд долл. в 2024 г.¹⁶⁶ Сегодня рыночная капитализация компаний, занимающихся разработкой метавселенных, составляет 14,8 трлн долл.¹⁶⁷

Помимо большого рыночного потенциала, метавселенные имеют существенные недостатки, в частности связанные с большим потреблением энергии. Одна средняя

¹⁶² Analytics Insight (2022) Quantum computing market size is expected to hit US \$155.90 billion by 2030 URL: <https://www.analyticsinsight.net/quantum-computing-market-size-is-expected-to-hit-us155-90-billion-by-2030/>

¹⁶³ Ravenscraft E. (2022) What Is the Metaverse, Exactly? Wired URL: <https://www.wired.com/story/what-is-the-metaverse/>

¹⁶⁴ Luisa Zhou (2022) Metaverse Statistics 2022: Market Size, Users, and Industry Growth URL: <https://www.luisazhou.com/blog/metaverse-statistics/>

¹⁶⁵ Там же.

¹⁶⁶ Bloomberg (2021) Metaverse may be \$800 billion market, next tech platform URL: <https://www.bloomberg.com/professional/blog/metaverse-may-be-800-billion-market-next-tech-platform/>

¹⁶⁷ Luisa Zhou (2022) Metaverse Statistics 2022: Market Size, Users, and Industry Growth URL: <https://www.luisazhou.com/blog/metaverse-statistics/>

трансакция Ethereum потребляет на 60% больше энергии, чем 100 тыс. трансакций по кредитным картам; только 25% энергии, используемой для майнинга биткоинов, является возобновляемой.¹⁶⁸

Основным стимулом распространения метавселенных может стать потребность людей в новых эмоциях, развлечениях. По данным на 2022 г. основными мотивами использования метавселенной является бегство от реальности, а не ее улучшение, несмотря на бесконечные возможности, например, для образования или медицины, которые она предоставляет.¹⁶⁹ Согласно опросу Statista, 19% респондентов на вопрос, что бы они делали в метавселенных, чего не делают в реальном мире, ответили, что смотрели бы виртуальные гладиаторские бои, 18% — проводили бы неэтичные эксперименты над людьми, 22% — охотились бы на крупную дичь.¹⁷⁰

- Частота наступления: единичный случай.
- Скорость наступления: медленная.
- Ожидаемое время наступления: через 5-10 лет.
- Уровень предсказуемости наступления события: средний.
- Наличие слабых сигналов и степень реакции на них: да, учитываются при планировании реакции на джокер.
- Природа эффекта: социально-экономическая.
- Масштабы эффекта: глобальные.

Исчезновение шопинга, производство одежды на домашних 3D-принтерах

Распространение 3D-принтеров в домашнем использовании означает возможность печатать необходимую одежду, не выходя из дома, приобретая цифровые файлы на специально созданных для этого цифровых площадках либо непосредственно у брендов.

Печать одежды на 3D-принтерах характеризуется рядом преимуществ по сравнению с традиционными методами производства одежды: соответствие принципам устойчивого производства (отсутствие производственных отходов, легкость утилизации изделий, существенное упрощение цепочек поставок, сокращение объема затрачиваемых на производство энергии и ресурсов), кастомизация и демократизация дизайна, возможность производить более практичные материалы с новыми свойствами, снижение стоимости производства изделия, отсутствие затрат на хранение, упрощение и ускорение всего

¹⁶⁸ EY (2022) Metaverse: Could creating a virtual world build a more sustainable one? URL: https://www.ey.com/en_se/digital/metaverse-could-creating-a-virtual-world-build-a-more-sustainable-one

¹⁶⁹ Luisa Zhou (2022) Metaverse Statistics 2022: Market Size, Users, and Industry Growth URL: <https://www.luisazhou.com/blog/metaverse-statistics/>

¹⁷⁰ Statista (2022) What things would you do in the metaverse but never in real life? URL: <https://www.statista.com/statistics/1288731/things-done-only-metaverse/>

производственного цикла — от этапа разработки до реализации товара, возможность быстрее внедрять инновации, предоставлять широкий спектр дизайнов, адаптированных под запрос клиентов.¹⁷¹ Ожидается, что размер мирового рынка печатного текстиля достигнет 266,38 млрд. долл. к 2025 г., со среднегодовым темпом роста 8,9% в течение прогнозируемого периода.¹⁷²

Для покупателя это также сократит процесс покупки до минимально возможного — весь процесс выбора, примерки, покупки и получения станет полностью цифровым. Кроме того, привлекательной для потребителя является возможность создать одежду и обувь¹⁷³ по индивидуальному запросу, с учетом всех необходимых параметров и размеров, возможность кастомизировать изделие, а также возможность приобретать дизайнерскую одежду люксовых брендов по более низкой стоимости.¹⁷⁴

Такое производство способно расширить возможности цифровой моды, использования NFT в области моды. При этом, возникнет вопрос о защите прав интеллектуальной собственности при использовании технологий 3D-печати. Распространение может получить пиратство в дизайне, когда клиенты будут иметь доступ к нелегальным копиям цифровых файлов, и появление большого количества цифровых подделок. Это потребует принятия законодательных мер, регулирующих обращение NFT и авторское право на цифровые активы, а для брендов будет означать дополнительные усилия и вложения в защиту своих 3D-продуктов.¹⁷⁵

Развитие и распространение технологий домашней 3D-печати способствует сокращению количества рабочих мест в индустрии моды, потерявших свою актуальность, в то же время появятся новые рабочие места и специальности в этой сфере. Наличие домашних 3D-принтеров может помочь снизить негативное влияние крупных фабрик,

¹⁷¹ Why the ‘New Normal’ Might Look Quite Familiar. Materialise URL: <https://www.materialise.com/en/inspiration/articles/manufacturing-megatrends>

¹⁷² FESPA (2021) Digital Textile market trends and opportunities 2022 – how does the future look? URL: <https://www.fespa.com/en/news-media/features/digital-textile-market-trends-and-opportunities-2022---how-does-the-future-look>

¹⁷³ PC Guide (2021) Can 3D Printers Make Clothes URL: <https://www.pcguide.com/3d-printer/faq/can-3d-printers-make-clothes/>

¹⁷⁴ Hybrid Rituals (2021) How 3D Printing Can Change Our Process of Making and Consuming Fashion URL: <https://hybrid-rituals.com/the-future-of-3d-printed-fashion/>

¹⁷⁵ Appnova (2022) Ultimate Personalization: How 3D Printing is reshaping the Luxury Fashion Industry URL: <https://www.appnova.com/how-3d-printing-is-reshaping-the-luxury-fashion-industry/>

производящих одежду, так как сейчас работа таких фабрик регулярно приводит к загрязнению источников питьевой воды, наносит ущерб местным экосистемам.¹⁷⁶

- Частота наступления: единичный случай.
- Скорость наступления: медленная.
- Ожидаемое время наступления: через 10-20 лет.
- Уровень предсказуемости наступления события: средний.
- Наличие слабых сигналов и степень реакции на них: да, но игнорируются как шум.
- Природа эффекта: социально-экономическая / технологическая.
- Масштабы эффекта: глобальные.

Коммерциализация квантовых компьютеров

Используя кубиты как базовую единицу информации, квантовые компьютеры дают пользователю доступ к увеличенной вычислительной мощи, недоступной классическим системам. Обработка информации квантовыми компьютерами происходит намного быстрее, чем самыми быстрыми традиционными алгоритмами. Сегодня такие компьютеры используются как вычислители для решения определённых задач (например, для оптимизации крупномасштабных логистических сетей). В развитых странах сфера квантовых технологий получает значительное финансирование: в США бюджет Национальной квантовой инициативы составил 1,2 млрд долл.; в Великобритании планируется 235 млн фунтов стерлингов вложить в разработку и коммерциализацию квантовых компьютеров в 2019-2024 гг.; в Нидерландах действует специальная квантовая программа с бюджетом 420 млн евро.¹⁷⁷

С ростом инвестиций в данную сферу становится вероятнее крупномасштабная коммерциализация квантовых компьютеров, что, по некоторым оценкам может произойти к 2030 г.¹⁷⁸ Наибольшую пользу это может принести фармацевтике, автомобилестроению, химической и финансовой отраслям. Квантовые технологии существенно ускорят процессы

¹⁷⁶ Sustainable (2021) Research Recap: 3D Printing the Clothes You Wear URL: <https://www.sustainablewaterlooregion.ca/2021/06/15/research-recap-3d-printing-the-clothes-you-wear/>

¹⁷⁷ РБК Тренды (2021) Траты стран мира на квантовые технологии [статистика]. URL: <https://trends.rbc.ru/trends/industry/606ad5239a79474c50841023>

¹⁷⁸ McKinsey & Company (2022) Quantum computing use cases are getting real--what you need to know. URL: <https://www.mckinsey.com/capabilities/mckinsey-digital/our-insights/quantum-computing-use-cases-are-getting-real-what-you-need-to-know>

исследования и разработок и производства, а также позволяют оптимизировать логистику и цепочки поставок.¹⁷⁹

Квантовые технологии представляют серьёзную угрозу кибербезопасности государств и компаний: 2000 – 4000-кубитный квантовый компьютер может быстро расшифровать почти все системы шифрования с публичным ключом, которые используются во многих сферах (от банковских операций и кредитных карт до электросетей).¹⁸⁰ Протоколы кибербезопасности блокчейн технологий (например, Bitcoin и Ethereum) также окажутся под угрозой.¹⁸¹ Активное правительственное финансирование квантовых технологий может привести к новому витку гонки вооружений и усилить глобальную напряжённость.¹⁸²

- Частота наступления: единичный случай.
- Скорость наступления: медленная.
- Ожидаемое время наступления: через 10-20 лет.
- Уровень предсказуемости наступления события: низкий.
- Наличие слабых сигналов и степень реакции на них: да.
- Природа эффекта: технологическая.
- Масштабы эффекта: глобальные.

¹⁷⁹ McKinsey & Company (2021) Quantum computing: An emerging ecosystem and industry use cases.

URL:

<https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/business%20functions/mckinsey%20digital/our%20insights/quantum%20computing%20use%20cases%20are%20getting%20real%20what%20you%20need%20to%20know/quantum-computing-an-emerging-ecosystem.pdf>

¹⁸⁰ Herman, A. (2020) Making America quantum-safe in the post covid-19 ERA. Forbes. URL: <https://www.forbes.com/sites/arthurherman/2020/06/03/making-america-quantum-safe-in-the-post-covid-19-era/?sh=72b3434448c8>

¹⁸¹ Deloitte Netherlands (2022) Quantum computers and the Bitcoin blockchain. URL: <https://www2.deloitte.com/nl/nl/pages/innovatie/artikelen/quantum-computers-and-the-bitcoin-blockchain.html>

Deloitte Netherlands. (2022). Quantum risk to the Ethereum blockchain - a bump in the road or a brick wall? URL: <https://www2.deloitte.com/nl/nl/pages/risk/articles/quantum-risk-to-the-ethereum-blockchain.html>

¹⁸² Buchholz, S., & Ammanath, B. (2022). Quantum computing may create ethical risks for businesses. it's time to prepare. Deloitte Insights. URL: <https://www2.deloitte.com/uk/en/insights/topics/cyber-risk/quantum-computing-ethics-risks.html>

Экологические события-джокеры

Гибель пчел

Медоносные пчелы являлись важной составляющей сельского хозяйства задолго до нашей эры – разведение пчел предположительно началось в 20 тысячелетии до н.э.; вероятно, пчеловодство, предшествовало сельскому хозяйству и могло способствовать его появлению.¹⁸³ В 2007 г. было проведено исследование, которое показало, что при выращивании 87 сельскохозяйственных культур по всему миру необходимы насекомые-опылители, в то время как выжить без помощи опыления могут только 28 культур.¹⁸⁴

Ученые, исследующие вымирание пчел, предполагают, что даже при условии их полного исчезновения человечество выживет, однако рацион питания существенно сократится.¹⁸⁵ Например, такие культуры, как кофе, авокадо, яблоки, миндаль и несколько видов ягод полностью зависят от опыления.

Другие исследователи утверждают, что вымирание пчел приведет к нарушению всех экосистем, в том числе и цепи питания. Так, большую часть продуктов потеряет не только человек, но и животные, которые, в свою очередь, употребляются в пищу человеком.¹⁸⁶

В 2022 г. потери медоносных пчел в США составили около 42%, а в России массовая гибель пчел затронула 14 регионов.^{187, 188} Несмотря на то, что в последнем случае причиной гибели стало отравление насекомых пестицидами, при условии продолжительной гибели пчелиных колоний становится возможным их полное вымирание.¹⁸⁹

- Частота наступления: единичный случай.

¹⁸³ NRDC (2022) A World Without Bees? Here's What Happens If Bees Go Extinct URL: <https://www.nrdc.org/stories/world-without-bees-heres-what-happens-if-bees-go-extinct>

¹⁸⁴ Klein AM, Vaissière BE, Cane JH, Steffan-Dewenter I, Cunningham SA, Kremen C, Tscharntke T. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. Proc Biol Sci. 2007 Feb 7;274(1608):303-13. doi: 10.1098/rspb.2006.3721. PMID: 17164193; PMCID: PMC1702377.

¹⁸⁵ NRDC (2022) A World Without Bees? Here's What Happens If Bees Go Extinct URL: <https://www.nrdc.org/stories/world-without-bees-heres-what-happens-if-bees-go-extinct>

¹⁸⁶ What Would Happen If All the Bees Died? Britannica URL: <https://www.britannica.com/story/what-would-happen-if-all-the-bees-died>

¹⁸⁷ Агроинвестор (2022) В России снова массово гибнут пчелы. Основная причина — отравление пестицидами URL: <https://www.agroinvestor.ru/analytics/news/38532-v-rossii-snova-massovo-gibnut-pchely/>

¹⁸⁸ NRDC (2022) A World Without Bees? Here's What Happens If Bees Go Extinct URL: <https://www.nrdc.org/stories/world-without-bees-heres-what-happens-if-bees-go-extinct>

¹⁸⁹ Auburn University (2021) US beekeepers continue to report high colony loss rates, no clear progression toward improvement URL: https://ocm.auburn.edu/newsroom/news_articles/2021/06/241121-honey-bee-annual-loss-survey-results.php

- Скорость наступления: медленная.
- Ожидаемое время наступления: через 5-10 лет.
- Уровень предсказуемости наступления события: высокий.
- Наличие слабых сигналов и степень реакции на них: да, но игнорируются как шум.
- Природа эффекта: экологическая / социально-экономическая.
- Масштабы эффекта: глобальные.

Новая эпидемия (оспы обезьян или др.)

Всемирная организация здравоохранения установила, что распространение оспы обезьян в Европейском регионе началось, по крайней мере, в середине апреля 2022 г. – первым заболевшим считается вернувшийся из Нигерии житель Британии. По состоянию на октябрь 2022 г. число подтвержденных случаев составляет 64,85 тыс.¹⁹⁰ Стремительность распространения вируса была обусловлена снятием вызванных пандемией Covid-19 ограничений. На неожиданность появления новой инфекции для системы здравоохранения указывает то, что в конце мая 2022 г. в ВОЗ отмечали отсутствие уверенности в возможности полностью остановить распространение инфекции и неготовность обеспечить широкую доступность средств диагностики и лекарств в ближайшее время.¹⁹¹

Учитывая динамику вспышек эпидемий и пандемий с 1960-х гг., учеными компании Metabiota был построен прогноз наступления пандемий до 2034 г. Исследователи использовали исторические данные о частоте эпидемий в рамках географического распределения. Результаты показали, что частота заболеваемости, а также тяжесть осложнений и вероятность побочных заболеваний растут. Тенденция, в частности, основывается на усилении частоты передачи вирусов от животных людям. Частота передачи патогенных микроорганизмов от животных к людям растет по мере снижения устойчивости окружающей среды из-за деятельности человека. Согласно исследованию, вероятность возникновения смертоносных пандемий в ближайшие 25 лет составляет 47–57%.¹⁹² По мере таяния ледников увеличивается риск распространения вирусов, которые могут быть вызваны оттаивающими возбудителями болезней. Из-за таяния ледников

¹⁹⁰ Our world in data (2022) Monkeypox URL: <https://ourworldindata.org/monkeypox>

¹⁹¹ ООН (2022) Новые данные о вспышке оспы обезьян в Европейском регионе ВОЗ URL: <https://news.un.org/ru/story/2022/05/1424842>

¹⁹² Center for global development (2021) The Next Pandemic Could Come Soon and Be Deadlier URL: <https://www.cgdev.org/blog/the-next-pandemic-could-come-soon-and-be-deadlier>

увеличивается количество сточных вод, которые переносят патогены, и смещается на север ареал обитания животных, которые могут стать переносчиками болезней.¹⁹³

Существуют иные взгляды на динамику эпидемий и пандемий. Например, аналитики из Chatham House считают, что предсказать период наступления пандемий и эпидемий невозможно, так как они возникают случайно ввиду попадания патогена в организм человека.¹⁹⁴ Таким образом, можно лишь выделить определенные инфекции, которые впоследствии имеют большой потенциал перерождения в эпидемию и пандемию. К таким относятся респираторные инфекции, поскольку передаются воздушно-капельным путем.

- Частота наступления: редкая.
- Скорость наступления: быстрая.
- Ожидаемое время наступления: через 5-10 лет.
- Уровень предсказуемости наступления события: средний.
- Наличие слабых сигналов и степень реакции на них: да.
- Природа эффекта: социально-экономическая.
- Масштабы эффекта: глобальные.

Извержение супервулкана

В мире около 20 известных наук о супервулканах. В среднем, извержения супервулканов происходят каждые 100 тыс. лет.¹⁹⁵ Последнее известное извержение произошло на территории Новой Зеландии около 27 000 лет назад.¹⁹⁶ Извержения случаются в результате влияния внешних факторов: землетрясения, движения тектонических плит или ударов метеоритов.¹⁹⁷ Однако исследования супервулкана Тоба в Индонезии показали, что извержению не будут предшествовать или оно не будет сопровождаться очевидными геологическими признаками (землетрясением).¹⁹⁸

¹⁹³ Lemieux A, Colby GA, Poulain AJ, Aris-Brosou S. 2022 Viral spillover risk increases with climate change in High Arctic lake sediments. Proc. R. Soc. B 289: 20221073. <https://doi.org/10.1098/rspb.2022.1073>

¹⁹⁴ Chatham House (2022) The next pandemic – when could it be? URL: <https://www.chathamhouse.org/2022/02/next-pandemic-when-could-it-be>

¹⁹⁵ Cox, D. (2017) NASA's ambitious plan to save Earth from a supervolcano. BBC Future. URL: <https://www.bbc.com/future/article/20170817-nasas-ambitious-plan-to-save-earth-from-a-supervolcano>

¹⁹⁶ Imster, E. (2015). What triggers supervolcano eruptions?: Earth. EarthSky. URL: <https://earthsky.org/earth/what-triggers-supervolcano-eruptions/>

¹⁹⁷ РИА Новости. (2015) Ученые: супервулканы взрываются только под действием "внешних сил". РИА Новости. URL: <https://ria.ru/20151105/1314123248.html>

¹⁹⁸ Ping-Ping Liu, Luca Caricchi et al (2021) Growth and thermal maturation of the Tobamagma reservoir // PNAS2021 Vol. 118 No. 45 e2101695118 DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.2101695118>

Извержение супервулкана способно привести к кардинальным климатическим изменениям: выброшенные газ и пепел изменят химический состав атмосферы и заблокируют поступление солнечного света. Например, в случае извержения Йеллоустоунского супервулкана выброс большого объёма пепла на территорию Северной и Южной Америки будет иметь негативные последствия для сельского хозяйства, окажутся загрязнены водные пути, выведены из строя линии электропередач, нарушены цепочки поставок.¹⁹⁹ 10-сантиметровый слой вулканического пепла на земле приведёт к гибели деревьев и животных, а отражение солнечного света обратно в атмосферу от поверхности планеты станет причиной длительной засухи.

Современные геофизические приборы, геохронологические данные и технологии моделирования делают расчеты более точными, но единой модели предсказания извержений супервулканов нет, что затрудняет прогнозирование таких событий. Несмотря на крайне редкую частоту извержений, ученые фиксируют активность вблизи таких вулканов. Так, в сентябре 2022 г. впервые с 0 до 1 (из 6) был повышен уровень опасности новозеландского супервулкана Таупо, – весной 2022 г. была зафиксирована сейсмическая активность (свыше 700 землетрясений) и поднятие восточной части дна озера Таупо на 2 см.²⁰⁰ В ходе изучения индонезийского супервулкана Тоба ученые пришли к выводу, что между извержениями, происходящими с периодичностью ок. 17 тыс. лет, вулкан сохраняет активность, что ставит под сомнение общепринятую теорию, согласно которой супервулканы не представляют опасности между эпизодами крупных извержений.²⁰¹

- Частота наступления: редкая.
- Скорость наступления: быстрая.
- Ожидаемое время наступления: -.
- Уровень предсказуемости наступления события: низкий.
- Наличие слабых сигналов и степень реакции на них: да.
- Природа эффекта: экологическая, социально-экономическая.
- Масштабы эффекта: глобальные.

¹⁹⁹ Bender, M. (2021) What would happen if a supervolcano erupted? The answer is "horrific and smelly". Inverse. URL: <https://www.inverse.com/science/supervolcano-eruption-future-earth-2121>

²⁰⁰ New Zealand Herald (2022) NZ's quiet supervolcano explained: What's going on beneath Taupō? URL: <https://www.nzherald.co.nz/nz/nzs-quiet-supervolcano-explained-whats-going-on-beneath-taupo/ENNBLPR6VZZG7Y2PVG4OA6YC3A/>

²⁰¹ Mucek, A.E., Danišík, M., de Silva, S.L. *et al.* Resurgence initiation and subsolidus eruption of cold carapace of warm magma at Toba Caldera, Sumatra. *Commun Earth Environ* **2**, 185 (2021). <https://doi.org/10.1038/s43247-021-00260-1>

Исчезновение ледников в Восточной Африке

По прогнозам ЮНЕСКО, даже если выбросы парниковых газов сократятся, а глобальное потепление будет ограничено 1,5°C, треть крупных ледников, внесенных в список всемирного наследия, может исчезнуть к 2050 г., включая ледники гор Килиманджаро (Танзания), Кения (Кения), Рувензори (Уганда).²⁰² Температурные изменения в океане, связанные с глобальным потеплением, негативно влияют на ледники на африканском континенте; режим выпадения осадков становится менее предсказуемым, засухи – более длительными, снега в горах становится меньше. Чем меньше снежный покров, тем хуже он защищает ледники от солнечной радиации и тем быстрее они тают. Так, количество ледников на горе Кения сократилось с 18 до 10 в 1899-2004 гг., а скорость их таяния только выросла. Ледник Льюиса, самый большой из ледников горы Кения потерял 90% льда в 1934-2010 гг.²⁰³

Ледниковые экосистемы обеспечивают жизненно важные ресурсы для значительной части населения мира, они являются источниками пресной воды для бытовых нужд, сельского хозяйства, промышленности, гидроэнергетики. В питаемых ледниками бассейнах сосредоточено 50% очагов биологического разнообразия.²⁰⁴ Исчезновение ледников в странах Восточной Африки может стать причиной появления новых и обострения существующих конфликтов, массовых перемещений людей на всем континенте. К 2030 г. четыре из пяти стран Африки не смогут поддерживать устойчивое управление водными ресурсами; обострится проблема обеспечения продовольственной безопасности.²⁰⁵

Будущее восточноафриканских ледников зависит от количества осадков, которые выпадут в регионе, а также от успеха мер по сокращению антропогенного влияния на экологию. Более 40 стран континента пересмотрели национальные климатические планы, расширив принятые на себя обязательства.²⁰⁶ Однако доля, которая приходится на

²⁰² UNESCO, IUCN (2022) World heritage glaciers: sentinels of climate change URL: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000383551>

²⁰³ The Washington Post (2022) The twilight of Africa's glaciers URL: <https://www.washingtonpost.com/world/interactive/2022/kenya-glaciers-africa-climate-change/>

²⁰⁴ UNESCO, IUCN (2022) World heritage glaciers: sentinels of climate change URL: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000383551>

²⁰⁵ ООН (2021) Африка: ледники исчезают, площади основных озер сокращаются URL: <https://news.un.org/ru/story/2022/09/1431101>

²⁰⁶ Там же.

африканские страны в объеме глобальных выбросов парниковых газов (2-3%)²⁰⁷, показывает, что будущее восточноафриканских ледников будет определяться реализацией программ в странах, оказывающих гораздо большое влияние на климат.

- Частота наступления: частая.
- Скорость наступления: медленная.
- Ожидаемое время наступления: через 10-20 лет.
- Уровень предсказуемости наступления события: высокий.
- Наличие слабых сигналов и степень реакции на них: да.
- Природа эффекта: экологическая, социально-экономическая.
- Масштабы эффекта: глобальные.

Политические события-джокеры

Тотальный контроль над поведением населения

Стремительное развитие технологий способствует совершенствованию традиционных и современных устройств наблюдения. Развитие Интернета повлияло на эволюцию технологий слежения: помимо поисковых запросов, доступ к данным обеспечивается социальными сетями.²⁰⁸ Для получения доступа к личным данным технологии используются правительствами в целях поддержания общественного порядка, бизнесом для формирования маркетинговых стратегий и отдельными лицами.²⁰⁹ Однако реализация джокера требует ресурсов и полномочий, которыми располагает только государство.

Масштабный проект социального кредита в Китае является примером использования технологий государством для контроля над поведением населения. Рейтинговая система определяет доступ или отсутствие к определенным социальным сервисам, возможностям. Так, рейтинг ниже определенного уровня может стать препятствием для поступления на госслужбу, в учебные заведения, покупки транспортных билетов.²¹⁰ Помимо того, система предполагает поощрения за социально приемлемое поведение. В той или иной степени, элементы контроля внедрены в других странах мира. В Индии действует Aadhaar, самая большая биометрическая система в мире; в КНДР

²⁰⁷ Там же.

²⁰⁸ Forbes (2020) The State Of Mass Surveillance URL: <https://www.forbes.com/sites/forbestechcouncil/2020/09/25/the-state-of-mass-surveillance/?sh=7765abc6b62d>

²⁰⁹ Underwood B., Saiedian H. (2021) Mass surveillance: A study of past practices and technologies to predict future directions URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/spy.2142>

²¹⁰ РБК Тренды (2020) Что такое цифровой тоталитаризм и возможен ли он в России URL: <https://trends.rbc.ru/trends/industry/5e8efb879a79471cf805f2b3>

автоматические снимки экранов мониторов позволяют отследить и зафиксировать то, над чем работал или что искал пользователь.

Использование систем контроля, несмотря на доступность технологий, будет определяться исторически укоренившимися моделями взаимоотношений между государством и обществом. В странах с развитой демократической традицией такой контроль менее вероятен, только если он будет обоснован необходимостью защиты этой самой традиции.

- Частота наступления: единичный случай.
- Скорость наступления: медленная.
- Ожидаемое время наступления: через 10-20 лет.
- Уровень предсказуемости наступления события: средний.
- Наличие слабых сигналов и степень реакции на них: да.
- Природа эффекта: политическая, социально-экономическая.
- Масштабы эффекта: локальные / глобальные.

Раздробление интернет-экосистемы на национальные интрасети / Спинтернет

Создание правительствами стран национальных интранетов – закрытых сетей, отделённых от глобального интернета для защиты национальной инфраструктуры от внешнего вмешательства и контроля доступной для резидентов страны информации. В 2010-х гг. правительства таких стран, как Бразилия и Германия, выразили намерение создать отдельные национальные секторы интернета²¹¹ и были озвучены требования локализовать data-центры техногигантов Google и Facebook. В число стран с национальными интрасетями входят Китай²¹², Иран²¹³, Куба²¹⁴, КНДР.

Фрагментация интернета в глобальном масштабе повлечёт за собой качественные изменения в мире: формирование локальных сетей, отдельных от системы корневых

²¹¹ Kaspersky, E. (2013) What will happen if countries carve up the internet? The Guardian. URL: <https://www.theguardian.com/media-network/media-network-blog/2013/dec/17/internet-fragmentation-eugene-kaspersky>

²¹² Bloomberg (2017) The Great Firewall of China. URL: <https://www.bloomberg.com/quicktake/great-firewall-of-china>

²¹³ Dipayan Ghosh, L. S. (2021) The isolating effects of Iran's proposed "National internet". Centre for International Governance Innovation. URL: <https://www.cigionline.org/articles/isolating-effects-irans-proposed-national-internet/>

²¹⁴ Scola, N. (2021) Wait, Cuba has its own internet? The Washington Post. URL: <https://www.washingtonpost.com/news/the-switch/wp/2014/12/19/wait-cuba-has-its-own-internet/>

серверов DNS, что затруднит интероперабельность интернета²¹⁵; замедление развития интернета вещей; дискриминацию против определённых приложений и предпринимателей; рост антисоциального поведения.²¹⁶ Прежние формы международного сотрудничества, подразумевавшие децентрализованную структуру интернета и компромиссы в сфере безопасности, потеряют свою актуальность.²¹⁷ Интернет лишится статуса международной информационной магистрали и будет ограничен государственными границами. Количество и качество доступной резидентам той или иной страны информации будет определяться правительством и вовлечёнными в этот процесс частными акторами.

Создание подобных сетей требует огромных вложений со стороны государства: привлечения технологических экспертов, крупные финансовые затраты. Полная фрагментация интернета приведёт к деглобализации, которая грозит затруднением деятельности транснациональных компаний и ограничением международной коммуникации. Кроме сторонников обеспечения национального киберсуверенитета посредством фрагментации интернета, в мировом сообществе есть и сторонники открытого интернета как права человека, поэтому реализация данного джокера на уровне всех стран мира считается маловероятной.²¹⁸ В настоящее время вопрос фрагментации интернета находится на ранней стадии политической проблематизации.²¹⁹

- Частота наступления: единичный случай.
- Скорость наступления: медленная.
- Ожидаемое время наступления: через 5-10 лет.
- Уровень предсказуемости наступления события: высокий.
- Наличие слабых сигналов и степень реакции на них: да, учитываются при планировании реакции на джокер.

²¹⁵ Hill, J.F. (2012) Internet Fragmentation. Highlighting the Major Technical, Governance and Diplomatic Challenges for U.S. Policy Makers. Harvard University. URL: https://www.belfercenter.org/sites/default/files/legacy/files/internet_fragmentation_jonah_hill.pdf

²¹⁶ William J. Drake (2017) Framing Conversation: What Would Internet Fragmentation Mean for the Digital Economy? URL: https://www.sipa.columbia.edu/sites/default/files/Drake_GDF_2017_FC1_final.pdf

²¹⁷ Merrill, N., & Komaitis, K. (2020) The consequences of a fragmenting, less global internet. Brookings. URL: <https://www.brookings.edu/techstream/the-consequences-of-a-fragmenting-less-global-internet/>

²¹⁸ WEF (2016) Internet Fragmentation: An Overview URL: <https://www.weforum.org/reports/internet-fragmentation-an-overview/>

²¹⁹ EPoS | European Parliamentary Research Service (2022) 'Splinternets': Addressing the renewed debate on internet fragmentation URL: [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2022/729530/EPoS_STU\(2022\)729530_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2022/729530/EPoS_STU(2022)729530_EN.pdf)

- Природа эффекта: технологическая / политическая.
- Масштабы эффекта: глобальные.

Принятие хартии прав трансчеловека

Хартия прав трансчеловека представляет собой проект по урегулированию отношений в трансгуманистическом обществе. Этот документ не получил законного статуса, на данный момент он остается инициативно разработанным предложением движения трансгуманистов. Инициаторы хартии объясняют необходимость этого проекта тем, что человеческая раса как вид эволюционировала и приобрела способность контролировать свое развитие посредством использования технологий.²²⁰

Хартия практически полностью содержит положения, относящиеся к декларации свобод личности конституционного уровня: право на здоровье, право на долголетие, право на репродуктивную свободу, право на повышение производительности, право на усиление физических возможностей человека, право на повышение его интеллектуальных и когнитивных способностей. Хартия декларирует использование технологий во благо совершенствования и модификации людей. Такое видение развития человечества допускает слияние людей с технологиями, а значит, и постепенное исчезновение разделения на естественное и искусственное. В случае принятия хартии (в том или ином варианте) на национальных или международном уровнях, люди, придерживающиеся идей трансгуманизма, смогут воспользоваться правом «развиваться», выходя за пределы человеческого вида.²²¹

Несмотря на то, что хартия имеет декларативный характер, она является программным актом, формирующим основы и задающим базовые принципы для новых форм общественного развития.²²²

- Частота наступления: единичный случай.
- Скорость наступления: медленная.
- Ожидаемое время наступления: через 10-20 лет.
- Уровень предсказуемости наступления события: низкий.
- Наличие слабых сигналов и степень реакции на них: да, но игнорируются как шум.
- Природа эффекта: социально-экономическая / политическая.
- Масштабы эффекта: глобальные.

²²⁰ Kagan S. (2014) Charter of Transhuman Rights URL: <https://transhumanity.net/charter-of-transhuman-rights/>

²²¹ Там же.

²²² Будник, Р. А. (2022) Правовой базис трансгуманизма: хартия и билья о правах. Информационное общество URL: <http://infosoc.iis.ru/article/view/712>

Повсеместное введение универсального базового дохода

В настоящее время ни одно государство мира не обеспечивает своим гражданам универсального базового дохода (УБД) – регулярных безвозмездных денежных выплат. Целями программ по обеспечению безусловного базового дохода являются борьба с бедностью и социальным неравенством, снижение безработицы, обеспечение для населения возможности доступа к медицинским, образовательным и другим услугам. Некоторые страны имеют опыт введения pilotных программ аналогов УБД: выплаты безработным в Финляндии в 2017-2018 гг., универсализация детских пособий в Монголии в 2010 – 2012 гг., программа УБД в Иране, начавшаяся в 2011 г²²³ и пр.

Консенсус относительно последствий введения УБД – положительных или отрицательных – не сложился.²²⁴ Среди возможных негативных последствий выделяют огромные финансовые затраты для государств, рост иждивенчества, усиление социального расслоения, возможный уход женщин с рынка труда.²²⁵ Например, в ЕС введение УБД может повлечь за собой серьёзные финансовые потери для более экономически развитых членов объединения: наднациональное финансирование базового дохода в 139 евро в месяц приведёт к потерям Германии размером 1,03% ВВП и Люксембурга – 4,59% ВВП.²²⁶

Вероятными позитивными последствиями введения УБД являются повышение психического и финансового благополучия граждан, достижение универсальности в сфере соцзащиты, а также рост занятости. Учитывая ограниченный опыт мирового сообщества в вопросах применения УБД, многие системные вопросы остаются без ответа, результаты будут определяться особенностями социально-экономического развития, взаимоотношений государства и общества, уровнем технологического развития каждой конкретной страны. Само присутствие этого вопроса в общественном дискурсе может иметь положительный эффект, например, сыграв роль катализатора изменений в

²²³ Gentilini, U. (2020) Exploring Universal Basic Income : A Guide to Navigating Concepts, Evidence, and Practices. Washington, DC: World Bank. URL: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/993911574784667955/pdf/Exploring-Universal-Basic-Income-A-Guide-to-Navigating-Concepts-Evidence-and-Practices.pdf>

²²⁴ Квашнин Ю.Д. (2019) Базовый доход для европейских стран: от теории к практике // Современная Европа. №3 (88). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/bazovyy-dohod-dlya-evropeyskih-stran-ot-teorii-k-praktike>

²²⁵ Gheaus A. (2008) “Basic Income, Gender Justice and the Costs of Gender-Symmetrical Lifestyles”, in: Haagh A. and Howard M. (ed.) Basic Income Studies, vol. 3, issue 3, pp. 1–8.

²²⁶ Mencinger J. (2015) The Revenue Side of a Universal Basic Income in the EU and Euro Area, Danube: Law and Economics Review, vol. 6 (3), p. 167.

социальных моделях²²⁷ или стимулируя формулирование целей и создание механизмов возможного внедрения УБД.²²⁸ Внедрение УБД способно существенно изменить структуру общества и привести к переосмыслению роли государства.²²⁹

- Частота наступления: единичный случай.
- Скорость наступления: медленная.
- Ожидаемое время наступления: через 10-20 лет.
- Уровень предсказуемости наступления события: низкий.
- Наличие слабых сигналов и степень реакции на них: да, но игнорируются как шум.
- Природа эффекта: социально-экономическая.
- Масштабы эффекта: локальные / глобальные.

Наделение роботов правами

В 2017 г. Саудовская Аравия стала первой страной в мире, предоставившей антропоморфному роботу Софии статус гражданина.²³⁰ Это только усилило дискуссии о том, можно ли считать роботов полноценными личностями и членами общества, которые имеют права и обязанности и должны нести ответственность за свои действия.

Согласно исследованию Frontiers, гипотетически права роботов могут быть разделены на базовые, социально-политические и экономические. По результатам опроса 439 респондентов, люди с большей вероятностью готовы предоставить роботам такие права, как право на получение энергии (заряда) и право на обновление системы, нежели право голоса и владения собственностью. Frontiers считают, что возможность предоставления роботам прав той или иной категории напрямую зависит от их функций и ориентированности на определенные задачи. Так, в будущем роботы могут получить права на использование искусственного интеллекта, обработку и анализ данных.²³¹

²²⁷ Квашнин Ю.Д. (2019) Базовый доход для европейских стран: от теории к практике // Современная Европа. №3 (88). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/bazovyy-dohod-dlya-evropeyskih-stran-ot-teorii-k-praktike>

²²⁸ Бобков В.Н., Одинцова Е. В., Пилюс А. Г. (2021) Безусловный базовый доход как регулятор повышения уровня и качества жизни граждан и устойчивости общества: проблемы и возможные пути их решения. Дискуссия на российско-германской международной конференции. Москва. // Уровень жизни населения регионов России. 2021. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/bezuslovnyy-bazovyy-dohod-kak-regulyator-povysheniya-urovnya-i-kachestva-zhizni-grazhdan-i-ustoychivosti-obschestva-problemy-i>

²²⁹ Ляпоров В.Н. (2019) Концепция универсального базового дохода: дискурс и перспектива // Власть. №5. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/konseptsiya-universalnogo-bazovogo-dohoda-diskurs-i-perspektiva>

²³⁰ SHERPA (2020) The Rights of Robots URL: <https://www.project-sherpa.eu/the-rights-of-robots/>

²³¹ Frontiers (2022) Who Wants to Grant Robots Rights? URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/frobt.2021.781985/full>

Помимо этого, ведутся дискуссия о признании роботов субъектами права наряду с людьми. Некоторые эксперты указывают на то, что роботы и люди изначально являются различными по своему статусу, т.к. роботы полностью сконструированы людьми, что делает невозможным наделение человеческими правами продукта технологических достижений.²³² Признание роботов субъектами права связано со множеством вопросов – о границах их самостоятельных действий и ответственности, о роли человека в контроле за ними, и непременно повлечет за собой необходимость пересмотра всей системы права как на национальных, так и на международном уровнях.

- Частота наступления: единичный случай.
- Скорость наступления: медленная.
- Ожидаемое время наступления: через 10-20 лет.
- Уровень предсказуемости наступления события: низкий.
- Наличие слабых сигналов и степень реакции на них: да, но игнорируются как шум.
- Природа эффекта: социально-экономическая / политическая.
- Масштабы эффекта: глобальные.

1.5 Анализ и классификация существующих моделей и методов принятия решений по выявлению, предупреждению и противодействию джокерам

Текст данного раздела отчета включает в себя материалы по следующим пунктам ТЗ:

1.5 Анализ и классификация существующих моделей и методов принятия решений по выявлению, предупреждению и противодействию джокерам.

1.8 Разработка моделей и методов принятия решений в условиях глубокой неопределенности наступления джокеров с учетом оценок стоимости мероприятий по предупреждению угроз от них, противодействию их развитию и ликвидации последствий от их наступления, используя различные концепции таких решений (динамического адаптивного планирования, динамических адаптивных политик, робастного принятия решений и т. д.).

2.1 Разработка прототипа программного комплекса оценивания эффектов от слабопредсказуемых угроз техногенного и природного характера.

²³² Springer Link (2021) Human rights for robots? A literature review URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s43681-021-00050-7>

2.2 Исследование слабопредсказуемых событий и методов оценивания эффектов от их наступления в сфере международной торговли продовольствием, проведение сетевого анализа международной торговли продовольствием.

2.4 Динамический сетевой анализ международной торговли продовольствием с учетом различных сценариев изменений санкционной политики.

2.7 Разработка моделей и методов принятия решений в сфере торговли продовольствием в условиях глубокой неопределенности, связанной с изменением санкционных ограничений, и риска принятия неверных решений.

2.8 Разработка прототипа программного комплекса моделирования сценариев изменения международной торговли продовольствием и соответствующей системы поддержки принятия решений.

Задача по анализу и классификации существующих моделей и методов принятия решений по выявлению, предупреждению и противодействию джокерам (п. 1.5 из ТЗ 2022) была реализована, в том числе, на примере публикаций, посвященных устойчивости транспортной инфраструктуры в случае возникновения чрезвычайных ситуаций.

В настоящее время наблюдается рост внимания к проблеме устойчивости транспортных сетей в условиях возникновения чрезвычайных ситуаций природного характера, таких, как наводнения, землетрясения, оползни, размывы дорог и т. д. Необходимость доставки неотложных грузов в зону чрезвычайной ситуации требует разработки необходимых мер реагирования в случае ограничения или прекращения сообщения по отдельным сегментам дорожной сети.

Обзор моделей устойчивости сети

Данной теме посвящен ряд публикаций, рассмотрим модели, предложенные в некоторых из них. В работе Kermanshah & Derrible²³³ предлагается, используя компьютерную программу для симуляции землетрясений USGS ShakeMaps и базы Census Bureau's TIGER database о транспортной сети Лос-Анжелеса и Сан-Франциска, моделировать возможный характер разрушений дорожной сети. Применяется сценарный подход, предложен метод, названный Vulnerability Surface (VS), в котором повреждение сети оценивается, как площадь полигональной диаграммы ухудшений индексов сети, таких, как, например, длина разрушенных дорог, уменьшение Betweenness centrality, население без доступа транспорта, и т. д.

²³³ Kermanshah A., Derrible S. A geographical and multi-criteria vulnerability assessment of transportation networks against extreme earthquakes // Reliability Engineering & System Safety, V.53, 2016, p.39-49.

В работе Bíl et al²³⁴ предложен индекс эффективности сети

$$V = \frac{E - E_t}{E}, \quad (1)$$

где

$$E = \frac{1}{N(N-1)} \frac{\text{Population}^2}{\text{NumOfNodes}^2} \sum_{i \neq j} \frac{P_i P_j}{d_{ij}}. \quad (2)$$

где d_{ij} — длина кратчайшего пути между вершинами i и j ,

P_i — население в вершине i ,

Population — общее население,

NumOfNodes — общее число населенных пунктов (вершин сети).

Данные для исследования были собраны путем рассылки опросов по местным администрациям дорог Чехии. За три года 2011–2013 было собрано 2752 записи о повреждениях дорог из-за чрезвычайных ситуаций.

Кроме индекса эффективности сети, в работе предлагается также использовать такие показатели, такие, как число удаленных дуг сети, число компонент связности, отношение длин дорог в сети до и после разрушений, количество населения, потерявшего доступ к транспортной сети.

В работе Sohn²³⁵ предложен Accessibility index для населенных пунктов сети дорог, учитывающий длину кратчайшего пути и объем транспорта между населенными пунктами. Задача формулируется для штата Мэриленд, США, населенные пункты взяты, как транспортные центры графств (всего 23 населенных пункта).

Accessibility index представляет собой оценку изменения доступности населенного пункта для сценария по сравнению с исходной доступностью. Под сценарием подразумевается изменение длины кратчайшего пути и объем транспорта между

²³⁴ Bíl M., Vodák R., Kubeček J., Bílová M., Sedoník J. Evaluating road network damage caused by natural disasters in the Czech Republic between 1997 and 2010 // Transportation Research Part A: Policy and Practice, V.80, 2015, p.90-103.

²³⁵ Sohn J. Evaluating the significance of highway network links under the flood damage: An accessibility approach // Transportation Research Part A: Policy and Practice V.40, Iss.6, 2006, p.491-506.

рассматриваемым населенным пунктом и всеми остальными населенными пунктами. Для заданного сценария чрезвычайной ситуации, индекс можно представить в следующем виде:

$$A_i = \alpha p_i \sum_{j \neq i} p_j D_{ij} + (1 - \alpha) p_i \sum_{j \neq i} p_j T_{ij}. \quad (3)$$

где A_i — Accessibility index для населенного пункта i в заданном сценарии,
 p_i — доля населения населенного пункта i ,
 D_{ij} — обратное кратчайшее расстояние между i и j , при условии сценария, взятое, как доля от суммы такого обратного кратчайшего расстояния ко всем остальным населенным пунктам, т.е.

$$D_{ij} = \frac{d_{ij}}{\sum_{i \neq k} d_{ik}^*}, \quad (4)$$

где d_{ij} — обратное кратчайшее расстояние между i и j при условии сценария чрезвычайной ситуации,

d_{ik}^* — обратное кратчайшее расстояние между i и k в нормальных условиях.

При этом обратное кратчайшее расстояние берется с коэффициентом β , т. е.

$$d_{ij} = \frac{1}{s d_{ij}^\beta}, \quad (5)$$

где $s d_{ij}$ — кратчайшее расстояние между i и j .

Коэффициент β является параметром модели, фиксирован $\beta = 0.445632$ из соображений гравитационных оснований модели.

T_{ij} — объем транспорта по кратчайшему пути между i и j , при условии сценария, взятый, как доля от суммы такого объема транспорта ко всем остальным населенным пунктам, т. е.

$$T_{ij} = \frac{t_{ij}}{\sum_{i \neq k} t_{ik}^*}, \quad (6)$$

где t_{ij} — объем транспорта по кратчайшему пути между i и j при условии сценария чрезвычайной ситуации,

t_{ik}^* — объем транспорта по кратчайшему пути между i и k в нормальных условиях,

α — весовой коэффициент, отражающий учет кратчайшего расстояния ($\alpha=1$), или объема транспорта ($\alpha=0$).

Простейший вариант сценария, и соответствующий индекс A_i^{kl} , рассматривается для случая, в котором разрушена одна дорога между вершинами k и l . Предложенный индекс рассчитан по данным о вероятности разрушения каждой из дорог, полученной из исторических наблюдений о наводнениях в течение последних 100 лет.

В исследуемых моделях рассматривается граф дорог и изучается в определенном смысле устойчивость сети дорог к воздействию чрезвычайных ситуаций. Разрабатывается модель влияния пропускной способности дороги на доступность населенных пунктов с учетом размера населенного пункта.

Таким образом, были исследованы тематики публикаций, посвященных устойчивости транспортной инфраструктуры в случае возникновения чрезвычайных ситуаций.

С целью реализации задач по п. 1.8. Разработка моделей и методов принятия решений в условиях глубокой неопределенности наступления джокеров с учетом оценок стоимости мероприятий по предупреждению угроз от них, противодействию их развитию и ликвидации последствий от их наступления, используя различные концепции таких решений (динамического адаптивного планирования, динамических адаптивных политик, робастного принятия решений и т. д.) (а также пунктов 2.1, 2.2, 2.4, 2.7, 2.8 по ТЗ 2022) предлагается модель для определения уязвимости стран с точки зрения продовольственной безопасности. Данная модель основана на сетевом анализе в условиях глубокой неопределенности, которые влияют на спрос и предложение продовольствия в странах. В таких условиях были изучены наиболее уязвимые страны. Были построены сценарии различных ситуаций, и была протестирована новая модель для изучения этих ситуаций.

Продовольственная безопасность играет одну из ключевых ролей в нашей жизни. В 1996 году на Всемирном саммите проблем продовольствия было определено, что продовольственная безопасность заключается в физическом, социальном и экономическом

доступе к достаточному количеству безопасной, питательной пищи, удовлетворяющей диетическим потребностям для здоровой жизни. На ситуацию продовольственной безопасности могут влиять такие факторы как изменение величины производства, экспорта или импорта продукции. Причинами таких изменений могут быть как различные природные явления (засуха, землетрясение, наводнение и т. д.), так и социальные явления (введение эмбарго, разрыв торговых отношений и т. д.). Например, согласно информации на официальном сайте UNICEF, сильнейшее наводнение в Пакистане в 2022 году привело к тому, что почти 10 миллионов детей оказались нуждающимися в помощи, в том числе от недоедания. Проблема голода в глобальном масштабе не может быть решена без повышения производительности труда, развития науки и технологий, новых способов сохранения пищевых продуктов, развития логистических схем и сельскохозяйственного производства^{236 ; 237}. Таким образом, в настоящее время существует потребность в проведении исследований о продовольственном обеспечении стран в различных ситуациях.

Для моделирования последствия событий, оказывающих влияние на экспорт/импорт в сети²³⁸, мы используем сценарный анализ и рассматриваем модели сетей продовольствия для выявления критических стран в случае изменения объемов экспорта/импорта. Сценарный анализ предполагает разработку системы, позволяющую производить моделирование сети при различных исходных данных. Основная цель заключается в нахождении наиболее уязвимых стран в случае, если какие-то страны по различным причинам не смогут экспортовать или импортировать рассматриваемые виды продовольствия. Например, если предположить в рассматриваемой модели, что какая-то страна многократно сократила объем экспорта в результате засухи, то можно будет оценить, какие страны пострадают от нехватки продовольствия в результате снижения объемов импорта. Сценарный анализ рассматривается нами как процесс моделирования изменения потоков продуктов независимо от причин данного процесса. Проведение сценарного анализа также позволит ответить на вопросы о возможном замещении недостающих поставок для критических стран поставками из других стран.

²³⁶ Serageldin I. Biotechnology and food security in the 21st century //Science. – 1999. – Т. 285. – №. 5426. – С. 387-389.

²³⁷ Rosegrant M. W., Cline S. A. Global food security: challenges and policies //Science. – 2003. – Т. 302. – №. 5652. – С. 1917-1919.

²³⁸ Newman M. E. J. The structure and function of complex networks //SIAM review. – 2003. – Т. 45. – №. 2. – С. 167-256.

Для выявления уязвимых стран в сетях экспорта/импорта зерновых культур с учетом их производства используется величина дефицита потребления на душу населения. Индексы центральности используются для выявления стран наиболее зависимых от импорта продукции зерновых культур^{239;240}).

В работе проанализирована ситуация на данных экспорта/импорта по основным продуктам питания (рис, пшеница, кукуруза, сорго, ячмень, рожь и просо) для различных стран за 2018, 2019, 2020 гг. Проанализировано потребление зерновых культур с точки зрения физиологических потребностей. Построены сценарии различных ситуаций, а также предложена новая модель изучения данных ситуаций, которая тестируется на данных.

Описание данных

Данные об импорте, экспорте и производстве риса, пшеницы, кукурузы, сорго и ржи были получены от организации FAO²⁴¹ и Comtrade²⁴². Основная проблема, которая возникала с данными, заключается в несоответствии отчетности о стоимости импорта и экспорта торговыми странами. Например, в данных FAO за 2019 год (пшеница, рис, кукуруза, просо, сорго и рожь) из общего числа 7078 зарегистрированных значений для импорта и экспорта одно и то же значение составило 1461 (20,64%), число случаев с разным значением составляет 1461 (79,35%), среди которых пустые значения для импорта и экспорта составили 654 (9,24%) и 1719 (29,29%) соответственно. Для исправления ошибок используются следующие шаги из Meshcheryakova²⁴³, которые описаны ниже.

- 1) Одни и те же сообщаемые значения импорта (экспорта) между странами были отделены от различных сообщаемых значений импорта (экспорта) между странами.
- 2) Различные значения были дополнительно обработаны путем удаления экстремально малых и экстремально больших значений, о которых сообщают разные

²³⁹ Aleskerov F., Shvydun S., Meshcheryakova N. (2021) New Centrality Measures in Networks: How to Take Into Account the Parameters of the Nodes and Group Influence of Nodes to Nodes. – Chapman and Hall/CRC, 2021.

²⁴⁰ Aleskerov F., Sergeeva Z., Shvydun S. Assessment of Exporting Economies Influence on the Global Food Network //Optimization Methods and Applications. – Springer, Cham, 2017. – С. 1-10.

²⁴¹ Crops and livestock products. FAO [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/TCL> (дата обращения 6.11.2022)

²⁴² UNComtrade Database [Электронный ресурс]. – URL: <https://comtrade.un.org/data/> (дата обращения 6.11.2022)

²⁴³ Meshcheryakova N. Network analysis of bilateral trade data under asymmetry //2020 IEEE/ACM International Conference on Advances in Social Networks Analysis and Mining (ASONAM). – IEEE, 2020. – С. 379-383.

страны. Для этого были выбраны два параметра настройки: r -й и R -й перцентили. Нами рассмотрены $r = 5, R = 95$.

3) Затем из новой выборки данных импорта (экспорта) найдено среднее значение потока (значение импорта и экспорта). Обозначим $M_{import}(r, R)$ ($M_{export}(r, R)$) за среднее значение импорта (экспорта) выборки.

4) Далее, рассматривается еще один параметр настройки (t), который составляет некоторый процент от $M_{import}(r, R)$ и $M_{export}(r, R)$, для того, чтобы в дальнейшем исключить небольшие значения импорта (экспорта) из выборочных данных. Этот процесс называется очисткой данных для малых и больших значений. Нами рассматривается $t = 1\%$.

В конце стоимость импорта (экспорта) была определена с использованием группы устойчивого развития (SG) стран и их баллов. В двусторонней торговле, если обе страны не представлены в SG, можно использовать следующую формулу.

$$C_{exp}(A) = \frac{2 \times \sum_{B \in SG} \min(A \rightarrow_A B, A \rightarrow_B B)}{\sum_{B \in SG} A \rightarrow_A B + \sum_{B \in SG} A \rightarrow_B B}, \quad (7)$$

где $C_{exp}(A)$ – стоимость согласованного экспорта А. Подробная информация о других параметрах приведена в работе Meshcheryakova. В подобных случаях, после сравнения показателей согласованности мы берем значение с наибольшей согласованностью.

По данным за 2019 год, Нидерланды, Франция и Италия не входят в список стран SG. В подобных случаях мы рассчитали значение согласованности обеих стран, участвующих в двусторонней торговле, и проверили, совпадают ли их значения согласованности или нет. Если их значения не совпадают, то мы выбирали минимум. Например, в случае торговли пшеницей между Нидерландами и Францией, значения согласованности составили 0,978 для Нидерландов и 0,773 для Франции. Поскольку они не равны, мы можем выбрать статистику любого партнера. Мы выбрали минимальное значение статистики сообщаемых стран.

После того, как данные подготовлены, следующая задача — использовать данные для построения сети.

Потребление углеводов

Углеводы играют важную роль в обеспечении энергией мозга и тела. Без них организм не может функционировать должным образом, так как углеводы являются

основным источником энергии в рационе. Поскольку углеводы содержат 4 калории на грамм потребления, каждый человек должен потреблять 220–320 граммов углеводов²⁴⁴. Данные значения являются рекомендуемыми диетическими нормами (RDA), различающимся в зависимости от рассматриваемой страны и региона. Оптимальная диета должна состоять не менее чем на 55% от общей энергии, поступающей из углеводов от различных пищевых продуктов²⁴⁵. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) и FAO 2002 г., процент углеводов, потребляемых ежедневно, должен составлять 55–75% калорий на человека, общих жиров 15–30% калорий, белков 10–15% калорий, фруктов и овощей более 400 г в день²⁴⁶. По данным Европейского агентства по безопасности пищевых продуктов (EFSA), 45–60% энергии должно приходиться на общее потребление углеводов. Рекомендуемая диетическая норма (RDA) предполагает, что минимальное потребление для всех взрослых составляет 130 граммов в день, за исключением периода беременности и лактации (European Food Safety Authority). Рекомендации разных стран по потреблению углеводов и их процентному соотношению к общей энергии, потребляемой человеком в день, можно найти в Buylken et al. Энергетическая потребность в день варьируется от человека к человеку, физической активности, а также от веса, роста и возраста²⁴⁷. Это затрудняет оценку точной потребности человека в энергии в день.

FAO было высказано предположение, что если потребление для подростков или взрослых составляет менее 2000 ккал в день, то данная диета не будет обеспечивать потребности в витаминах и минералах.²⁴⁸ Подробную информацию о плотности питательных веществ, которая определяется как количество выбранных питательных

²⁴⁴ Food and Nutrition Information Center (FNIC). National Agricultural Library, U.S. Department of agriculture [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.nal.usda.gov/programs/fnic#:~:text=Carbohydrates%20provide%204%20calories%20per,provides%209%20calories%20per%20gram> (дата обращения 6.11.2022)

²⁴⁵ The role of carbohydrates in maintenance of health. FAO [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.fao.org/3/w8079e/w8079e08.htm#carbohydrates%20in%20the%20diet> (дата обращения 6.11.2022)

Carbohydrates in human nutrition. FAO [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.fao.org/3/x2650T/x2650t02.htm> (дата обращения 6.11.2022)

²⁴⁶ Healthy diet. World Health Organization [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/healthy-diet> (дата обращения 6.11.2022)

²⁴⁷ Energy requirements of adults. FAO [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.fao.org/3/y5686e/y5686e07.htm> (дата обращения 6.11.2022)

²⁴⁸ The scientific basis for diet, nutrition and health relationships. FAO [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.fao.org/3/X0243E/x0243e09.htm> (дата обращения 6.11.2022)

веществ по отношению к количеству пищи, можно найти в Drewnowski et al²⁴⁹. Средняя потребность организма энергии для европейцев колеблется в пределах 1500–2900 ккал/на человека в зависимости от возрастной группы.²⁵⁰ В среднем минимальная потребность энергии для мужчин и женщин, рекомендованных в National Research Council²⁵¹, составляет 2300 ккал/сут и 1900 ккал/сут соответственно.

В нашем исследовании минимальное потребление углеводов принимается равным 130 граммам в день. Поскольку потребность человека в энергии варьируется в зависимости от профессии, страны, региона, поэтому весьма затруднительно оценить минимальное потребление углеводов с точки зрения общей энергии необходимой для каждого человека. Тем не менее, рекомендуемые 45%–65% и 55% -75% калорий из углеводов можно оценить, если точно известна общая энергия, необходимая каждому человеку. В целом, крайне сложно предсказать и зафиксировать единую минимальную величину углеводов с точки зрения общей энергетической ценности для всех.

Основными зерновыми продуктами питания, потребляемыми во всем мире, являются пшеница, рис, кукуруза, просо, сорго и рожь²⁵². Помимо этих зерен, другие культуры также выращиваются и используются в пищу. Например, маниока относится к категории корневых клубней и в основном выращивается в африканских странах, является одним основных продуктов питания для жителей данных стран.

Ниже приведены величины килокалорий, содержащихся в различных пищевых зернах (не подвергнутых тепловой обработке)²⁵³.

1) 130 граммов риса дают 520 килокалорий (1 грамм риса содержит 1 грамм углеводов).

²⁴⁹ Drewnowski A. et al. A proposed nutrient density score that includes food groups and nutrients to better align with dietary guidance //Nutrition Reviews. – 2019. – Т. 77. – №. 6. – С. 404-416. Doi: 10.1093/nutrit/nuz002

²⁵⁰ Average requirements for energy intake. EFSA [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.efsa.europa.eu/en/press/news/130110> (дата обращения 6.11.2022)

²⁵¹ National Research Council. Recommended Dietary Allowances: 10th Edition. Washington, DC: The National Academies Press. – 1989. <https://doi.org/10.17226/1349>.

²⁵² Awika J. M. Major cereal grains production and use around the world //Advances in cereal science: implications to food processing and health promotion. – American Chemical Society, 2011. – С. 1-13.

²⁵³ Data Type Documentation. U.S. Department of agriculture, Agricultural Research Service [Электронный ресурс]. – URL: <https://fdc.nal.usda.gov/data-documentation.html> (дата обращения 6.11. 2022)

FoodData Central. U.S. Department of agriculture, Agricultural Research Service [Электронный ресурс]. – URL: <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/169756/nutrients> (дата обращения 6.11. 2022)

2) 130 граммов пшеницы дают 442 килокалории (1 грамм пшеницы содержит 1 грамм углеводов).

3) 685 граммов кукурузы дает 590 килокалорий (1 грамм кукурузы содержит 0,19 граммов углеводов).

4) 178 граммов проса дают 666 килокалорий (1 грамм просо содержит 0,73 грамма углеводов).

5) 173 грамма сорго дают 588 килокалорий (1 грамм сорго содержит 0,75 граммов углеводов).

6) 171 грамм ржи дает 578 килокалорий (1 грамм ржи содержит 0,76 грамма углеводов).

Энергетическая ценность продуктов питания

В этом разделе обсуждается другой подход для определения стран, которые могут оказаться уязвимыми с точки зрения обеспечения продовольственной безопасности. Этот подход базируется на относительной энергетической ценности различных продуктов питания.

Энергетическая ценность показывает количество тепловой энергии, выделяющееся при катаболизме съеденных продуктов. На практике её рассчитывают путём сжигания продукта в калориметре. Обычно энергетическая ценность измеряется в мегаджоулях на килограмм пищевого вещества (МДж/кг) или килокалориях на килограмм пищевого вещества (ккал/кг).

В World Health Organization даны рекомендации в целях предупреждения возникновения хронических болезней, связанных с неправильным питанием.²⁵⁴ Так, рекомендуемый ежедневный набор продуктов для взрослого человека должен включать 400–500 г фруктов и овощей (исключая картофель и другие овощи с высоким содержанием крахмала), крупы (цельнозерновые продукты, бобовые), молоко и молочную продукцию (с низким содержанием жиров, соли и сахара). Общее количество жиров не должно превышать 30% от суммарной энергетической ценности, из них насыщенные жирные кислоты должны составлять менее 10%, белки должны составлять 10–15%, а углеводы в пределах 55–75%, в том числе свободные сахара – менее 10%.

Согласно определению в World Health Organization, продовольственная безопасность подразумевает безопасность пищевых продуктов, доступ к питательной пище

²⁵⁴ World Health Organization. Diet, nutrition, and the prevention of chronic diseases: report of a joint WHO/FAO expert consultation. – World Health Organization, 2003. – Т. 916.

в достаточных объемах в любое время.²⁵⁵ В этом исследовании рассматривается только аспект доступности достаточного количества продовольствия на уровне отдельных стран. Находить количественные оценки достаточности объема мы будем на примере рациона, включающего основные зерновые продукты: пшеница, рис, ячмень, кукуруза, рожь, овес, сорго и просо. Энергетическая ценность этих продуктов представлена в Таблице 2. Данные для Таблицы 2 взяты из Eatthismuch²⁵⁶. Отметим, что особую значимость для задач настоящего исследования представляют не абсолютные значения энергетической ценности, а относительные.

Таблица 2 — Энергетическая ценность зерновых необработанных продуктов

Название продукта	Энергетическая ценность, ккал/кг	Энергетическая ценность, МДж/кг
Пшеница	3600	15.07
Рис	3650	15.28
Ячмень	3520	14.73
Кукуруза	3650	15.28
Рожь	3380	14.15
Овес	3890	16.28
Сорго	3290	13.77
Просо	3780	15.82

Для анализа объема импорта были использованы данные из базы данных Организации Объединенных Наций (UN Comtrade), которая ведется статистическим отделом ООН. База данных UN Comtrade содержит детальную статистику импорта и экспорта различных товаров от статистических служб различных стран и территорий.

Для рассмотрения отдельных категорий товаров будем использовать международную стандартную торговую классификацию четвертой (последней) редакции (Standard International Trade Classification, SITC)²⁵⁷. Для рассматриваемого рациона, состоящего из основных зерновых продуктов, перечисленных в Таблице 2, ограничимся

²⁵⁵ World Health Organization et al. The State of Food Security and Nutrition in the World 2021: Transforming food systems for food security, improved nutrition and affordable healthy diets for all. – Food & Agriculture Org., 2021. – Т. 2021.

²⁵⁶ Put your diet on autopilot. Eat This Much Inc. – URL: <https://www.eatthismuch.com/> (дата обращения 01.11.2022)

²⁵⁷ Luttenberger N., Zedlitz J. Standard International Trade Classification //Business & Information Systems Engineering. – 2018. – Т. 60. – №. 4. – С. 305-316.

экспортируемыми и импортируемыми товарами с кодами 041–045 согласно SITC, отдельно включая несколько подкатегорий (см. Таблица 3).

Была сделана выборка данных из UN Comtrade за 2020 год, в каждой записи таблицы из выборки представлена информация о стране, импортирующей/экспортирующей определённый товар, суммарная стоимость импорта/экспорта в долларах США и вес нетто данного товара (в килограммах).

Таблица 3 — Фрагмент таблицы SITC

Код	Описание
041	Пшеница (включая полбу) и суржик, немолотые
042	Рис
043	Ячмень, немолотый
044	Кукуруза (в зерне), немолотая
045	Зерновые, немолотые (кроме пшеницы, риса, ячменя и кукурузы)
0451	Рожь, немолотая
0452	Овес, немолотый
0453	Сорго, немолотое
0459	Гречиха, просо, семена канареечника и прочие зерновые, немолотые, не включенные в другие категории
04591	Просо, немолотое

Данные по производству (выращиванию зерновых культур) были получены из базы данных Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (ФАО). База данных ФАО имеет возможность запросить выборку согласно классификации Central Product Classification (CPC). Таблицу соответствия для SITC (4-й редакции) и CPC (2-й версии) можно найти в UN²⁵⁸.

Данные по численности населения были получены с сайта ООН²⁵⁹. После объединения данных по импорту/экспорту, производству и численности населения была сформирована общая таблица, включающая 168 стран. Опишем способ вычисления показателя среднего потребления продовольствия, который можно использовать при

²⁵⁸ Classifications on economic statistics. Statistics Division, United Nations. – URL: <https://unstats.un.org/unsd/classifications/econ/> (дата обращения 01.11.2022)

²⁵⁹ UN Population Division Data Portal. – URL: <https://population.un.org/dataportal/home> (дата обращения 01.11.2022)

оценке текущей продовольственной ситуации и при применении сценарного анализа. Как и в предыдущем подходе мы суммируем импорт и производство для каждой продуктовой категории отдельно. Затем по данным импорта и производства мы находим эквивалент количества энергии для каждой продуктовой категории (energy consumption, EC). Для категорий зерновых продуктов (в частности, категорий с кодами 041—045 SITC) воспользуемся Таблицей 2.

Суммарная энергетическая ценность (total energy consumption, TEC) всех импортируемых и произведенных товаров (дополнительно можно рассматривать за вычетом экспорта) рассчитывается путём суммирования значений EC для всех рассматриваемых категорий.

Чтобы найти среднее значение, приходящееся на одного человека (МЕС), можно разделить ТЕС на численность населения ТР, т. е.

$$\text{МЕС} = \text{ТЕС} / \text{TP}. \quad (8)$$

И, наконец, мы делим МЕС на 365, чтобы получить усреднённое суточное потребление, которое можно сравнить с энергетической суточной потребностью и минимальной рекомендуемой суточной нормой потребления. Если суточное потребление для конкретной страны оказывается ниже некоторого порогового значения, то эту страну можно считать уязвимой с точки зрения продовольственной безопасности.

Таблица 4 — Фрагмент таблицы с результатами вычислений, 2020 г.

Страна	Пшеница	Рис	Ячмень	Кукуруза	Рожь	Овес	Сорго	Просо	МЕС
РФ	5830.8	78.4	1390.0	956.7	156.1	302.6	3.3	28.2	8746.1
Беларусь	2934.4	0.0	1528.0	1225.8	1013.3	493.6	0.3	16.8	7212.2
КНР	985.7	1499.3	60.8	1909.7	3.4	5.4	52.9	16.7	4533.9
Кот- д'Ивуар	0.0	552.4	0.0	438.5	0.0	0.0	24.3	27.2	1042.4
Бурунди	74.5	122.8	0.0	225.9	0.0	0.0	26.7	9.4	459.2

Энергозатраты варьируются в зависимости от человека, его образа жизни, однако минимальная энергетическая ценность ежедневного рациона питания не должна быть меньше 2000—2500 ккал (World Health Organization). Отметим, что в рацион питания включаются продукты помимо указанных в таблице, в связи с этим порог в 2000 можно опустить ниже.

В Таблице 4 представлен пример проведённых расчётов: среднее значение МЕС для каждого продукта отдельно и суммарное значение, выраженное в килокалориях, приходящихся на 1 человека в сутки.

В список стран с низким уровнем дохода и дефицитом продовольствия (LIFDC), который ведётся ФАО, входят такие страны, как, например, Кот-д'Ивуар и Бурунди. Согласно проведённым расчётом, суточное значение МЕС для этих стран составляет 1042 ккал и 459 ккал соответственно. Если установить порог на значение 1500 ккал, то, согласно описанному подходу, можно рассматривать эти страны как страны, которые могут испытывать проблемы с обеспечением продовольственной безопасности.

Сетевой анализ и индексы центральности

Рассматривается сеть экспорта/импорта зерновых культур, в которой вершины – страны, направление ребер указывает поток экспорта/импорта, значение ребра – величину экспорта/импорта.

Для выявления наиболее уязвимых стран в сети экспорта/импорта зерновых культур нами используются индексы центральности. Мы рассматриваем классические индексы In-degree, Page Rank, а также новые индексы группового влияния (BI^0), ключевого участника (PI^0), общего влияния (TI^0). Новые индексы центральности позволяют учитывать заданные параметры рассматриваемой сети (Aleskerov et al; Aleskerov & Yakuba).

1. Индекс In-degree CI^0

Для любой страны i , входящей в сеть, индекс In-degree CI^0 рассчитывается по следующей формуле

$$CI^0(i) = \sum_j w_{ji}^0, \quad (9)$$

где w_{ji}^0 – величина экспорта страны j в страну i .

Другими словами, индекс $CI^0(i)$ равен значению суммарного импорта страны i . Например, предположим, что страна А поставляет в страну С 100 тысяч тонн продовольствия, страна В поставляет в страну С 50 тысяч тонн, С поставляет 200 тысяч тонн продовольствия стране D (рисунок 9). Тогда,

$$CI^0(A) = 0, CI^0(B) = 0, CI^0(C) = 50 + 100 = 150, CI^0(D) = 200. \quad (10)$$

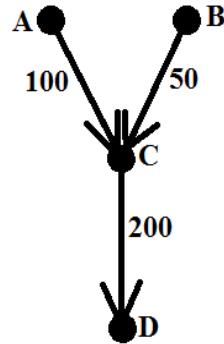


Рисунок 9 – Пример сети продовольствия (в тысячах тонн)

2. Индекс группового влияния BI^0

Для каждой страны i определяется группа стран S , состоящая из экспортёров i .

Предполагается, что в S входит не более k стран. Индекс группового влияния для страны i определяется следующей представленной формулой

$$BI^0(i) = \sum_S BI_i^0(S), \quad (11)$$

где $BI_i^0(S)$ равно 1, если суммарное значение экспорта в страну i от стран, входящих в группу S , не меньше установленной квоты q_i .

В противном случае, значение $BI_i^0(S)$ равно 0.

Квота q_i является минимальной нормой потребления рассматриваемого продовольствия для страны i , определяемой установленным рекомендуемым рационом питания. Например, предположим, что в сети на Рисунке 1 для страны С минимальная норма потребления равняется 10 тысяч тонн рассматриваемого продовольствия, квота $q_C = 10$. Таким образом, страна С зависит от импорта страны А, страны В и от совокупного импорта А, В.

Другими словами, значение $BI^0(i)$ равно количеству групп экспортёров, у которых величина суммарного экспорта в i не меньше минимальной нормы потребления

рассматриваемого продовольствия. Возвращаясь к примеру сети на Рисунке 1, предположим, что $q_A = q_B = q_C = q_D = 10$, $k = 2$. Иными словами, рассматриваются все возможные группы, состоящие не более чем из двух экспортёров в страну i , у которых суммарный экспорт в i не меньше 10 тысяч тон (минимальная норма потребления продовольствия для страны i). Тогда,

$$BI^0(A) = \sum_S BI_A^0(S) = 0, BI^0(B) = \sum_S BI_B^0(S) = 0, \quad (12)$$

$$BI^0(C) = \sum_S BI_C^0(S) = BI_C^0(\{A, B\}) + BI_C^0(\{A\}) + BI_C^0(\{B\}) = 3, \quad (13)$$

$$BI^0(D) = \sum_S BI_D^0(S) = BI_D^0(\{C\}) = 1 \quad (14)$$

3. Индекс ключевых участников PI^0

Страна j называется ключевой для страны i в группе S , если суммарное значение экспорта в страну i для остальных входящих в S стран меньше установленной квоты q_i , а совместно с j не меньше q_i . Формально, страна j ключевая для i в группе S , если

$$\sum_{j \in S} w_{ji}^0 \geq q_i, \sum_{j \in S \setminus \{j_p\}} w_{ji}^0 < q_i. \quad (15)$$

Значение индекса ключевых участников для страны i вычисляется по формуле

$$PI^0(i) = \sum_S |S| PI_i^0(S), \quad (16)$$

где значение $PI_i^0(S)$ – число ключевых стран для i в группе S .

Таким образом, значение $PI^0(i)$ равно сумме количеств ключевых экспортёров для страны i во всех группах S . Для рассматриваемого примера сети на рисунке 1,

$$PI^0(A) = \sum_S PI_A^0(S) = 0, \quad (17)$$

$$PI^0(B) = \sum_S PI_B^0(S) = 0, \quad (18)$$

$$PI^0(C) = \sum_S PI_C^0(S) = 2PI_C^0(\{A, B\}) + PI_C^0(\{A\}) + PI_C^0(\{B\}) = 2, \quad (19)$$

$$PI^0(D) = \sum_S PI_D^0(S) = PI_D^0(\{C\}) = 1 \quad (20)$$

1. Индекс общего влияния TI^0

Для каждой страны i определяется значение

$$TI^0(i) = \alpha_1 CI^0(i) + \alpha_2 BI^0(i) + \alpha_3 PI^0(i), \quad (21)$$

где $\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 = 1$,

$1 \geq \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3 \geq 0$.

Таким образом, индекс общего влияния для страны i равен средневзвешенному значению индексов In-degree, группового влияния, ключевых участников. Например, если

$\alpha_1 = \alpha_2 = 0.3$, $\alpha_3 = 0.4$, то для примера на рисунке 1 выполнено

$$TI^0(A) = 0, \quad (22)$$

$$TI^0(B) = 0, TI^0(C) = 0.3 \cdot 150 + 0.3 \cdot 3 + 0.4 \cdot 2 = 45 + 0.9 + 0.8 = 46.7, \quad (23)$$

$$TI^0(D) = 0.3 \cdot 200 + 0.3 \cdot 1 + 0.4 \cdot 1 = 60 + 0.3 + 0.4 = 60.7 \quad (24)$$

Рассмотрим ситуацию возникновения каскадных реакций в сети. Например, предположим, что страна А в сети на рисунке 1 прекратит поставлять продовольствие в страну С, то есть $w_{AB}^0 = 0$. Страна С, в результате сокращения импорта продовольствия, сократит экспорт в страну D на 100 тысяч тонн, $w_{CD}^0 = 200 - 100 = 100$. Таким образом, в рассматриваемом примере, сокращение экспорта страны А в страну С повлияет на импорт D. В таких случаях считается, что экспорт страны А имеет непрямое влияние на импорт D. Для того чтобы учитывать непрямое влияние стран друг на друга в сети, рассмотрим следующие значения величин²⁶⁰

$$P_{jk_{11} \dots k_{1d-1} i} = \max(w_{jk_{11}}^0, \dots, w_{k_{1d-1} i}^0), \quad (25)$$

$$P_{jk_{21} \dots k_{2d-1} i} = \max(w_{jk_{21}}^0, \dots, w_{k_{2d-1} i}^0), \quad (26)$$

$$\dots P_{jk_{21} \dots k_{2d-1} i} = \max(w_{jk_{21}}^0, \dots, w_{k_{2d-1} i}^0), \quad (27)$$

²⁶⁰ Aleskerov F., Yakuba V. Matrix-vector approach to construct generalized centrality indices in networks // NRU Higher School of Economics. Series WP7 "Mathematical methods for decision making economics, business and politics" – 2020.

$$w^{d-1}(ji) = \min(P_{jk_{11} \dots k_{1d-1}}, P_{jk_{21} \dots k_{2d-1}} \dots, P_{jk_{21} \dots k_{2d-1}}), \quad (28)$$

где $\max(w_{jk_{n1}}^0, \dots, w_{k_{nd-1}i}^0)$ – максимальное значение импорта продовольствия в цепи поставок длины d из страны j в i ,

$\{k_{n1}, \dots, k_{n1}\}$ – множество промежуточных стран в рассматриваемой цепи поставок.

Значение $\min(P_{jk_{11} \dots k_{1d-1}}, P_{jk_{21} \dots k_{2d-1}} \dots, P_{jk_{21} \dots k_{2d-1}})$ равняется минимальному значению максимального импорта по всем цепям поставок продовольствия из j в i .

Например, в сети на рисунке 1, для цепи поставок длины $d = 2$ из A в D максимальное значение импорта равняется $\max(w_{AC}^0, w_{CD}^0) = \max(100, 200) = 200$, из B в D $\max(w_{BC}^0, w_{CD}^0) = \max(100, 200) = 200$. Страна C является промежуточной.

Для того чтобы оценить уязвимость стран с учетом продовольственной безопасности, рассмотрим величину потребления продовольствия среди населения для страны i FC_i (Food consumption). Данную величину можно вычислить по следующей формуле

$$FC_i = P_i + I_i - E_i, \quad (29)$$

где P_i – величина производства продовольствия страны i ,

I_i – величина импорта продовольствия в i ,

E_i – величина экспорта продовольствия из i .

Если значение $FC_i < q_i$, то в рассматриваемой стране наблюдается нехватка продовольствия для населения (величина потребления (FC_i) ниже установленной нормы q_i). Например, предположим, что в рассматриваемом раннее примере страна C производит 100 тысяч тонн продовольствия. Минимальная норма потребления продовольствия для страны C составляет 10 тысяч тонн, $q_{FC} = 10$. Пусть, для страны C импорт составляет 150 тысяч тонн, экспорт 200 тысяч тонн, производство 100 тысяч тонн, $FC_i = 100 + 150 - 200 = 50$. Страна C находится в ситуации продовольственной безопасности.

Рассмотрим случай, когда в силу природных или социально-политических обстоятельств страна В сокращает экспорт продовольствия в страну С до 10 тысяч тонн. Таким образом, суммарный импорт страны С сократится на 40 тысяч тонн, $FC_C = 10$. Страна С будет находиться в ситуации, близкой к нехватке продовольствия для населения. Тем самым, страна С станет более зависимой от экспортёров.

Рассмотренные индексы центральности не подходят для выявления критических стран в данной ситуации, так как их значения для страны С не отразят увеличение зависимости С от импортёров, $CI^0(C) = 110$, $BI^0(C) = 3$, $PI^0(C) = 2$, $TI^0(C) = 34.7$.

Для выявления наиболее уязвимых стран в подобных примерах предлагается рассмотреть индекс центральности, учитывающий потребление населения. В качестве такого индекса рассмотрим величину дефицита потребления продовольствия D_i страны i

$$D_i = q_i - FC_i, \quad (30)$$

где FC_i – величина потребления продовольствия населением страны i ,

q_i – значение минимальной нормы потребления продовольствия для страны i . В рассматриваемом примере до сокращения экспорта В значение D_C равнялось -40 (наблюдался избыток), после сокращения экспорта дефицит потребления вырос до 0.

В результате выявления стран с наибольшими показателями D_i мы получим наиболее уязвимые страны в сети с точки зрения продовольственной безопасности с учетом потребления населения.

Алгоритм расчета

Для обработки данных по экспорту/импорту продовольствий и реализации сценарного анализа нами была разработана программа, написанная на языке программирования Python. Данная программа выявляет наиболее уязвимые страны в сети экспорта/импорта продовольствий с использованием рассмотренных индексов центральности. Алгоритм работы программы можно описать с помощью двух блоков: обработка данных, вычисление индексов центральности.

Первый блок – обработка данных. В качестве входных данных программы используются численности населения стран, величины экспорта/импорта и производства зерновых культур за определенный год. Мы рассматриваем данные о производстве, экспорте/импорте риса, пшеницы, сорго, кукурузы, просо, ржи за 2018, 2019, 2020 годы.

Данные о производстве рассматриваемого вида зерна стран за 2018, 2019, 2020 годы содержат информацию о названии страны и величине производства. На рисунке 10 представлен фрагмент файла с данными о производстве пшеницы за 2020 год. В столбце «Area» расположены названия стран, в столбце «Value» – величины производства пшеницы соответствующих стран в килограммах. Например, в Афганистане в 2020 году было произведено чуть более 5 миллионов тонн пшеницы.

Area	Value
Afghanistan	5185000000
Albania	233430000
Algeria	3106754000

Рисунок 10 – Фрагмент файла с данными о производстве пшеницы за 2020 год

Данные об экспорте/импорте продовольствия стран содержат информацию о стране-экспортере, стране-импортере, величине экспорта/импорта, год. На рисунке 11 представлен фрагмент файла с данными об экспорте/импорте пшеницы за 2018 год. В столбце «Year» указывается год, в «From» страна-экспортер, в «To» страна-импортер, в «Value» величина экспорта/импорта в килограммах. Например, в 2018 году Афганистан поставил в Пакистан 2 тонны пшеницы.

	Year	From	To	Value
0	2018	Afghanistan	Pakistan	2000.0
1	2018	Albania	North Macedonia	27000.0
2	2018	Albania	United Arab Emirates	966.0

Рисунок 11 – Фрагмент файла с данными об экспорте/импорте пшеницы за 2018 год

Полученные величины экспорта/импорта, производства продовольствий в килограммах переводятся в значения килограммов углеводов. Например, 2000 килограмм пшеницы эквивалентно 2000 тоннам углеводов (1 грамм пшеницы содержит 1 грамм углеводов). Таким образом, например, следует, что Афганистан в 2018 году поставил пшеницу на 2 тонны углеводов. На основе данных о величине экспорта/импорта рассматриваемых продовольствий (рис, пшеница, просо, сорго, кукуруза, рожь), выраженных в килограммах углеводов, строится сеть экспорта/импорта суммарного количества зерновых культур, выраженных в углеводах. Например, Афганистан поставил в Пакистан в 2018 году 327 тонн просо, 2 тонны пшеницы, что соответствует 238710 (в 1 грамме просо содержится 0.73 грамма углеводов) и 2000 килограммам углеводов соответственно. Тогда будем считать, что экспорт из Афганистана в Пакистан составляет 240710 (238710 + 2000) килограммов углеводов, представленным 327 тоннами просо и 2

тоннами пшеницы. На основе полученных данных о суммарном экспорте/импорте по злаковым культурам в углеводах строится сеть экспорт/импорта.

Алгоритм работы первого блока программы «обработка данных» можно представить в виде следующей схемы, представленной на Рисунке 12.



Рисунок 12 – Алгоритм работы первого блока программы «обработка данных»

Второй блок – вычисление индексов центральности. Для того чтобы вычислить индексы центральности стран необходимо определить расстояние влияния d . В случае, когда необходимо учесть не прямое влияние (значение $d > 1$), строится новая сеть экспорт/импорта зерновых культур (в углеводах), отражающая непрямое влияние стран друг на друга.

На основе полученной сети экспорт/импорта углеводов вычисляются классические индексы центральности In-degree, PageRank, новые индексы центральности – индекс группового влияния, ключевого участника, общего влияния, а также величина дефицита потребления.

Новые индексы центральности задаются двумя параметрами – максимальным количеством стран k , способных оказывать групповое влияние (мы предполагаем, что $k = 5$), а также величиной минимального рекомендуемого потребления углеводов в год на человека q ($q = 47.45$ кг/чел.).

Для того, чтобы учесть величину населения стран при вычислении индексов центральности, будем рассматривать импорт и производство углеводов каждой страны на душу населения.

На рисунке 13 представлен фрагмент файла с данными о населении. В столбце «Area» расположены названия стран, в столбцах годов – величины населения соответствующих стран в рассматриваемый год. Например, население Афганистана в 2020 году составляло почти 39 миллионов человек, тогда производство пшеницы на душу населения в Афганистане за 2020 год составило 133,04 кг/чел.

	Area	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
0	Afghanistan	34636208	35643418	36686784	37769499	38972231	40099462	41128771
1	Albania	2881063	2879355	2877013	2873884	2866849	2854710	2842321
2	Algeria	40339329	41136546	41927007	42705369	43451666	44177969	44903225
3	American Samoa	50448	49463	48424	47321	46189	45035	44273
4	Andorra	72541	73837	75014	76343	77700	79034	79824

Рисунок 13 – Фрагмент файла с данными о населении

Алгоритм работы второго блока программы можно представить в виде схемы на рисунке 14. В зависимости от параметра d строится сеть экспорта/импорта злаковых культур (в углеводах). На основе данных о численности населения, параметров k, q вычисляются величины импорта, производства злаковых культур на душу населения. Из полученных значений импорта, производства злаковых культур (в углеводах) на душу населения формируются значения индексов центральности, значения дефицита потребления.

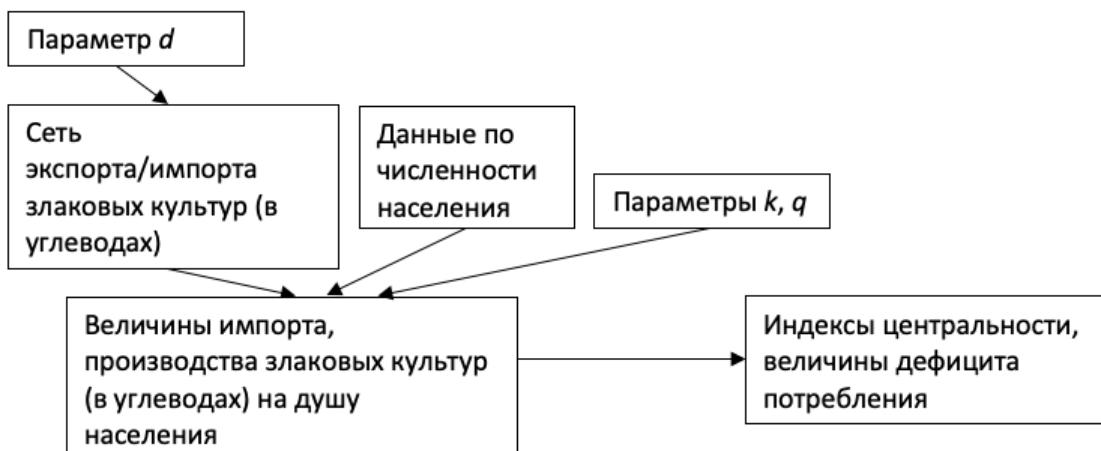


Рисунок 14 – Алгоритм работы второго блока программы

Анализ сетевого взаимодействия стран и продовольственной безопасности

В качестве анализа продовольственной безопасности и сетевого взаимодействия стран вычислим значения величин дефицита потребления для каждой страны, с помощью рассмотренных индексов центральности выявим зависимость стран от импорта за 2018, 2019, 2020 годы.

Рассмотрим страны, у которых наблюдается положительное значение дефицита потребления углеводов на душу населения (недостаток углеводов).

В Таблицах 5–7 представлены страны, в которых наблюдалась недостаток углеводов на душу населения в 2018, 2019, 2020 годы соответственно.

Таблица 5 — Значения нехваток на душу населения в 2018 году

Страна	Нехватка (кг/чел)
Вануату	41.77
Доминика	33.85
ЦАР	32.87
ДР Конго	22.93
Бурунди	21.92
Палестина	20.51
Соломоновы о-ва	16.64
Сомали	11.69
Замбия	10.96
Папуа-Новая Гвинея	10.66
Уганда	9.6
Сан-Томе и Принсипи	9.28
Лесото	4.46
Малави	3.65

Таблица 6 — Значения нехваток на душу населения в 2019 году

Страна	Нехватка (кг/чел)
ЦАР	34.67
Доминика	29.52
Вануату	24.52
Зимбабве	22.06
ДР Конго	21.41
Лесото	21.32
Соломоновы о-ва	16.37
Черногория	15.01
Замбия	14.07
Бурунди	12.85
Сомали	11.51
Папуа-Новая Гвинея	3.53
Сан-Томе и Принсипи	2.14
Уганда	0.75

Таблица 7 — Значения нехваток на душу населения в 2020 году

Страна	Нехватка (кг/чел)
ЦАР	34.07
Доминика	27.96
ДР Конго	21.15
Бурунди	19.62
Палестина	16.78
Вануату	12.98
Сомали	8.45
Уганда	4.97
Черногория	3.04
Папуа-Новая Гвинея	0.27

Для выявления наиболее зависимых стран от импорта зерновых культур рассмотрим ТОП-10 стран по величине значений индексов центральности (In-degree, PageRank, индекс группового влияния, индекс ключевого участника). Соответствующие страны представлены в Таблице 8-10.

Таблица 8 — Индексы центральности по данным за 2018 год

	PageRank	In-degree	Индекс группового влияния	Индекс ключевого участника
1.	ЮАР	Латвия	Нидерланды	Нидерланды
2.	Намибия	Сент-Люсия	ОАЭ	ОАЭ
3.	Ирландия	Джибути	Бельгия	Бельгия
4.	Великобритания	Бельгия	Ирландия	Испания
5.	Израиль	Нидерланды	Турция	Ирландия
6.	Палестина	Ливан	Израиль	Турция
7.	Эсватини	Ливия	Испания	Израиль
8.	Оман	Ирландия	Бахрейн	Бахрейн
9.	Нидерланды	Израиль	Чили	Австрия
10.	Ливия	Сент-Винсент и Гренадины	Кувейт	Чили

Таблица 9 — Индексы центральности по данным за 2019 год

	PageRank	In-degree	Индекс группового влияния	Индекс ключевого участника
1.	Нигер	Сент-Люсия	Нидерланды	Нидерланды
2.	ОАЭ	Маршалловы о-ва	ОАЭ	ОАЭ
3.	Нигерия	Джибути	Бельгия	Бельгия
4.	Оман	Латвия	Австрия	Испания
5.	Израиль	Бельгия	Турция	Австрия
6.	Сент-Винсент и Гренадины	Нидерланды	Кувейт	Турция
7.	Палестина	Сент-Винсент и Гренадины	Испания	Кувейт
8.	Саудовская Аравия	ОАЭ	Бахрейн	Бахрейн
9.	Нидерланды	Ливан	Ливан	Ливан
10.	Сент-Люсия	Израиль	Чили	Израиль

Таблица 10 — Индексы центральности по данным за 2020 год

	PageRank	In-degree	Индекс группового влияния	Индекс ключевого участника
1.	Израиль	Сент-Люсия	Нидерланды	Нидерланды
2.	Палестина	Латвия	Бельгия	Бельгия
3.	Бенин	Израиль	ОАЭ	ОАЭ
4.	ДР Конго	Бельгия	Турция	Турция
5.	Руанда	Джибути	Бахрейн	Бахрейн
6.	Сенегал	Нидерланды	Израиль	Ирландия
7.	Буркина-Фасо	Бр. Виргинские острова	Австрия	Израиль
8.	Гвинея-Бисау	Фарерские острова	Кувейт	Австрия
9.	Бахрейн	Сент-Винсент и Гренадины	Ирландия	Саудовская Аравия
10.	Того	Ливан	Саудовская Аравия	Кувейт

Еще раз отметим, что в Таблицах 8–10 показаны страны, которые сильно зависят от импорта зерновых культур.

Сценарный анализ

Для реализации сценарного анализа будем использовать данные по экспорту/импорту и производству зерновых культур за 2020 год. Рассмотрим два сценария:

1. Сокращение экспорта зерна из России; 2. Наводнение в Пакистане.

Сценарий 1. Предположим, что Россия вынуждена сократить экспорт зерна с каждой страной на 20%. В таблице 11 представлены страны, у которых будет наблюдаться нехватка потребления углеводов на душу населения.

Таблица 11 — Значения нехватки на душу населения при сокращении Россией экспорта на 20%

Страна	Нехватка (кг/чел)
ЦАР	34.07
Доминика	27.96
ДР Конго	21.58
Бурунди	19.9
Палестина	17.35
Вануату	12.98
Сомали	8.81
Уганда	5.84
Черногория	3.04
Папуа-Новая Гвинея	0.27

Сокращение экспорта на 20% не приведет к серьезным последствиям, вызывающих нехватку потребления углеводов у других стран.

Предположим, что Россия полностью прекратит экспорт зерновых культур во все страны. В Таблице 12 представлены страны, у которых будет наблюдаться нехватка потребления углеводов на душу населения.

Таблица 12 — Значения нехватки на душу населения при полном сокращении экспорта Россией

Страна	Нехватка (кг/чел)
ЦАР	34.07
Доминика	27.96
ДР Конго	23.3

Продолжение таблицы 12

Страна	Нехватка (кг/чел)
Бурунди	21.02
Конго	20.29
Палестина	19.62
Вануату	12.98
Сомали	10.25
Уганда	9.3
Ангола	3.64
Грузия	3.41
Черногория	3.04
Руанда	0.35
Папуа-Новая Гвинея	0.27

Прекращение Россией экспорта зерновых культур во все страны не только увеличит нехватку потребления углеводов в некоторых страдающих странах (таких как ДР Конго, Бурунди, Палестина, Сомали, Уганда), но и приведет к нехватке потребления углеводов в нескольких благополучных странах (Грузия, Ангола, Руанда).

Сценарий 2. Предположим, что в Пакистане произошло наводнение. В результате чего, экспорт и производство зерновых культур в Пакистане полностью прекратилось. В Таблице 13 представлены страны, у которых будет наблюдаться нехватка потребления углеводов на душу населения.

Таблица 13 — Значения нехваток на душу населения в случае наводнения в Пакистане

Страна	Нехватка (кг/чел)
Пакистан	34.81
ЦАР	34.07
Доминика	27.96
ДР Конго	21.27
Бурунди	19.68
Палестина	16.82
Вануату	12.98
Сомали	8.45
Уганда	5.93

Продолжение таблицы 13

Страна	Нехватка (кг/чел)
Союз Коморских Островов	4.87
Черногория	3.65
Руанда	3.47
Папуа-Новая Гвинея	0.27

Наводнение в Пакистане и дальнейшее прекращение экспорта и производство зерна может вызвать нехватку потребления углеводов в самом Пакистане, а также приведет к нехватке в Коморы, Руанде.

Предположим, что Россия сократит экспорт со всеми странами кроме Пакистана на 5%. Сохраненные 5% от общего экспорта зерновых культур Россия направит в Пакистан. В Таблице 13 представлены страны, у которых будет наблюдаться нехватка потребления углеводов на душу населения.

Таблица 14 — Значения нехваток на душу населения при наводнении в Пакистане и увеличении величины поставок зерна в Пакистан из России

Страна	Нехватка (кг/чел)
ЦАР	34.07
Доминика	27.96
Пакистан	26.82
ДР Конго	21.37
Бурунди	19.76
Палестина	16.96
Вануату	12.98
Сомали	8.54
Уганда	6.15
Союз Коморских Островов	4.87
Руанда	3.71
Черногория	3.65
Папуа-Новая Гвинея	0.27

Снижение Россией величины общего экспорта зерновых культур на 5% и увеличение экспорта в Пакистан за счет оставшихся 5% снизит нехватку углеводов в Пакистане с 34.81 кг/чел. до 26.82 кг/чел. При этом, вырастит нехватка потребления в странах с недостатком – ДР Конго, Бурунди, Палестина, Сомали, Уганда, Руанда.

В данной работе мы провели анализ сетевого взаимодействия стран и продовольственной безопасности за 2018, 2019, 2020 г. На основе данных об

экспорте/импорте и производстве зерновых культур был проведен сценарный анализ. Была смоделирована ситуация сокращения экспорта зерна из России и наводнение в Пакистане. Определены страны, в которых будет наблюдаться нехватка углеводов из-за последствий возникающих событий.

1.6 Анализ и классификация существующих моделей и методов оценки эффектов слабопредсказуемых событий

Предложена методология выявления групп объектов с целью построения единых моделей для слабопредсказуемых событий. Рассмотрена теоретическая целесообразность применения методов анализа паттернов при построении классификации подобных событий, а также возможность на основе полученных групп событий строить модели прогноза в краткосрочной и среднесрочной перспективах.

Анализ паттернов^{261;262} является современным методом выявления закономерностей среди слабоструктурированных и неоднородных данных разной размерности. Основой подобной методологии является разбиение исходного множества объектов на определенное (заранее не заданное) подмножество непересекающихся объектов при отсутствии зависимости конечного результата от наличия существенной разности в абсолютных значениях конкретно выбранных показателей для их использования в базовой системе данных. Подобный подход теоретически хорошо изучен и развит в различных работах²⁶³ и практически применен в различных сферах: при исследовании государственной состоятельности в странах мира²⁶⁴, банковского сектора²⁶⁵, уровня спортивной жизни в различных регионах²⁶⁶. Однако, структурирование, анализ и выявление групп слабопредсказуемых событий является весьма сложной задачей, в связи с чем предлагается

²⁶¹ Алескеров Ф. Т., Белоусова В. Ю., Егорова Л. Г., Миркин Б. Г. Анализ паттернов в статике и динамике, часть 1: обзор литературы и уточнение понятия // Бизнес-информатика. 2013. № 3(25). С. 3-18.

²⁶² Niemann H. Pattern analysis and understanding. – Springer Science & Business Media, 2013. – Т. 4.

²⁶³ Myachin A. L. Pattern analysis in parallel coordinates based on pairwise comparison of parameters //Automation and Remote Control. – 2019. – Т. 80. – №. 1. – С. 112-123.

²⁶⁴ Ахременко А. С., Мячин А. Л. Паттерн-анализ и кластеризация в исследовании государственной состоятельности: «Адаптивная оптика» для политической науки // Политическая наука. – 2019. – №. 3. – С. 112-139.

²⁶⁵ Алескеров Ф. Т., Солодков В. М., Челнокова Д. С. Динамический анализ паттернов поведения коммерческих банков России // Экономический журнал Высшей школы экономики. 2006. Т. 10. № 1. С. 48-62.

²⁶⁶ Прокофьев В. Н., Акимова К. В., Мячин А. Л. Исследование показателей стратегии развития спорта в регионах РФ // Проблемы управления. – 2021. – №. 3. – С. 50-57.

теоретическое обоснование возможности использование новых методов анализа паттернов, разработанных в Международной центре анализа и выбора решений Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» в данной сфере.

Выявление групп слабопредсказуемых событий

Анализом слабопредсказуемых событий занимались множество отечественных и зарубежных ученых. Среди отечественных работ можно выделить статьи по прогнозированию возникновения торнадо²⁶⁷, разливу нефти²⁶⁸. Отметим, что совместное использование регрессионных моделей и методов анализа паттернов использовались авторами при прогнозировании количества заболевших COVID-19 в более чем 60 странах мира в краткосрочной и среднесрочной перспективах²⁶⁹.

В общем виде рассмотренную методологию можно представить следующим образом: имеется множество уже известных (случившихся) слабопредсказуемых событий S мощности n . При этом имеется достоверная база данных, содержащиеся информацию о m показателях, которые теоретически влияли на события из множества S . Для однозначности, каждому событию $S_i \in S$ поставим в соответствие вектор $S_i = (S_{i1}, S_{i2}, \dots, S_{ij}, \dots, S_{im})$. При этом, за S_{ij} обозначено j -ый показатель, теоретически влияющий на i -ое событие. Визуализация данных при анализе паттернов, как правило, производится в m -мерной системе параллельных координат, пример которой приведен на рисунке 15.

²⁶⁷ Aleskerov F. T., Demin S., Richman M., Shvydun S., Trafalis T. B., Yakuba V. I. Constructing an Efficient Machine Learning Model for Tornado Prediction // International Journal of Information Technology and Decision Making. 2020. Vol. 19. No. 5. P. 1177-1187.

²⁶⁸ Демин С. С. Проект системы раннего реагирования для устранения последствий разливов нефти в Северном Ледовитом океане //УПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЕМ КРУПНОМАСШТАБНЫХ СИСТЕМ MLSD'2019. – 2019. – С. 977-979.

²⁶⁹ Aleskerov F., Demin S., Myachin A., Yakuba V. Short-Term Covid-19 Incidence Prediction in Countries Using Clustering and Regression Analysis, in: 9th International Conference on Computers Communications and Control (ICCCC) 2022 Vol. 1435. Springer, 2022. doi P. 333-342.

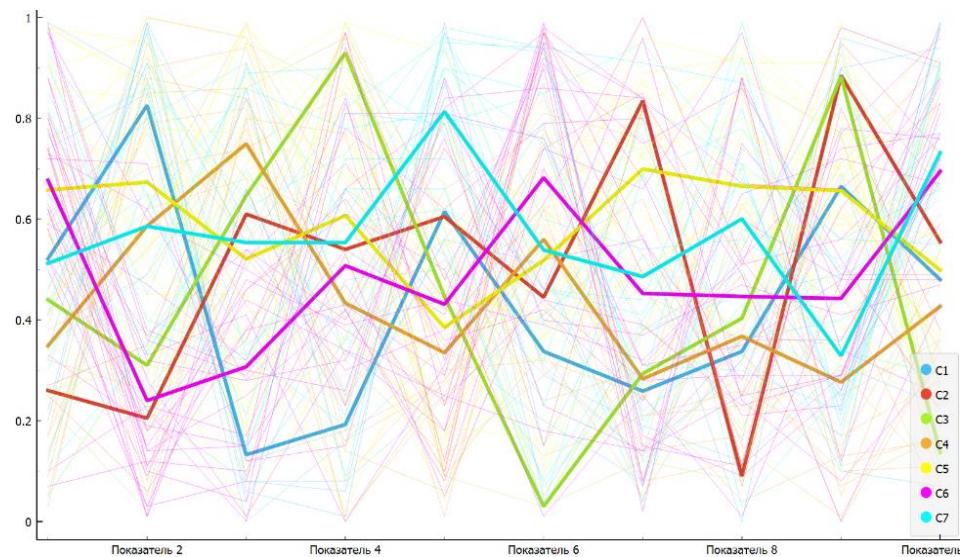


Рисунок 15 – Пример визуализации гипотетических событий в 10-мерной системе параллельных координат

Задачей является объединение структурно схожих событий при двух простых предположениях:

- 1) Количество возможных групп (паттернов) событий определяется эндогенно;
- 2) Метрика близости событий позволяет не влиять разности в абсолютных значениях показателей на конечный результат.

Основой методологии выявления паттернов являются порядково-фиксированная²⁷⁰, порядково-инвариантная²⁷¹ и диффузионно-инвариантная паттерн-кластеризации²⁷², а также туннельная кластеризация. Метрикой близости для первых трех методов выступает расстояние Хемминга между кодировками исследуемых ситуаций, формируемой путем парных сравнений нормированных значений используемых показателей; четвертого метода – евклидово расстояние. Как указано ранее, авторами применялись подобные методы при прогнозировании заболеваемости COVID-19.

После выявления паттернов событий предложено использование динамического анализа паттернов (для повторяющихся событий) с целью выявления динамических групп и оценки возможности их прогноза путем оценки формирующих данные события факторов.

²⁷⁰ Мячин А. Л. Анализ паттернов: диффузионно-инвариантная паттерн-кластеризация //Проблемы управления. – 2016. – №. 4. – С. 2-9.

²⁷¹ Myachin A. L. Pattern analysis in parallel coordinates based on pairwise comparison of parameters //Automation and Remote Control. – 2019. – Т. 80. – №. 1. – С. 112-123.

²⁷² Мячин А. Л. Анализ паттернов: порядково–инвариантная паттерн–кластеризация //Управление большими системами: сборник трудов. – 2016. – №. 61. – С. 41-59.

Таким образом, рассмотрена теоретическая возможность использования методов анализа паттернов с целью классификации, исследования и возможного прогнозирования слабопредсказуемых событий. Подобная методология (в видоизмененном виде) применена в работах авторов при краткосрочном и среднесрочном прогнозировании заболеваемости COVID-19 в странах мира.

1.7 Сценарное планирование в условиях глубокой неопределённости и роста вероятности реализации событий-джокеров

Анализ событий-джокеров, как крайне редких, но чрезвычайно важных по своим последствиям явлений, становится все более востребован в современных реалиях. Например, в 2022 г. 86% Ernst & Young опрошенных руководителей отметили, что их предприятие пострадало от пандемии нового коронавируса; 21% респондентов отметил, что пандемия кардинально изменила отрасль в худшую сторону.²⁷³ Руководители отмечают, что провал стратегий часто возникновения непредвиденных изменений.²⁷⁴ Это обуславливает необходимость изменений в подходах к планированию и учета вероятности событий-джокеров.²⁷⁵ По некоторым оценкам, вероятность того, что одно или несколько крайне редких событий (hundred-year events) случатся в любом заданном десятилетии, составляет 63%, а того, что несколько таких событий произойдут в течение одного десятилетия, – 26%.²⁷⁶ Некоторые авторы указывают на то, что джокеры случаются примерно раз в 10 лет²⁷⁷, но, например, частота таких событий, относящихся к стихийным бедствиям, растет с каждым годом.²⁷⁸

Barber определяет джокеры как инструмент, дополняющий используемый метод и выполняющий функции «растягивания» (stretch), «расширения» (expand), «взлома» (crack)

²⁷³ EY (2022) The CEO Imperative: Will bold strategies fuel market-leading growth? URL: https://www.ey.com/en_mz/ceo/will-bold-strategies-fuel-market-leading-growth

²⁷⁴ Harvard Business Review (2022) What You Lose with Your New Strategy URL: <https://hbr.org/2022/07/what-you-lose-with-your-new-strategy>

²⁷⁵ Muhammad Amer, Tugrul U. Daim, Antonie Jetter, A review of scenario planning, Futures, Volume 46, 2013, Pages 23-40, ISSN 0016-3287, <https://doi.org/10.1016/j.futures.2012.10.003>.

²⁷⁶ WTW (2022) Winning through change: Our perspective URL: <https://www.wtaco.com/en-GB/Insights/2022/02/winning-through-change-our-perspective>

²⁷⁷ Kathryn Stafford, Sharon M. Danes, George W. Haynes, Long-term family firm survival and growth considering owning family adaptive capacity and federal disaster assistance receipt, Journal of Family Business Strategy, Volume 4, Issue 3, 2013, Pages 188-200, ISSN 1877-8585, <https://doi.org/10.1016/j.jfbs.2013.06.002>.

²⁷⁸ Alonso-Dos-Santos M. , Llanos-Contreras O. Family business performance in a post-disaster scenario: The influence of socioemotional wealth importance and entrepreneurial orientation // Journal of Business Research, 101 (2019), pp. 492-498

парадигмы мышления.²⁷⁹ Включение в анализ фактора джокеров дает возможность по-новому взглянуть на текущие процессы, а при стратегическом планировании позволяет углубить исследования сценариев будущего. Если сценарии – наиболее полно разработанные картины вероятного развития будущего, то потенциальные джокеры – системы раннего оповещения кардинальных изменений, а слабые сигналы – предвестники будущих событий, незначительные изменения, которые при наблюдении и правильной интерпретации могут «предупредить» о непредвиденных событиях.²⁸⁰ При оценке уже свершившихся событий становится очевидным то, что учет фактора неопределенности в процессе принятия решений позволил бы минимизировать ущерб за счет превентивных мер.

Прогнозирование будущего затруднено сложностью и динамикой экономических, социальных и политических процессов, поэтому сценарное планирование, в ходе которого принимаются во внимание слабые сигналы, предвосхищающие новые тренды, их развилики и события-джокеры, оказывается одним из наиболее эффективных способов работы в условиях глубокой неопределенности.²⁸¹ На основе рассмотренных работ можно сделать вывод о том, что непредвиденные события (риски, шоки, кризисы) чаще принимаются во внимание в исследованиях и включаются в сценарное планирование в логистической, сельскохозяйственной, энергетической сферах, связанных с водной и продовольственной безопасностью, и других, подверженных влиянию непредвиденных событий природного или технологического характера.

Сценарное планирование в условиях неопределенности

Благодаря возможности мыслить категориями будущего и учесть фактор неопределенности сценарное планирование стало распространенной альтернативой одновариантных прогнозов будущего развития. В усложняющемся и изменчивом контексте оно становится более востребованным подходом для работы с динамической сложностью.²⁸² Учет динамики изменений, происходящих во всех сферах деятельности

²⁷⁹ Barber M. (2006) Wildcards – Signals from a Future Near You // Journal of Futures Studies, August 2006, 11(1): 75 – 94 URL: <https://jfsdigital.org/wp-content/uploads/2014/01/111-A05.pdf>

²⁸⁰ Steinmüller K. (2004) The Future as Wild Card – a Short Introduction to a New Concept // Spatial Development Trends – Nordic Countries in a European Context. Nordregio. № 6. Stockholm.

²⁸¹ Knyazeva H. (2020) Strategies of Dynamic Complexity Management. Foresight and STI Governance, vol. 14, no 4, pp. 34–45. DOI: 10.17323/2500- 2597.2020.4.34.45

²⁸² Abou Jaoude, G., Mumm, O., & Carlow, V. M. (2022). An Overview of Scenario Approaches: A Guide for Urban Design and Planning. Journal of Planning Literature, 37(3), 467–487. <https://doi.org/10.1177/08854122221083546>

человека, необходим, поскольку под их влиянием меняется характер рисков, растет уровень непредсказуемости. Все сложные системы могут проявлять непредсказуемое эмерджентное поведение. Например, инвестиционные риски стали более системными, неопределенными, их сложнее хеджировать, – долгосрочное создание стоимости и эффективное принятие решений не могут основываться только на анализе исторических данных, должны быть учтены экологические, демографические, технологические сдвиги.²⁸³

Сценарное планирование широко распространилось в бизнес-среде, однако с ростом важности научного обоснования в процессе принятия решений и практической ориентации научной деятельности интерес к методу усилился на стыке академического, государственного и частного секторов. Методология сценарного планирования может быть использована на пересечении научной и политической, также научной и промышленной и других сфер при исследовании сложных и неопределенных ситуаций.²⁸⁴

Разрабатываемые аналитическим центром RAND Corporation сценарии были частью исследований в области военной стратегии. В 1970-е гг. использование метода вышло за рамки военного планирования.

Одним из первых примеров практической пользы сценарного планирования в условиях неопределенности является опыт построения сценариев для проектирования будущего компании Shell. Составление сценариев предполагает выявление важнейших тенденций и их классификацию на предсказуемые и непредсказуемые, определение оказывающих наибольшее влияние источников неопределенности, формулирование возможных вариантов развития событий с углубленным анализом сценариев, правдоподобность которых не может быть опровергнута логически, многократное уточнение сценариев с фокусом на слабых сигналах и джокерах. Сценарии Shell имеют ряд особенностей – имеют «открытый» конец, проходят многократные итерации в дискуссиях, чувствительны к слабым сигналам. Такой подход предполагает, что составление сценариев – это не попытка предсказать будущее, а способ «взаимодействовать» с ним, поскольку визуализируя возможности и риски, предприятие может действовать упреждающе, проактивно. Успех Shell способствовал росту популярности построения сценариев среди компаний, входящих в список Fortune.

²⁸³ WTW (2022) Winning through change: Our perspective URL: <https://www.wtaco.com/en-GB/Insights/2022/02/winning-through-change-our-perspective>

²⁸⁴ Duckett D. G., McKee A. J., Sutherland L.-A., Kyle C., Boden L. A., Auty H., Bessell P. R., McKendrick I. J., Scenario planning as communicative action: Lessons from participatory exercises conducted for the Scottish livestock industry, Technological Forecasting and Social Change, Volume 114, 2017, Pages 138-151, ISSN 0040-1625, <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2016.07.034>.

Компания General Electric стала еще одним пионером в интеграции сценарного планирования в процессы корпоративного управления. Сценарное планирование рассматривалось как инструмент стратегического планирования, наряду с моделированием динамики среды (*system dynamics modeling*).

Неопределенности, работа с неполной или неясной информацией являются барьерами процесса принятия решений. В работе Ezbakhe и Pérez-Foguet представлен подход, позволяющий включить фактор неопределенности в многокритериальный анализ принятия решений (*Multi-Criteria Decision Analysis, MCDA*), использующийся при принятии решений в сфере устойчивого развития.²⁸⁵ Разработанная авторами модель ELECTRE III (ELimination and ChoicE Translating REality III model) позволяет работать с неопределенностями, возникающими в процессе принятия решения при оценке альтернатив (*scoring of alternatives*). На этапах MCDA учитываются разные виды неопределенностей: стохастическая неопределенность, неопределенность параметров, структурные неопределенности. Модель ELECTRE III использовалась для оценки роли возобновляемых источников энергии в энергетической системе Турции по пяти критериям – технологическому, техническому, экономическому, экологическому и социально-политическому.

В работе Marhabi et al для исследования влияния неопределенностей на решения и поведение инвесторов в энергетическом секторе используется теория реальных опционов (*real options theory*).²⁸⁶ Ее применение дает возможность выработать оптимальный вариант действий, а также получить оценки для разных временных промежутков и условий на основе процессов и принципов динамического программирования. Использованная авторами модель предполагает оценку неопределенностей, вызванных политическими изменениями, поэтому может быть использована в процессах принятия решений.

В работе Baryannis et al на примере сферы управления цепочками поставок исследуются риски, понимаемые как вероятность и влияние неожиданных микро- и/или макроуровневых событий, негативно влияющих на цепочки поставок и приводящих к

²⁸⁵ Fatine Ezbakhe, Agustí Pérez-Foguet, Decision analysis for sustainable development: The case of renewable energy planning under uncertainty, European Journal of Operational Research, Volume 291, Issue 2, 2021, Pages 601-613, ISSN 0377-2217, <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2020.02.037>.

²⁸⁶ Azari Marhabi, A., Arasteh, A. & Paydar, M.M. Sustainable energy development under uncertainty based on the real options theory approach. Int. J. Environ. Sci. Technol. 19, 5897–5910 (2022). <https://doi.org/10.1007/s13762-021-03763-8>

нарушениям на оперативном, тактическом или стратегическом уровне.²⁸⁷ Авторы указывают на то, что исследование рисков непосредственно связано с фактором неопределенности, в том числе неопределенности возможных последствий, что может быть связано с неполнотой знаний или непредсказуемостью событий. Принятие же во внимание рисков и неопределенностей в анализ цепочек поставок, предполагающий разработку сценариев, способно снизить уязвимость цепочек поставок, обеспечить более высокую степень надежности.²⁸⁸

Модели, представленные в отобранных для обзора литературы исследованиях, использовались в оценке альтернатив развития в определенных сферах экономики. Модель оценки взаимосвязи между водными ресурсами, энергией, продовольствием и окружающей средой (water-energy-food-environment nexus, WEFEN) для планирования устойчивого развития сельского хозяйства в ирригационном районе Чжанхэ (Китай), представленная в работе Yue и Guo,²⁸⁹ учитывает неопределенности в сельскохозяйственной сфере.

События-джокеры в сценарном планировании

Однако зачастую в сценарном планировании, даже с включением в него фактора неопределенности, не учитываются события с низкой вероятностью наступления – «разрывы» (disruptions) и события-джокеры (wild cards) (disruptive events, disruptive changes, structural breaks, discontinuities, surprises, bifurcations, unprecedented developments). Их исключение из анализа снижает эффективность сценарного планирования для процесса принятия решений, поскольку реализация таких событий может сделать разработанные сценарии нерелевантными и не имеющими смысла.²⁹⁰ По мере того, как растет вероятность осуществления событий-джокеров, внимание к ним при построении сценариев также усиливается. Необходимо отметить, что в исследованиях понятия неопределенности, рисков, «разрывов», событий-джокеров, непредсказуемости и др. иногда употребляются в

²⁸⁷ Ho, W., Zheng, T., Yildiz, H., & Talluri, S. (2015). Supply chain risk management: A literature review. International Journal of Production Research, 53(16), 5031–5069. <https://doi.org/10.1080/00207543.2015.1030467>.

²⁸⁸ Baryannis, G., Dani, S., Validi, S., Antoniou, G. (2019). Decision Support Systems and Artificial Intelligence in Supply Chain Risk Management. In: Zsidisin, G., Henke, M. (eds) Revisiting Supply Chain Risk. Springer Series in Supply Chain Management, vol 7. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-03813-7_4

²⁸⁹ Qiong Yue, Ping Guo, Managing agricultural water-energy-food-environment nexus considering water footprint and carbon footprint under uncertainty, Agricultural Water Management, Volume 252, 2021, 106899, ISSN 0378-3774, <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106899>.

²⁹⁰ Tori, S., Pappers, J. & Keserü, I. Developing disruptive mobility scenarios for rural areas. Participatory mobility scenario building in a Belgian village for the year 2050. Eur. Transp. Res. Rev. 14, 33 (2022). <https://doi.org/10.1186/s12544-022-00555-0>

качестве синонимов. В настоящем обзоре неопределенности и событий-джокеры рассматриваются как связанные, но отдельные сущности.

Сценарное планирование дает возможность спрогнозировать вероятные негативные и позитивные последствия таких событий, подготовиться к ним, использовать основанный на знаниях подход к управлению, сделать его более гибким и адаптивным к изменениям, позволяет найти новые возможности для роста. При этом сценарное планирование – трудоемкий и времязатратный процесс, а оказывающие влияние на исследуемые процессы факторы, могут внезапно меняться. Это означает, что сценарное планирование должно быть «живым» процессом, реагировать на постоянные обновления.

Получившая широкое распространение в научной литературе, прогностической деятельности и политическом дискурсе в последнее десятилетие концепция маловероятных событий с сильным эффектом воздействия не является новой. Несмотря на это, остаются открытыми вопросы о том, какие события можно характеризовать как джокеры, о их классификации, о том, как изучать/измерять их влияние на развитие событий, имеет ли значение уровень «вообразимости» (level of imaginability) джокера для сценарного планирования. Отсутствие общепринятых критериев, которым должно отвечать событие, чтобы считаться джокером, разные толкования приводят к путанице в понятиях слабо предсказуемых событий, глобальных вызовов, драйверов и барьеров развития трендов, слабых сигналов в научной литературе. Зачастую происходит искусственное разведение/сведение воедино определенных сущностей в зависимости от преследуемых исследователем задач – то есть, не использование методологии для решения поставленных задач, а ее «подстраивание» под результаты, представляющиеся приемлемыми, что снижает качество исследования, научную составляющую, если не сказать, сводит их на нет.

Необходимость учета взаимосвязи между трендами и событиями-джокерами при разработке сложных сценариев (complex scenario) была доказана в ходе исследования влияния джокеров на транспортную систему, результаты которого представлены в работе Hauptman et al.²⁹¹ Джокеры противопоставляются или противоречат текущим трендам или «вероятным» прогнозам. Экспертный опрос показал, что джокеры могут иметь противоречивые внутри- и межотраслевые последствия, один и тот же джокер может по-разному оказаться на разных секторах транспортной отрасли, либо воздействовать на один и тот же сектор негативно и позитивно одновременно. Например, разрешение коммерческого использования дронов станет драйвером развития соответствующего

²⁹¹ Hauptman, A., Hoppe, M. & Raban, Y. Wild cards in transport. *Eur J Futures Res* 3, 7 (2015). <https://doi.org/10.1007/s40309-015-0066-9>

производства, снизит нагрузку на автомобильный транспорт в сфере доставки, позволит решить проблему загруженности транспортных магистралей. Однако менее очевидна взаимосвязь между использованием коммерческих дронов и снижением стоимости доставки или сокращением автомобильных перевозок. Как отмечают авторы, эффект будет зависеть от потребительского спроса и развития смежных отраслей. Задачи производственного сектора будут заключаться в определении потребностей рынка, угроз и возможностей, в учете фактора непредвиденных событий и повышении адаптивности бизнес-модели к меняющимся условиям.

Cornish указывает на то, что неожиданные события не всегда негативны по своим последствиям, некоторые из них могут быть благоприятны²⁹², «вообразимы» (imaginable) и ожидаемы (anticipated)²⁹³, однако это не исключает необходимости их учета, поскольку они могут стать нелинейным поворотным моментом (nonlinear turning point) в развитии того или иного тренда.²⁹⁴ Dewar подчеркивает, что не все события-джокеры непредсказуемы, некоторые из них можно «предвидеть» с помощью сценарного планирования.²⁹⁵ В свою очередь, джокеры используются для проверки «надежности» (стресс-тест) сценариев (robustness of scenarios)²⁹⁶ – если сценарий «разваливается» при учете в нем произвольно выбранного потенциального джокера, то он не может рассматриваться как надежный.

Поиск и анализ джокеров расширяют представления о нежелательных сценариях и о позитивных тенденциях. Благодаря этому становятся возможными превентивные меры (предотвращение негативного события, уменьшение его эффекта или адаптация к последствиям) и поиск дополнительных способов решения задач. Благодаря учету джокеров разрабатываемая политика становится более устойчивой к внешним воздействиям, расширяются возможности достижения целей. Так, Jyothi рассматривает

²⁹² Cornish E. 2003. “The Wild Cards in Our Future.” *The Futurist* 37 (4): 18–22.

²⁹³ Steinmüller K. 2007. “Thinking Out of the Box”: Weak Signals and Wild Cards for European Regions.” *Futura* 26 (2): 22–29.

²⁹⁴ Kuosa T. 2010. “Futures Signals Sense-Making Framework (FSSF): A Start-Up Tool to Analyse and Categorise Weak Signals, Wild Cards, Drivers, Trends and Other Types of Information.” *Futures* 42 (1): 42–48.

²⁹⁵ Dewar J. A. 2003. “The Importance of ‘Wild Card’ Scenarios.” URL: http://www.au.af.mil/au/awc/awcgate/cia/nic2020/dewar_nov6.pdf.

²⁹⁶ Soria-Lara, J. A., Ariza-Álvarez, A., Aguilera-Benavente, F., Cascajo, R., Arce-Ruiz, R. M., López, C., & Gómez-Delgado, M. (2021). Participatory visioning for building disruptive future scenarios for transport and land use planning. *Journal of Transport Geography*, 90, 102907. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2020.102907>

von der Gracht, H. A., & Darkow, I.-L. (2010). Scenarios for the logistics services industry: A Delphi-based analysis for 2025. *International Journal of Production Economics*, 127(1), 46–59. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2010.04.013>

солнечные супербури, как джокер, потенциально способный стать причиной крупномасштабных сбоев в работе интернет-инфраструктуры.²⁹⁷ Поскольку сегодня функционирование множества систем, в том числе критической инфраструктуры, зависит от интернета, необходим учет джокеров, способных оказать на них, а, значит, на развитие постиндустриальной экономики в целом, негативное влияние. Автор использует собранные в режиме реального времени данные для анализа надежности современной интернет-инфраструктуры и устойчивости к возможным солнечным супербурям. В работе выявляются вызовы, связанные с состоянием инфраструктуры, предлагаются шаги по повышению ее отказоустойчивости, возможные методы смягчения последствий в случае реализации джокера.

В работе Hamilton et al представлены результаты разработки четырех сценариев развития мировой продовольственной системы.²⁹⁸ Авторы обращают внимание на то, что прогнозы обычно опираются на исторические данные и не принимают во внимание фактор шоков и непредсказуемых событий. Также они указывают на то, что по мере роста мировой торговли продуктами питания усиливалась взаимосвязь сельскохозяйственного сектора с энергетическим и финансовыми рынками^{299, 300}, которая, в свою очередь, становится источником новых потрясений и непредвиденных событий. Поэтому в каждом из сценариев учитывается определенный риск, принимаются во внимание последствия потенциальных потрясений, исследуются системные характеристики и тренды, которые могут усилить их влияние. Так, сценарий «Автоматизация» предполагает, что распространение технологий в продовольственной системе позволит сократить участие человека в ее функционировании, повысит эффективность и сократит издержки. Однако автоматизированные системы подвержены риску преднамеренных (кибератаки) и непреднамеренных (геомагнитные бури, компьютерные сбои, ненадежное интернет-соединение) ИТ-сбоев, и чем выше степень автоматизации, тем масштабнее будут последствия для системы.

²⁹⁷ Jyothi S. A. Solar superstorms: planning for an internet apocalypse // Proceedings of the 2021 ACM SIGCOMM 2021 Conference. – 2021. – C. 692-704. <https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/3452296.3472916>

²⁹⁸ Hamilton H., Henry R., Rounsevell M., Moran D., Cossar F., Allen K., Boden L., Alexander P., Exploring global food system shocks, scenarios and outcomes, *Futures*, Volume 123, 2020, 102601, ISSN 0016-3287, <https://doi.org/10.1016/j.futures.2020.102601>.

²⁹⁹ Naylor R. (2011) Expanding the boundaries of agricultural developmentFood Security, 3 (2), p. 233 <https://doi.org/10.1007/s12571-011-0123-6>

³⁰⁰ Tadesse, G., Algieri, B., Kalkuhl, M., von Braun, J. (2016). Drivers and Triggers of International Food Price Spikes and Volatility. In: Kalkuhl, M., von Braun, J., Torero, M. (eds) *Food Price Volatility and Its Implications for Food Security and Policy*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-28201-5_3

Актуальным является вопрос об ограниченности методов, используемых для оценки влияния событий-джокеров. Так, Kaminski на примере реакции логистических сетей на пандемию Covid-19 показывает ограниченность аналитических моделей (дескриптивной, предиктивной и прескриптивной) в условиях наступления событий-джокеров. Согласно результатам исследования, вероятность ошибки в прогнозе в этом случае может достичь 500%.³⁰¹ Все рассмотренные в работе модели не обеспечивают ожидаемого уровня точности в условиях резкого изменения операционной среды. Для принятия стратегически верных решений, необходимо понимать пределы аналитических подходов. Модели прогнозирования основываются на том, что будущее развитие может быть спрогнозировано на основе исторических событий. Однако события-джокеры делают это допущение нерелевантным. На примере прогнозирования ситуации на фондовом рынке Bhanja и Das показывают, что включение в анализ джокеров повышает точность прогнозов.³⁰²

Поиск джокеров создает ряд возможностей: адаптация политики к внезапным изменениям; мониторинг сигналов раннего оповещения для своевременной минимизации негативного эффекта или подготовки к нему; поддержка инвестиций в мероприятия по обеспечению безопасности (организация системы мониторинга, возведение дамб, укрепление зданий на случай землетрясения, др.); противодействие нежелательным «лоббистским» джокерам и антропогенным «картам», которые находятся в стадии формирования (потенциальным и реально планируемым, например террористическим актам). Потенциально возможные джокеры могут использоваться как инструмент принятия превентивных решений в целях обеспечения устойчивости к внешним воздействиям (Petersen, Steinmüller).³⁰³ Учет обусловленных естественными причинами джокеров при планировании позволяет разработать адаптационные или защитные меры.³⁰⁴

Роль стейкхолдеров в сценарном планировании

Вовлечение заинтересованных сторон в процесс сценарного планирования – неотъемлемая часть методологии. Однако необходимо учитывать то, что организационная

³⁰¹ Kaminski E. (2021) The Limits of Analytics During Black Swan Events A Case Study of the Covid-19 Global Pandemic – Massachusetts Institute of Technology, 2021. URL: <https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/139124>

³⁰² Bhanja, S., Das, A. A Black Swan event-based hybrid model for Indian stock markets' trends prediction. Innovations Syst Softw Eng (2022). <https://doi.org/10.1007/s11334-021-00428-0>

³⁰³ Petersen J.L., Steinmüller K. (2009) Wild Cards // The Millennium Project: Futures Research Methodology—V3.0.

³⁰⁴ В. ван Рай Зарождающиеся тенденции и «джокеры» как инструменты формирования и изменения будущего // Форсайт. – 2012. – Т. 6. – №. 1. – С. 60-73. <https://foresight-journal.hse.ru/data/2013/03/29/1294347383/6-vanRij-60-73.pdf>

структурой и институциональными механизмами акторов могут стать барьерами для успешного сценарного планирования, как из-за пренебрежения мнениями, отличающимися от «привычных», распространенных в организации, так и из-за склонности полагаться исключительно на рациональность при разработке сценариев будущего или чрезмерно упрощать представления о нем. Представление о сценарии, как последовательном и правдоподобном изложении будущих событий³⁰⁵, сужает возможности разработки действительно эффективной и адаптивной стратегии.

Это возможно в случае, когда текущая стратегия организации представляется успешной, – возникает барьер в виде когнитивной инерции, при которой лица, участвующие в процессе разработки сценария, склонны придерживаться устоявшихся (устаревших) представлений, не восприимчивы к новому или ищут доказательства, соответствующие предположению.³⁰⁶ При этом сценарное планирование, особенно учитывавшее фактор событий-джокеров, требует творческого подхода и нестандартного мышления.³⁰⁷, ³⁰⁸ С этими же ограничениями связаны три фильтра – наблюдения (surveillance), менталитета (mentality) и власти (power), которые должны пройти слабые сигналы, как предвестники джокеров, чтобы оказать влияние на принимаемые решения.³⁰⁹

Некоторые авторы указывают на то, что джокеры не возникают внезапно (do not emerge abruptly), но проходят период «созревания» (brewing period) (инкубационный

³⁰⁵ Kosow, Hannah: Methods of future and scenario analysis : overview, assessment, and selection criteria / Hannah Kosow ; Robert Gaßner. DIE Research Project “Development Policy : Questions for the Future”. – Bonn : Dt. Inst. für Entwicklungspolitik, 2007 – (Studies / Deutsches Institut für Entwicklungspolitik; 39) https://www.idos-research.de/uploads/media/Studies_39.2008.pdf

³⁰⁶ Sarpong, D. and Amankwah-Amoah, J. (2015) ‘Scenario planning: ‘ways of knowing’, methodologies and shifting conceptual landscape’, Int. J. of Foresight and Innovation Policy, Vol. 10, Nos. 2/3/4, pp.75–87. https://www.researchgate.net/profile/David-Sarpong-2/publication/287774424_Scenario_planning_Methodologies_methods_and_shifting_conceptual_landscape/links/56a3e55608ae232fb205a80f/Scenario-planning-Methodologies-methods-and-shifting-conceptual-landscape.pdf

³⁰⁷ Hauptman, A., Steinmüller, K. (2018). Surprising Scenarios. Imagination as a Dimension of Foresight. In: Peperhove, R., Steinmüller, K., Dienel, HL. (eds) Envisioning Uncertain Futures . Zukunft und Forschung. Springer VS, Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-658-25074-4_4

³⁰⁸ Theis, B., Köppe, S. (2018). Peace Operations 2025”: From Shaping Factors to Scenarios. In: Peperhove, R., Steinmüller, K., Dienel, HL. (eds) Envisioning Uncertain Futures. Zukunft und Forschung. Springer VS, Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-658-25074-4_10

³⁰⁹ Ansoff, I. (1975). “Managing strategic surprise by response to weak signals,” California Management Review, 18(2), 21–33.

период), когда их можно обнаружить через слабые сигналы.³¹⁰ Их раннему обнаружению могут препятствовать неэффективные каналы коммуникации и информационных потоков внутри организации.³¹¹

В условиях неопределенности и роста вероятности реализации событий-джокеров меняется роль лидеров, ответственных за принятие решений лиц. Если в качестве отправной точки сценарного планирования принять сравнение современного мира с нелинейной динамической системой (nonlinear dynamic system), то, как отмечают Adobor et al, необходимо учитывать, что ее определяющей характеристикой является непредсказуемость.³¹² Учет непредсказуемости в управлении процессах, в частности в планировании, позволяет воспринимать саму организацию и окружающую среду как нелинейные динамические системы, для которых важное значение имеет способность адаптироваться в случае возникновения непредсказуемых сбоев (unpredictable disruptions).

Запоздалость реакции на быстро меняющиеся условия и возникающие вызовы и, как следствие, несвоевременность адаптационных мер, определяет необходимость учета непредвиденных событий при планировании. Несмотря на то, что джокеры определяются как события с низкой вероятностью наступления, они так или иначе связаны с текущими тенденциями, отражают основанные на знаниях, опыте и наблюдениях оценки экспертов.

³¹³ Определенные взаимосвязи между трендами и джокерами могут быть использованы для поддержки принятия решений, для разработки бизнес и политических стратегий. Интеграция джокеров и слабых сигналов в исследования социальных, экономических, политических трендов способствует систематизации изучения динамики будущих изменений, расширяет горизонт исследования.

В качестве примера практик реализации сценарного планирования приведем следующее.

³¹⁰ Qi, Y., & Tapiro, P. (2018). Weak Signals and Wild Cards Leading to Transformative Disruption: A Consumer Delphi Study on the Future of e-Commerce in China. *World Futures Review*, 10(1), 54–82. <https://doi.org/10.1177/1946756717752921>

³¹¹ Turoff M., Hiltz S., Banuls V., Eede. G. 2013. “Multiple Perspectives on Planning for Emergencies: An Introduction to the Special Issue on Planning and Foresight for Emergency Preparedness and Management.” *Technological Forecasting & Social Change* 80 (9): 1647–56.

³¹² Adobor, H., Darbi, W.P.K. and Damoah, O.B.O. (2021), "Strategy in the era of "swans": the role of strategic leadership under uncertainty and unpredictability", *Journal of Strategy and Management*, Vol. ahead-of-print No. ahead-of-print. <https://doi.org/10.1108/JNSMA-09-2020-0242>

³¹³ Hauptman, A., Hoppe, M. & Raban, Y. Wild cards in transport. *Eur J Futures Res* 3, 7 (2015). <https://doi.org/10.1007/s40309-015-0066-9>

Информация о текущем и будущем климате

Уровень углекислого газа (CO₂) в атмосфере, наряду с другими парниковыми газами, значительно увеличился из-за деятельности человека: вырубки лесов, сжигания ископаемого топлива, нерационального землепользования, животноводства, интенсивного использования удобрений для питания увеличивающегося населения и др. Повышенные уровни газов изменили климат, что привело к увеличению числа экстремально жарких дней, смене штормов, характеру приливов, повышению уровня моря, таянию ледниковых покровов. Последствия изменения климата можно наблюдать в изменениях почвы, влажности воздуха, увеличении количества осадков и засухе в некоторых районах, более частых сильных ветрах, повышении уровня моря, штормовых нагонах и молниях.

Прогнозы и предсказания изменения климата

Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК) является органом Организации Объединенных Наций, который предоставляет подробную информацию о нынешнем и будущем изменении климата. Она готовит доклады о состоянии науки, техники и социально-экономического знания об изменении климата. Эти отчеты включают в себя информацию о влиянии, будущих рисках и вариантах снижения темпов изменения климата. Климатические модели, такие как модели общей циркуляции атмосферы и океана (AOGCM) и модели земной системы средней сложности (EMIC), обычно используются для изучения климата в широком масштабе. Появление суперкомпьютерных имитационных моделей значительно улучшило прогнозирование и возможности прогнозирования моделей.

Планирование сценариев

Сценарное планирование как методология планирования предполагает подготовку к будущим событиям. Оно начинается с процесса фрейминга решения. Фрейминг решений генерирует информацию, необходимую для построения сценария в сценарном плане, и организует модель и анализ адаптивных путей и упражнений RDM (рисунок 16).

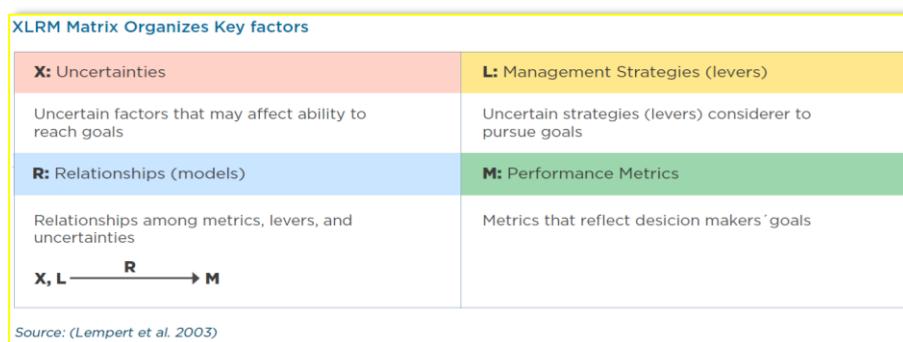


Рисунок 16 – Ключевые факторы

Источник: Lempert et al., 2003.

Во-первых, аналитики определяют контекст планирования, в частности фокус, горизонт планирования и текущую ситуацию.

Во-вторых, аналитики выявляют движущие силы и проблемы, связанные с принятием решений.

На третьем этапе сценарного процесса аналитики ранжируют движущие силы, чтобы определить наиболее важные.

Четвертый шаг заключается в создании матрицы сценариев будущего с использованием этих движущих сил и создании нарративов для описания этих сценариев.

Пятый шаг заключается в понимании влияния каждого варианта будущего, при котором количественный анализ использовался для обогащения каждого сценария.

На последнем этапе процесса сценарного планирования составляются планы действий для удовлетворения будущих потребностей, а также разрабатываются планы действий для сравнения действий, определения общих действий в будущем и планирования для каждого будущего, а также определяются триггеры и строится адаптивный план.

Типы сценариев

- социально-экономические сценарии;
- сценарии землепользования и почвенного покрова;
- климатические сценарии;
- сценарии повышения уровня моря.

Например, сценарий семейного бюджета (таблица 15).

Таблица 15 — Сценарий семейного бюджета

Подробности	Суммы (руб.)
Доход от заработной платы	50,000
Доход от заработной платы жены	25,000
Доход из других источников	15,000
Общий доход	90,000
Траты	Суммы
Аренда	18,000
Счёт за электричество	2,500
Счёт за телефон	1,200
Счёт за интернет	1,600
Счёт за воду	1,200
Одежда	15,000

Продолжение таблицы 15

Топливо	10,000
Еда	15,000
Потребительский кредит	20,000
Общие расходы	84,500
Оставшийся доход	5,500

Столбец «Текущие значения» представляет значения изменяющихся ячеек на момент создания сводного отчета по сценарию. Изменяющиеся ячейки для каждого сценария выделены серым цветом (таблица 16).

Таблица 16 — Краткое описание сценария

Краткое описание сценария					
	Текущие значения:	Фактический бюджет	План1	План2	
		Created by Sanjay	Created by Sanjay	Created by Sanjay	
Меняющиеся ячейки:					
\$B\$15	15,000	15,000	14,000	15,000	
\$B\$12	1,200	1,200	1,000	1,200	
\$B\$10	1,200	1,200	1,200	1,000	
\$B\$13	15,000	15,000	15,000	14,000	
Ячейки результатов:					
\$B\$10	1,200	1,200	1,200	1,000	
\$B\$12	1,200	1,200	1,000	1,200	
\$B\$13	15,000	15,000	15,000	14,000	
\$B\$15	15,000	15,000	14,000	15,000	
\$B\$17	84,500	84,500	83,300	83,300	
\$B\$19	5,500	5,500	6,700	6,700	

Таблица 17 — Пример генерации сценария с помощью Scenario Wizard

<i>Дескриптор</i>	<i>Вариант 1</i>	<i>Вариант 2</i>	<i>Вариант 3</i>
Изменение климата	Mild (C1)	Moderate (C2)	Extreme (C3)
Землепользование	More (L1)	Moderately less (L2)	Very less (L3)
Повышение уровня моря	Mild (S1)	Moderate (S2)	Extreme (S3)

Сценарий 1 - C1 x L2 x S1

Выводы: Элементы представленного сценария представляют собой набор подтверждающих друг друга допущений. Таким образом, сценарий можно оценить как внутренне согласованный. Однако поддержка предположения о дескрипторе «Изменение климата» является слабой. Неожиданные вмешательства в этот дескриптор могут дестабилизировать сценарий.

Сценарий 2 – C1 x L1 x S3

Выводы: Элементы представленного сценария представляют собой набор подтверждающих друг друга допущений. Таким образом, сценарий можно оценить как внутренне согласованный. Однако поддержка предположения о дескрипторе «Землепользование» является слабой. Неожиданные вмешательства в этот дескриптор могут дестабилизировать сценарий

Сценарий 3 – C3 x L3 x S3

Выводы: Элементы представленного сценария представляют собой набор подтверждающих друг друга допущений. Таким образом, сценарий можно оценить как внутренне согласованный. Несмотря на то, что генерируются и другие сценарии, они не согласуются, поэтому, в соответствии с перекрестной матрицей, приведены только три сценария.

1.8 Разработка моделей и методов принятия решений в условиях глубокой неопределенности наступления джокеров с учетом оценок стоимости мероприятий по предупреждению угроз от них, противодействию их развитию и ликвидации последствий от их наступления, используя различные концепции таких решений (динамического адаптивного планирования, динамических адаптивных политик, робастного принятия решений и т. д.)

1.8.1 Об оценке инвестиционной привлекательности грузовых транспортных систем, функционирующих в условиях неопределенности

В этом пункте отчета приведены результаты исследования задач административного управления системами и объектами, функционирующими в условиях неопределенности. При этом основное внимание предполагалось уделить объектам административного управления, функционирующими в условиях такой неопределенности, (называемой далее глубокой) при которой для параметров этих объектов, принимающих случайные значения, неизвестны математические законы, по которым изменяются описывающие их случайные величины, а известны лишь диапазоны, в рамках которых эти случайные значения могут изменяться. Транспортные системы представляют собой пример одного из таких важных объектов административного управления, эффективное функционирование которых существенно влияет на экономику (экономики) любой страны и любого региона, а часто определяет ее (их) структуру.

Масштабные инженерные проекты, в частности, модернизация существующей транспортной инфраструктуры и/или развитие новой инфраструктуры региона, требуют значительных новых инвестиций, которые федеральные и региональные власти обычно не могут предоставить в полном объеме. В этом случае, формирование партнерских отношений с частным сектором, например, государственно-частного партнерства или подписание контрактных лицензионных соглашений на реализацию этих проектов может представлять интерес для администрации региона. Тогда, предполагая, что юридические условия, которые могут быть предложены потенциальными частными партнерами, приемлемы для этих партнеров, региональная администрация должна оценить а) сумму инвестиций, которая, по ее мнению, необходима на реализацию конкретного проекта, и б) размер дохода, который реализованный проект сможет генерировать в любой конкретной период планирования.

Реализация предложенных в настоящем исследовании результатов может существенно помочь администрациям регионов, сталкивающимся с проблемами транспортировки грузов в регионе, быть активными (и эффективными) на рынке этих услуг,

реально оценивая инвестиционную привлекательность региональных транспортных проектов.

Содержательная постановка рассматриваемой проблемы

Для иллюстрации указанных замечаний о транспортной инфраструктуре рассмотрим набор пунктов зарождения грузов, каждый из которых находится вблизи

некоторого речного порта $B_i, i \in \overline{1, n}$, откуда этот груз может быть доставлен в некоторый пункт (или в несколько пунктов) назначения этого груза, находящихся вблизи некоторого речного порта A (если порт A не является пунктом назначения груза) на грузовых

автомобилях. Предположим, что все порты $B_i, i \in \overline{1, n}$ и A расположены в некотором регионе, в котором управление перемещением этих грузов осуществляется региональной администрацией и в котором в настоящее время доставка грузов из пунктов отправления в пункты назначения осуществляется грузовыми автомобилями. Тогда, региональная администрация может оценить экономическую целесообразность использования схемы перевалки грузов между пунктами их зарождения и пунктами назначения с использованием перевозок грузовым водным транспортом, в рамках которой а) конкретный груз (или конкретные или даже все грузы) перемещаются из пункта (пунктов) зарождения в ближайший речной порт (порт начальной перевалки) грузовыми автомобилями, б) перемещаются между портом (портами) начальной перевалки и портом A (порт конечной перевалки) грузовым водным транспортом и в) перемещаются из порта A в пункт (пункты) назначения груза (грузов) грузовыми автомобилями (в предположении о том, что между

каждой парой портов (B_i, A), $i \in \overline{1, n}$ перевозка грузовым водным транспортом возможна).

Региональная администрация (естественно) заинтересована в оценке экономической целесообразности каждого из возможных вариантов создания подобной схемы, связанных также с возможностью построения дополнительного порта конечной перевалки (порта D) в регионе, исходя из а) ожидаемых объемов грузопотоков между пунктами зарождения и назначения каждого из грузов и расположения этих пунктов, б) грузовых транспортных тарифов, которые можно ожидать в ближайшие годы, в) ожидаемой оценки стоимости строительства и эксплуатации порта D и г) ожидаемой оценки стоимости расходов, связанных со эксплуатацией и модернизацией порта A в какой-либо ближайший период времени. Ожидаемые значения всех цифр, указанных в а)-г), даст администрации региона возможность численно оценить доход, который следует ожидать от реализации каждого из вышеперечисленных вариантов при всех возможных сценариях и решить, может ли разработка любого из вариантов этих схем быть экономически интересной для региона.

Объемы грузопотоков и тарифы на услуги по перевозке грузов

Хотя представляется невозможным надежно предсказать точные значения, например, ожидаемых объемов грузопотоков между пунктами зарождения и назначения каждого из грузов (с известной географией пунктов) в течение какого-либо промежутка времени (например, следующего десятилетия или двух), оценки нижних границ для этих объемов потоков можно получить из анализа динамики:

- Экономического развития региона и его соседних территорий, включая открытие.
- Новых и разработку уже обнаруженных месторождений полезных ископаемых.
- Внутренней и международной торговли в рамках вышеупомянутых возможных схем.
- Перемещения грузов через территорию региона.
- Миграционных процессов, а также показателей рождаемости и смертности в регионе.

Пусть, например, номенклатура всех грузов, которые считаются перемещаемыми по определенным маршрутам, через определенные географические пункты региона, состоит из N наименований, и пусть ожидаемые объемы этих грузов образуют некоторый вектор $y \in R_+^N$. Тогда, нижние оценки значений этих объемов (в течение определенного периода времени) можно описать векторным неравенством

$$y \geq a, \quad (31)$$

где $a \in R_+^N$ - некоторый вектор, компонентами которого являются нижние границы соответствующих грузопотоков.

Тарифы на грузоперевозки на рынке региональных транспортных услуг, в основном, зависят от:

- Развития видов грузового транспорта в этом регионе.
- Количество транспортных организаций и компаний, предлагающих транспортные услуги на рынке этих услуг в регионе.
- Объемов грузопотоков, предлагаемых к перевозке грузоотправителями.

Во многих транспортных системах, ожидаемые рыночные грузовые транспортные тарифы на региональном рынке могут описываться системой линейных ограничений балансового типа^{314;315;316;317;318}. Эту систему можно записать в векторно-матричной форме, например, в виде

$$Bb \leq \theta, \quad (32)$$

где B — матрица с вещественными элементами,

b ; θ — векторы соответствующих размеров с вещественными компонентами, и

b — вектор тарифов на услуги по перевозке грузов.

Стоимость строительных услуг

Стоимость строительных услуг, которые потребуются для построения порта D и для модернизации порта A в рамках реализации рассматриваемых схем изменения перевозок грузов между $n+1$ пунктом региона, зависит от:

- Объемов грузопотоков, которые будут перемещаться через $n+1$ портов.
- Типов перемещаемых грузов.
- Требований, предъявляемых к пребыванию конкретных типов грузов на территории каждого из портов.
- Естественных и технологических ограничений территории, на которой эти порты предполагается размещать и эксплуатировать.

³¹⁴ Almetova, Z., Shepelev, V., & Shepelev, S. (2017) Optimization of delivery lot volumes in terminal complexes. *Transportation Research Procedia*, 27, 396–403. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.12.020>.

³¹⁵ Belenky, A. (2014) Two classes of games on polyhedral sets in systems economics studies. In Kalyagin, Valery A., Pardalos, Panos, Rassias, Themistocles M. (Eds.), *Network models in economics and finance* (pp. 35–84). Springer. <https://www.springer.com/gp/book/9783319096827Belenky>.

³¹⁶ Bandara, Y. M., & Nguyen, H.-O. (2016) Influential factors in port infrastructure tariff formulation, implementation and revision. *Transportation Research Part A*, 85, 220–232. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2016.01.011>.

³¹⁷ Kulak, O., Genç, A., & Taner, M. E. (2018) A decision making tool considering risk assessment of subcontracting agents for an air cargo shipment planning problem. *Journal of Air Transport Management*, 69, 123–136. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2018.02.005>.

³¹⁸ Azadian, F., & Murat, A. (2018) Service location grouping and pricing in transportation: Application in air cargo. *European Journal of Operational Research*, 267(3), 933–943. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.12.031>

Существуют подходы к определению оптимальной структуры грузового транспортного узла (например, речного или морского порта), включая оптимальные размеры конкретных подразделений, которые будут частью этого узла, и оптимальной последовательности всех строительных работ требуемых для возведения (и модернизации) всех этих подразделений³¹⁹ ;³²⁰ ;³²¹. Ясно, что если бы, например, годовые числа крупнотоннажных контейнеров всех размеров были известны, то размер контейнерного терминала (или размеры контейнерных терминалов) порта можно было бы оценить как число (как числа) пропорциональное (пропорциональные) этому (этим) размеру (размерам) с определенным коэффициентом пропорциональности (определенными коэффициентами пропорциональности). В свою очередь размер конкретного контейнерного терминала определяет перечень строительных работ, необходимых для постройки этого терминала, и объем каждой работы из этого перечня. Поскольку, как правило, стоимость каждой работы из этого перечня может быть известна только в определенных диапазонах, то естественно предположить, что стоимость строительства терминала может быть описана билинейной функцией двух векторных аргументов³²². Компонентами первого векторного аргумента в этой билинейной функции будут ожидаемые объемы каждой работ из указанного перечня, а компонентами ее второго векторного аргумента будут ожидаемые затраты на эти работы.

Аналогичные рассуждения применимы ко всем типам грузов, которые, как ожидается, будут перемещены через порты A и D (а не только к контейнерам). Таким образом, можно сделать вывод, что стоимость строительных услуг (по созданию порта D и модернизации порта A) может быть описана билинейной функцией в виде скалярного произведения двух векторных аргументов. Первый из этих векторных аргументов формируется вектором с компонентами равными объемам строительных работ, присутствующих в упоминавшихся выше перечнях таких работ, подлежащих выполнению

³¹⁹ Oktal, H., & Ozger, A. (2013) Hub location in air cargo transportation: A case study. *Journal of Air Transport Management*, 129(3), 1–4. <https://doi.org/10.1016/j.jairtra man.2012.10.009>

³²⁰ Mokhtar, H., Redi, A. A. N. P., Krishnamoorthy, M., & Ernst, A. T. (2019) An intermodal hub location problem for container distribution in Indonesia. *Computers & Operations Research*, 104, 415–432. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2018.08.012>.

³²¹ Mokhtar, H., Krishnamoorthy, M., & Ernst, A. T. (2019) The 2-allocation p-hub median problem and a modified Benders decomposition method for solving hub location problems. *Computers & Operations Research*, 104, 375–393. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2018.09.006>

³²² Belenky, A. (1981) Minimax planning problems with linear constraints and methods of their solutions. *Automation and Remote Control*, 42(10), 1409–1419. <https://www.research gate.net/publication/265948434>
Minimax planning problems with linear constraints and methods of their solution

в отношении каждого из объектов, который должен стать частью порта. Эти объемы, разумеется, зависят от объемов грузов, которые, как ожидается, будут перерабатываться в этом порту. Второй из этих векторных аргумент формируется вектором с компонентами равными расходам на все строительные работы, аналогично тому, как это было упомянуто выше для контейнерного терминала.

Здесь набор допустимых значений для первого векторного аргумента можно описать системой линейных уравнений, связывающей векторы объемов всех строительных работ w и векторы объемов всех транспортных потоков x , которые, как ожидается, будут перегружаться через порт в течение какого-либо определенного периода времени. Эта система может быть записана как

$$E^p w - Hx = 0, w \in R_+^p, x \in R_+^N, \quad (33)$$

где а) p -количество наименований в номенклатуре всех строительных работ, подлежащих выполнению,

- б) E^p – единичная матрица размера p ,
- в) H –матрица с неотрицательными элементами размера $p \times N$,
- г) x — вектор с компонентами, равными объемам грузов, которые предполагается перегрузить через порт, и для которого выполняются наборы линейных неравенств, включая совокупность неравенств

$$E^N(x - y) \leq 0, \quad (34)$$

где E^N - единичная матрица размера N . (Как и выше, $y \in R_+^N$ - вектор ожидаемых объемов грузов в регионе, доступных для перемещения в течение определенного периода времени, а N - количество наименований в номенклатуре грузов, которые предполагается перевезти в течение этого периода времени). Набор допустимых значений для второго векторного аргумента билинейной функции можно описать системой линейных вида неравенств

$$\Psi_c \leq \gamma, \quad (35)$$

где $c \in R_+^p$, Ψ_c - матрица с действительными элементами размера $r \times p$,

и $\gamma \in R_+^p$. Здесь компоненты вектора с представляют собой стоимости строительных работ, которые должны быть выполнены в рамках построения порта D .

В настоящем исследовании показано, что оценку целесообразности развития грузового транспортного узла (в частности, в рассмотренном выше случае речного порта) в какой-либо географической точке региона, можно получить, сформулировав и решив некоторую задачу оптимизации в условиях неопределенности. Именно, исходя из приведенных выше рассуждений об объемах грузопотоков, тарифах на транспортные услуги и расходы на услуги по строительству этого грузового транспортного узла (порта D) из решения этой задачи можно оценить, способен ли такой узел какой-либо (технически) осуществимой мощности генерировать приемлемый доход для региона в разумные сроки. Например, годовой доход, который следовало бы ожидать от функционирования узла (порта), можно рассматривать как приемлемый, если этот доход, по крайней мере, покрывает инвестиции, требуемые для построения узла (порта) за какой-то период времени, который выглядит разумным для тех, кто планирует инвестировать в этот проект. При этом следует иметь в виду, что как правило, решение об инвестировании в проект принимается потенциальным инвестором с учетом того, что

а) транспортные услуги рассматриваемого узла (порта) должны конкурировать с другими транспортными услугами, доступными на рынке транспортных услуг в регионе по любым ожидаемым транспортным тарифам,

б) цены на все требуемые строительные работы диктуется рынком строительных услуг в регионе, и

в) вектор w объемов необходимого строительства и вектор x объемов грузов, ожидаемых к перемещению через узел (порт) удовлетворяют системе векторных линейных уравнений вида

$$E^p w - Hx = 0, w \in R_+^p, x \in R_+^N, \quad (36)$$

где p - натуральное число,

а E^p и H – упомянутые ранее матрицы.

Как показано в настоящем исследовании, рассматриваемую задачу оптимизации в условиях неопределенности можно сформулировать как задачу отыскания максимума максимина функции, зависящей от четырех векторов аргументов. В этой задаче, каждый из векторов принадлежит некоторому выпуклому многограннику, два из этих четырех векторов связаны системой линейных уравнений, а целевая функция (максимин которой максимизирует) является разностью двух квадратичных функций указанных векторных аргументов.

В настоящем исследовании доказано, что решение этой задачи сводится к решению вспомогательной задачи квадратичного программирования, в то время как задача отыскания наиболее неблагоприятных тарифов на региональном рынке транспортных услуг может быть сформулирована как задача билинейного программирования. Как доказано в работе Belenky³²³, решение этой задачи билинейного программирования сводится к решению вспомогательных задач линейного программирования, образующих двойственную пару.

О конкурентоспособности услуг грузового транспортного узла

В математической формулировке задачи оптимизации в условиях неопределенности, рассматриваемой в настоящем исследовании, система ограничений на векторный аргумент, описывающий рыночные тарифы, содержит специальную систему линейных неравенств³²⁴. Именно, как доказано в Belenky et al,³²⁵, если для любых действительных чисел $x_{kj}^i, y_{ji}^i \in R_+^1$ и $a_{kj}^i, b_{ji}^i \in R^1$ и для любых натуральных чисел I, m, n , для которых $x_{k_l}^i = \tilde{x}_l, y_{j_l}^i = \tilde{y}_l, a_{k_l}^i = \tilde{a}_l, b_{j_l}^i = \tilde{b}_l, k_l \in \overline{1, n}, j_l \in \overline{1, m}, n_i \leq m_i, \forall i \in \overline{1, I}$, неравенства

$$x_{k_i}^l \leq \sum_{v=1, v \neq k_i}^m y_v^i, \quad \forall k_i \in \overline{1, n_i}, i \in \overline{1, I} \quad (37)$$

³²³ Belenky, A. (1978) A planning problem in a class of linear models. Automation and Remote Control, 39(11), 1667–1673. <https://www.researchgate.net/publication/284048559>

³²⁴ Belenky, A., Fedin, G., & Kornhauser, A. (2021) An Approach to Estimating the Economic Expediency of Developing a New Cargo Transport Hub by a Regional Public Administration. International Journal of Public Administration, 44(13), 1076-1089. <https://doi.org/10.1080/01900692.2020.1815052>.

³²⁵ Там же.

и равенства

$$\sum_{\mu=1}^{n_i} x_{\mu}^i = \sum_{v=1}^{m_i} y_v^i, \quad i \in \overline{1, I} \quad (38)$$

где $a_{k_i}^i \leq \min_{v \in \{m_i \setminus \{k_i\}\}} b_v^i \quad \forall k_i \in \overline{1, n_i}, i \in I$, выполняются, то выполняются неравенства

$$\sum_{\mu=1}^{n_i} a_{\mu}^i x_{\mu}^i \leq \sum_{v=1}^{m_i} b_v^i y_v^i, \quad i \in \overline{1, I} \quad (39)$$

Условия этого утверждения существенны, что иллюстрируется следующими примерами, приведенными в Belenky et al³²⁶.

Пример 1. (существенность неотрицательности чисел $y_j, j \in \overline{1, 5}$)

Пусть

$$n = 4, m = 5; x_1 = 1, x_2 = 2, x_3 = 3, x_4 = 4; y_1 = -1, y_2 = 2, y_3 = 3, y_4 = 5, y_5 = 1.$$

Далее, пусть

$$a_i = 1, i \in \overline{1, 4}; b_1 = 3, b_j = 1, j \in \overline{2, 5}.$$

Тогда выполняются

³²⁶ Belenky, A., Fedin, G., & Kornhauser, A. (2021) An Approach to Estimating the Economic Expediency of Developing a New Cargo Transport Hub by a Regional Public Administration. International Journal of Public Administration, 44(13), 1076-1089. <https://doi.org/10.1080/01900692.2020.1815052>.

a) равенство

$$\sum_{i=1}^4 x_i = 10 = \sum_{j=1}^5 y_j$$

б) неравенства

$$1 = x_1 < y_2 + y_3 + y_4 + y_5 = 11,$$

$$2 = x_2 < y_1 + y_3 + y_4 + y_5 = 8,$$

$$3 = x_3 < y_1 + y_2 + y_4 + y_5 = 7,$$

$$4 = x_4 < y_1 + y_2 + y_3 + y_5 = 5,$$

и

в) неравенства

$$1 = a_1 \leq \min(b_2, b_3, b_4, b_5) = \min(1, 1, 1, 1) = 1,$$

$$1 = a_2 \leq \min(b_1, b_3, b_4, b_5) = \min(3, 1, 1, 1) = 1,$$

$$1 = a_3 \leq \min(b_1, b_2, b_4, b_5) = \min(3, 1, 1, 1) = 1,$$

$$1 = a_4 \leq \min(b_1, b_2, b_3, b_5) = \min(3, 1, 1, 1) = 1.$$

Однако, справедливо неравенство

$$10 = 1 \times 1 + 1 \times 2 + 1 \times 3 + 1 \times 4 = \sum_{i=1}^4 a_i x_i > \sum_{j=1}^5 b_j y_j = 3 \times (-1) + 1 \times 2 + 1 \times 3 + 1 \times 5 + 1 \times 1 = 8$$

Пример 2. (существенность неотрицательности чисел $x_i, i \in \overline{1, 4}$)

Пусть теперь

$$n = 4, m = 5; x_1 = -1, x_2 = 2, x_3 = 3, x_4 = 4; y_1 = 0, y_2 = 1, y_3 = 3, y_4 = 4, y_5 = 0.$$

Далее, пусть

$$a_1 = 0, a_i = 1, i \in \overline{2,4}; b_1 = 3, b_j = 1, j \in \overline{2,5}.$$

Тогда выполняются

а) равенство

$$\sum_{i=1}^4 x_i = 8 = \sum_{j=1}^5 y_j$$

б) неравенства

$$-1 = x_1 < y_2 + y_3 + y_4 + y_5 = 8,$$

$$2 = x_2 < y_1 + y_3 + y_4 + y_5 = 7,$$

$$3 = x_3 < y_1 + y_2 + y_4 + y_5 = 5,$$

$$4 = x_4 < y_1 + y_2 + y_3 + y_5 = 4,$$

и

в) неравенства

$$0 = a_1 \leq \min(b_2, b_3, b_4, b_5) = \min(1, 1, 1, 1) = 1,$$

$$1 = a_2 \leq \min(b_1, b_3, b_4, b_5) = \min(3, 1, 1, 1) = 1,$$

$$1 = a_3 \leq \min(b_1, b_2, b_4, b_5) = \min(3, 1, 1, 1) = 1,$$

$$1 = a_4 \leq \min(b_1, b_2, b_3, b_5) = \min(3, 1, 1, 1) = 1.$$

Однако, справедливо неравенство

$$9 = 0 \times (-1) + 1 \times 2 + 1 \times 3 + 1 \times 4 = \sum_{i=1}^4 a_i x_i > \sum_{j=1}^5 b_j y_j = 3 \times 0 + 1 \times 1 + 1 \times 3 + 1 \times 4 + 1 \times 0 = 8$$

Система линейных неравенств (1), (2) является (указанным выше) достаточным условием конкурентоспособности услуг по перевалке груза, которую предоставляет грузовой транспортный узел, относительно транспортных услуг, предлагаемых на рынке этих услуг в регионе.

Пусть объем груза $y_{j_i}^i, j_i \in \overline{1, m_i}$, который, как ожидается, будет предложен отправителем $i \in \overline{1, I}$ для перевалки через грузовой транспортный узел, $b_{j_i}^i$ рыночный тариф на поставку единицы объема груза $j_i \in \overline{1, m_i}$ от отправителя $i \in \overline{1, I}$ до пункта назначения груза без использования услуг, предоставляемых грузовым транспортным

узлом, $x_{k_i}^i, k_i \in \overline{1, n_i}$ объем груза, который ожидается перемещаться от отправителя $i \in \overline{1, I}$ путем перевалки через грузовой транспортный узел, $a_{kj}^i, k_j \in \overline{1, n_i}$ перевалочный тариф за доставку единицы объема груза, который ожидается перемещаться от отправителя $j \in \overline{1, J}$ путем перевалки через грузовой транспортный узел. Тогда конкурентоспособность услуг транспортного узла по перевалке груза, которые описываются системой линейных неравенств (3), можно понимать относительно набора грузов, доступных для перемещения через этот узел от отправителя груза $i \in I$, когда этот набор содержит грузы (по крайней мере) двух различных типов, т.е. $n_i \geq 2$ для $i \in I$. Выполнение систем линейных неравенств (1) и линейных равенств (2)— что обеспечивает совместность системы линейных неравенств (3)—означает отсутствие транспортных услуг, доступных на рынке, которые обеспечивают перемещение любого конкретного общего объема грузов дешевле, чем этот можно сделать, перемещая эти грузы через рассматриваемый грузовой транспортный узел.

Этот общий объем перемещаемых грузов рассчитывается для всех видов грузов, для которых транспортный узел предлагает свои услуги по перевалке грузов, т.е. составляет

объем $\sum_{\mu=1}^{n_i} x_{\mu}^i$ (равный $\sum_{v=1}^{m_i} y_v^i$). Можно легко убедиться в том, что это свойство имеет место, хотя некоторые (но не все) рыночные тарифы на перемещение отдельных видов грузов из какого-либо набора может быть ниже соответствующих тарифов, предлагаемых транспортным узлом.

Здесь первая система неравенств, определяемая (1), означает, что значение перевалочного тарифа за доставку единицы груза с номером k_i — входящая в число грузов, предоставленных к перевозке отправителем i — не превышает минимума рыночного тарифа значений для всех других грузов, предоставленных для перевозки отправителем i , т.е. грузов с номерами $\overline{1, m_i} \setminus k_i$. Вторая система неравенств из (1) означает, что объем груза с любым числом $k_i \in \overline{1, n_i}$, перегруженный через транспортный узел, не превышает общего объема всех остальных видов грузов, которые предоставляются отправителем i , т. е. грузов с номерами из набора $\overline{1, m_i} \setminus k_i$.

Ясно, что каждый отправитель может быть заинтересован в использовании услуг по перевалке грузов, предоставляемых грузовым транспортным узлом, если первый набор неравенств из (1) выполняется и, вероятно, будет интересен в этих услугах, если эти

неравенства выполняются для чисел ωb_v^i , где $\omega < 1$. В то же время следует иметь в виду, что взаимодействие органов управления грузовым транспортным узлом и отправителей происходит следующим образом: Предлагая более дешевые тарифы на перевалку или более быструю доставку с перевалочными тарифами, не превышающие рыночные, или и то, и другое, транспортные операторы, работающие с администрацией транспортного узла, могут выбирать те объемы грузов от каждого отправителя i , которые сделали бы услугу по перевалке грузов через узел максимально выгодной этим транспортным операторам. Таким образом, тарифы на перевалку становятся конкурентоспособными с рыночными для отправителя i только для тех объемов грузов от этого отправителя, которые определяются неравенствами, образующие вторую группу неравенств в (1). Если есть отправители грузов, заинтересованные в услугах по перевалке грузов через грузовой транспортный узел, то выполнение I групп из неравенств (3) означает что услуги по перевалке, предоставляемые транспортным узлом, оказываются конкурентоспособными (в вышеприведенном смысле) для всех этих I отправителей.

В Belenky et al³²⁷ доказано, что выполнение этой системы неравенств является достаточным условием конкурентоспособности тарифов на перевалку грузов через порт, в то время как совместность этой системы неравенств легко проверяется решением вспомогательной задачи линейного программирования.

Постановка и математические формулировки исследуемых задач

Задача 1. Выяснить, существуют ли такие размеры и структура грузового транспортного узла, который будет построен в конкретной географической точке региона, позволяющие региональной администрации окупить инвестиции, необходимые для строительства этого узла, при условии, что рекуперация всех инвестиций должна быть достигнута в результате функционирования транспортного узла в течение Ψ лет. При этом предполагается, что а) транспортный узел может предложить значения тарифов на перемещение отдельных видов грузов до пунктов назначения, конкурентоспособные с рыночными транспортными тарифами на перемещение этих видов грузов в смысле системы линейных неравенств (1)–(3) и (б) объемы строительных работ, связанных со строительством транспортного узла, линейно зависят от объемов грузов, которые предполагается переваливать через этот узел.

³²⁷ Belenky, A., Fedin, G., & Kornhauser, A. (2021) An Approach to Estimating the Economic Expediency of Developing a New Cargo Transport Hub by a Regional Public Administration. International Journal of Public Administration, 44(13), 1076-1089. <https://doi.org/10.1080/01900692.2020.1815052>.

В исследовании показано, что *Задача 1* может математически быть сформулирована в виде

$$\max_{w \in W} \min_{c \in C} \{ \langle z, E^\Psi x \rangle - \langle c, w \rangle \} \rightarrow \max_{z \in Z, x \in X}, \quad (40)$$

где $x \in X \subset R_+^\Delta, z \in Z \subset R_+^\Delta, X, Z$ - выпуклые многогранники,

$w = Hx, H$ - матрица

и E^Ψ - произведение единичной матрицы размера Δ на Ψ ,

Если значение целевой функции в *Задаче 1* неотрицательно, то рассматривается

Задача 2. Выяснить, существуют ли такие размеры и структура грузового транспортного узла, который будет построен в той же (как и в *Задаче 1*) конкретной географической точке, которые позволили бы региональной администрации окупить все инвестиции, необходимые для строительства этого узла. Как и в *Задаче 1*, а) рекуперация всех инвестиций должна быть достигнута в результате функционирования узла в течение Ψ лет, и б) предполагается, что объемы строительных работ, связанных со строительством узла, линейно зависят от объемов грузов, которые предполагается переваливать через этот узел. Однако, в отличие от *Задачи 1*, в *Задаче 2* предполагается, что транспортный узел может предложить значения тарифов на перемещение отдельных видов грузов до пунктов назначения, не превышающие наихудшие (с точки зрения администрации региона) значения тарифов (которые, как ожидается, будут действовать в ближайших Ψ лет) на перемещение отдельных видов грузов до пунктов их назначения.

В исследовании показано, что *Задача 2* может математически быть сформулирована в виде

$$\max_{w \in W} \min_{c \in C} \{ \langle z, E^\Psi x \rangle - \langle c, w \rangle \} \rightarrow \max_{z \in Z(\eta), x \in X} \quad (41)$$

где $\eta < 1, w = Hx$ и

$$Z(\eta) = \bigcap_{i=1}^{\Delta} M^i \cap \{z^i \leq b_i^*(1-\eta)\}$$

Для формализации соответствующей задачи обозначим

$y^i \in R_+^{m_i}$ — вектор с компонентами $y_{j_i}^i, j_i \in \overline{1, m_i}$, равными ежегодным объемам грузов, которые, как ожидается, будут подготовлены отправителем i для перевозки, включая услуги по перевалке через грузовой транспортный узел, $i \in \overline{1, I}$,

$x^i \in R_+^{n_i}$ — вектор с компонентами $x_{k_i}^i, k_i \in \overline{1, n_i}$, равными ежегодным объемам грузов, которые, как ожидается, будут переваливаться через грузовой транспортный узел (из объемов, которые, как ожидается, будут подготовлены отправителем i для перевозки), $n_i \leq m_i, i \in \overline{1, I}$,

$b^i \in R_+^{m_i}$ — вектор с компонентами $b_{j_i}^i, j_i \in \overline{1, m_i}$, равными рыночным тарифам на перевозки за единицу объема груза $j_i \in \overline{1, m_i}$ (которые, как ожидается, будут подготовлены отправителем i для перевозки) до пункта назначения без использования услуг, предоставляемых грузовым транспортным узлом,

$z^i \in R_+^{n_i}$ — вектор с компонентами $z_{k_i}^i, k_i \in \overline{1, n_i}$, равными тарифам на перевалку за единицу объема грузов $k_i \in \overline{1, n_i}$ (которые, как ожидается, будут отправлены отправителем i через грузовой транспортный узел) в пункт назначения, $i \in \overline{1, I}$,

$\Omega^i = \{y^i \in R_+^{m_i}, y^i D^i \leq d^i\}$ — набор допустимых значений векторов y^i , и D^i и d^i , которые являются матрицей и вектором соответствующих размеров, $i \in \overline{1, I}$,

$M^i = \{z^i \in R_+^{n_i}, z^i P^i \leq p^i\}$ — набор допустимых значений векторов z^i , и P^i и p^i , которые являются матрицей и вектором соответствующих размеров, $i \in \overline{1, I}$,

$w \in W \subset R_+^p$ — вектор с компонентами равными объемам строительных работ по перечню всех P строительных работ, связанных со строительством всех участков грузового транспортного узла,

$c \in C \subset R_+^P$ — вектор с компонентами, являющимися значениями затрат на строительные работы из списка всех P строительных работ, связанных со строительством всех участков грузового транспортного узла,

$\alpha_i = n_i$, $\alpha_i \leq n_i$, $i \in \overline{2, l}$, где $\sum_{i=1}^{\sigma} \alpha_i$ количество различных видов грузов, о которых предполагается, что эти грузы будут отправлены отправителями с номерами $\overline{1, \alpha} \subseteq \overline{1, l}$.

$\sigma \in \overline{1, I}$.

$L = \sum_{i=1}^I \alpha_i$ — общее количество всех видов грузов от всех I отправителей, о которых предполагается, что эти грузы пройдут перевалку в грузовом транспортном узле,

$q \in R^L$ — вектор с компонентами q_i , равными предельным значениям на количество груза перевалку l вида груза через грузовой транспортный узел, $l \in \overline{1, L}$.

Основной результат

Утверждение. Задача 2 может быть сформулирована в виде оптимизационной задачи отыскания

$$\max_{z \in Z(\eta)} \max_{x \in X} \max_{w \in W} \min_{c \in C} \{ \langle z, E^\psi x \rangle - \langle c, w \rangle \} = \max_{z \in Z(\eta)} \max_{x \in X} \min_{s \in S} \{ \langle z, E^\psi x \rangle - \langle s, x \rangle \} \quad (42)$$

где $s \in S$, $s = cH$, а

S — выпуклый многогранник, являющийся образом выпуклого многогранника C при линейном операторе H , которая сводится к задаче квадратичного программирования

$$\langle (O_h, O_x, b), (z, x, h) \rangle + \langle (z, x, h), K(z, x, h) \rangle \rightarrow \max_{\{(z, x, h) : (z, x, h) \geq 0, z \in Z(\eta), Bx \geq d, hA \leq -E^P x\}}, \quad (43)$$

где $O_h, O_x \in R^m$ — нулевые векторы размера m , а матрица

$$O_h \quad E^\psi \quad O_h$$

$$K = O_x \quad O^T \quad O_x$$

$$O_h \quad O^T \quad O_h$$

является $3m \times (m + 2)$ матрицей, в которой O^h, O^x нулевые квадратные матрицы размера m .

1.8.2 Аналитический обзор влияния террористических актов и чрезвычайных ситуаций (ЧС) на безопасность авиационной транспортной инфраструктуры

Проведен аналитический обзор влияния террористических актов и чрезвычайных ситуаций (ЧС) на безопасность авиационной транспортной инфраструктуры. Рассмотрены и выделены недостатки существующих моделей и методов снижения риска реализации террористических угроз и ЧС в авиаотрасли. Изучена существующая и предложена новая типология чрезвычайных ситуаций в авиации. Разработана концепция системы антитеррористической безопасности авиапредприятия. Изучены существующие и разработаны новые модели и методы снижения риска реализации террористических угроз и возникновения ЧС в авиации с помощью принятия эффективных решений в условиях риска и глубокой неопределенности.

Напряженная политическая и социально-экономическая обстановка в мире предопределяет возможность наступления негативных последствий – террористических актов, диверсий и иных противоправных деструктивных действий, направленных против мирных жителей и объектов критически важной инфраструктуры. Кроме того, существует постоянная угроза возникновения тех или иных событий природного или техногенного характера, которые также являются чрезвычайными ситуациями и представляют значительную угрозу. Противоправные действия, совершаемые на объектах транспортной инфраструктуры, вызывают повышенное внимание и беспокойство как со стороны государства, так и общества, именно такие происшествия связывают с массовыми человеческими жертвами и нанесением значительного материального ущерба. Несмотря на предпринимаемые органами безопасности государства защитные меры, террористические акты, совершаемые на транспорте, наглядно демонстрируют уязвимость систем безопасности и вынуждают разрабатывать новые пути достижения цели - повышения уровня безопасности объектов транспортной инфраструктуры.

Напряженная мировая обстановка является лишь одним из катализирующих факторов, увеличивающих вероятность совершения злоумышленниками противоправных действий, тогда как реальность их наступления и обстоятельства находятся исключительно в поле глубокой неопределенности. Цели, методы, территории и объекты, как и способы достижения злоумышленниками своих целей - не могут быть в достаточной мере прогнозируемы и, как правило, выявляются исключительно благодаря квалифицированным

действиям оперативных и разведывательных служб. Угрозы природного и техногенного характера также носят характер слабопредсказуемых. Перечисленные характерные обстоятельства наступления событий задают необходимость разработки моделей принятия решений по противодействию террористическим угрозам и чрезвычайным ситуациям на транспорте в условиях риска и глубокой неопределенности.

Авиационный транспорт является самой молодой отраслью перевозок, при этом оставаясь одним из самых высокотехнологичных, что также обязывает специалистов обратить повышенное внимание на связанную с этим сложность обеспечения безопасности при эксплуатации. Использование сложных эргастических систем сопряжено как непосредственно с вопросами надёжности техники, так и с «человеческим фактором». Именно в транспортных системах на первое место выступает проблема обеспечения заданной безопасности эксплуатации систем как для оператора (командира воздушного судна (КВС)), так и эксплуатирующих воздушное судно пассажиров, а также остальных лиц, в том числе «на земле», которые также могут находиться в потенциально угрожающем положении (достаточно вспомнить один из известных примеров использования воздушных судов в качестве оружия разрушения и устрашения: теракты 11 сентября 2001 года в США, при которых погибло 2977 человек, уничтожено 4 воздушных судна и нанесен значительный ущерб уничтожением зданий Всемирного торгового центра, частичным разрушением здания Пентагона США). Не только террористические акты являются значительной угрозой для населения и эксплуатантов воздушного транспорта, но также и гораздо более распространенные сбои технически сложных систем, «человеческий фактор» - ошибки операторов (экипажа, обслуживающего технического персонала и др.), влияние природных факторов (погодные условия, птицы, обледенение и пр.) могут оказывать катастрофическое воздействие на жизнь и здоровье людей.

Наличие глубокой неопределенности при рассмотрении проблематики ЧС в авиации предопределяет ключевой элемент функционирования системы предупреждения и предотвращения ЧС в авиации – анализ рисков. В качестве вероятности события ЧС следует рассматривать риск возникновения такой ситуации, который в авиации, как это принято, должен находиться в пределах допустимого Международной организацией гражданской авиации (ИКАО) значения 10⁻⁶³²⁸. В рамках работы подробно рассматриваются исключительно чрезвычайные ситуации и связанные с этим последствия в авиаотрасли,

³²⁸ Зубков Б.В., С.Е. Прозоров Методический подход к оценке риска в системе управления безопасностью полётов // Научный вестник МГТУ ГА. – 2011 / - №174

тогда как вопросы непосредственного технического функционирования сложных систем (воздушных судов, навигации, квалификации персонала и пр.) подробно не исследуются.

Вопросы противодействия террористическим угрозам, предотвращения ЧС и обеспечения транспортной безопасности, в основном, рассматриваются учёными с позиции политических, юридических и социальных дисциплин, чему посвящено значительное число научных работ - G. Weimann (2022), S. Boufous, (2021), A. Schmid (2020), Н. А. Духно (2018), Я. Д. Вишняков (2012), Г.А. Бондаренко (2006), В.В. Кафтан (2018). Меньший объем работ посвящён вопросам транспортной безопасности с позиции физико-математических и технических наук. Так, заметный вклад в изучение отраслевой транспортной безопасности на техническом уровне внесли - S. Szyliowicz (2018), F. Netjasov (2021), R. Thomas (2008), В.В. Томилов В.В. (2020), П.Н. Блинов (2017), В.В. Зубков (2014), А.Н. Александров (2017), А.В. Гундаров (2017), П.Н. Жукова (2017) и другие³²⁹. Тем не менее, решение задач принятия решений по противодействию террористическим угрозам и предотвращению ЧС на транспорте не являлись ранее предметом полноценных научных исследований, в связи с чем проблемы обеспечения безопасности продолжают оставаться актуальными. Тема имеет высокую значимость как для государства в проекции на обеспечение безопасности общества, так и для организаций в связи с развитием транспортной инфраструктуры и усилением активности террористических угроз. Существуют очевидные пробелы в изучении модели развития подобных ситуаций в целях предотвращения или снижения риска их возникновения, в связи с чем актуализируется цель - снижение риска

³²⁹ Зубков Б. В. Безопасность полётов: учебник / Б. В. Зубков, С. Е. Прозоров; под ред. Б. В. Зубкова. – Ульяновск: УВАУ ГА(И), 2012. – 451 с.

Куклев Е.А. Модели рисков катастроф, как маловероятных событий в системах с дискретными состояниями // Сб. трудов международной конференции «Системный анализ и системное моделирование». — СПб.: ЛЭТИ, 2003.

Елисов Л.Н., Овченков Н. И. Интегральная безопасность воздушного транспорта // Научный вестник МГТУ ГА. - 2017. - №6

Сакач Р.В., Буряков В.М., Кофман В.Д. Вопросы расследования и анализа авиационных происшествий: учеб. пособие для вузов гражд. авиации / Р.В. Сакач, В.М. Буряков, В.Д. Кофман. - Москва: Б., - 1979. - 92 с.

Прозоров, С.Е. Авиационная безопасность: учебное пособие / С.Е. Прозоров, Б.В. Зубков; Министерство транспорта РФ; МГТУ ГА. - М.: МГТУ ГА, 2004. – 144 с.

Балысников, В.В. Конспект лекций дисциплины «Безопасность транспортных систем» [Электронный ресурс]: Официальный веб-сайт ФГБОУ ВО «СпбГУ ГА» // СПбГУ ГА. 2022. URL: https://spbguga.ru/wp-content/uploads/2016/01/konspekt_lekcii.pdf (дата обращения: 27.09.2022).

возникновения чрезвычайных ситуаций в авиационной отрасли. Поставленная цель достигается путем решения следующих задач:

- 1) Анализа чрезвычайных ситуаций и террористических угроз в современной авиационной отрасли с выделением причин событий.
- 2) Анализа и выявления недостатков существующих типологий чрезвычайных ситуаций и классификации чрезвычайных ситуаций, моделей развития ЧС в авиации. Анализа и выявления недостатков существующих систем обеспечения антитеррористической безопасности в авиации.
- 3) Разработки типологии и моделей развития чрезвычайных ситуаций в авиации, моделей и методов принятия решений по снижению риска реализации ЧС и террористических угроз в авиаотрасле в условиях глубокой неопределенности.

В рамках работы по проекту проведенные научные изыскания следует относить к разработке принципов классификации слабопредсказуемых событий, анализу и классификации существующих моделей и методов принятия решений по выявлению, предупреждению и противодействию слабопредсказуемым угрозам. В ходе исследования также проводится работа по подготовке обзоров, содержащих описание слабопредсказуемых событий и их потенциальных эффектов (основные ЧС в авиации).

Чрезвычайные ситуации в авиации возникают по различным причинам, среди которых выделяют: технические неполадки ВС, террористические акты, человеческий фактор и ошибки экипажа, метеоусловия, а также иные варианты уничтожения воздушного судна. Как было установлено проведенным исследованием, ЧС в авиации несут значительную угрозу для жизни и здоровья населения, влекут за собой значительный материальный ущерб, что обосновывает актуальность проведения исследований в данной области. Наиболее часто опасные ситуации происходят вследствие «человеческого фактора», непосредственно при принятии решений КВС, экипажем или наземными службами аэропорта. Следует обратить внимание, что глубокую неопределенность развитию ЧС на воздушном транспорте также обеспечивает наличие значительного числа внешних и непредвиденных обстоятельств, таких как метеоусловия, столкновения с птицами, а также ошибки принятия решений лицами, которые прямо не участвуют в управлении ВС, но, могут оказать на неё разрушительное воздействие, как, например, это случилось при ошибочной атаке системой ПВО Ирана гражданского ВС Boeing 737-8KV в 2020 году. Критические ситуации возникают стремительно, как правило внезапно, развиваются со взрывной скоростью, при этом на принятие тех или иных решений может не оставаться времени, учитывая скорость движения ВС и скоротечность развития негативных факторов и обстоятельств. Таким образом, на первую роль выходит значимость

предупреждения ЧС в авиации, в том числе с учётом опыта, полученного при расследовании аналогичных инцидентов в целях снижения риска возникновения подобных угроз в дальнейшем. Накопление опыта предопределяет необходимость наличия типологии ЧС, которая должна наиболее полноценно делить произошедшие события на категории, что позволит улучшить их анализ и статическую обработку. Представленная новая типология ЧС в авиации делит события на 4 категории, которые позволяют наиболее полноценно определить принадлежность той или иной ЧС по соответствующим критериям. Варианты представленных новых моделей позволяют рассматривать систему предотвращения ЧС как многоэлементную структуру, с возможностью оценки веса каждого из элементов и расчета вероятности его сбоя, при этом предполагается некоторая зависимость надёжности п-элемента системы безопасности ЧС от его стоимости, что, также имеет значение в условиях нестабильной мировой экономико-политической обстановки и ограниченного финансирования. При таком взгляде на проблематику особое внимание уделяется критериям риска, а именно допустимого риска (для системы предотвращения ЧС и её элементов) и оценки такого риска. При эксплуатации сложных эргастических систем, на первую роль также выходят лица принимающие решения – КВС, члены экипажа, лица из числа наземных служб аэропорта.

Особое внимание следует уделить проблематике глубокой неопределенности при чрезвычайных ситуациях, в связи с тем, что возникновение ЧС может быть с определенной вероятностью предсказано лишь на основе некоторых статистических данных, при этом тяжесть, внезапность и непредсказуемость последствий всегда находятся в поле глубокой неопределенности. Изложенное предопределяет необходимость проведения серьёзных планово-предупредительных мер по прогнозированию и предупреждению ЧС. При этом актуализируются три основы проблематики неопределенности, такие как:

- 1) Неопределенность среды, а именно воздействие различных внешних факторов (факторы природы и среды, такие как - вероятность столкновения птиц с ВС, воздействие погодных условий на безопасность полёта).
- 2) Неопределенность непосредственно принятия конкретных решений, которая заключается в том, как именно и какие действия будут предприняты тем или иным должностным лицом в целях предупреждения и предотвращения ЧС в авиации.
- 3) Неопределенность последствий принятых решений, так как не всегда является возможным достаточно уверенно предположить, какими предпринятыми действиями будет достигнут результат и к какому результату эти действия приведут. Это особенно актуально при предупреждении, предотвращении и ликвидации любых нештатных ситуаций, связанных со сложными техническими устройствами, а также, когда это касается действий

третих лиц, например - злоумышленников, террористов и др., которые ставят своими действиями под угрозу авиационную безопасность и, могут действовать непредсказуемо, эмоционально.

Применение математических теорий Неймана-Моргенштерна и Бернулли позволяет рассматривать склонность к риску лиц принимающих решения, что предоставляет возможность контролировать и снижать вероятность наступления ЧС в авиации, путём отбора на ответственные должности наименее склонных к риску сотрудников. Предложенная концепция позволяет оценить вероятность наступления ЧС в зависимости от количества и надежности элементов принятия решений, рубежей безопасности, а также использовать модель «системы обеспечения антитеррористической безопасности авиапредприятия» при принятии управленческих решений в области обеспечения безопасности. Применение основ теории математической психологии В.А. Лефьера позволяет повысить качество отбора специалистов, связанных с обеспечением авиационной безопасности.

Результаты проведенных исследований нашли отражение в авторской монографии «Countering Air Terrorism»³³⁰. Результаты работы могут быть использованы как в повседневной деятельности авиационных предприятий, так и в работе государственных органов и контролирующих служб для оценки эффективности предпринимаемых авиапредприятиями мер, связанных с противодействием террористическим угрозам и предупреждению ЧС.

Ранее отдельные результаты исследования были успешно внедрены и применяются в работе: Межгосударственного авиационного комитета (МАК) – при расследовании авиационных происшествий, для оценки эффективности предпринимаемых авиапредприятием мер по обеспечению антитеррористической безопасности и соответствия уровня подготовки кадров службы авиационной безопасности авиапредприятия возложенным на них задачам; ООО «ГОСОБОРОНЗАКАЗ» - при разработке концепции авиапредприятия гражданской авиации повышенной антитеррористической защищенности.

Дальнейшие шаги в рамках проводимого исследования будут направлены на разработку прототипа программного комплекса оценивания эффектов от слабопредсказуемых угроз ЧС в транспортной отрасли.

³³⁰ Hachikyan, P. (2022). Countering Air Terrorism. Singapore: Springer, p. 139

1.8.3 Об оптимальном размытии точечных экспертных оценок и их агрегировании в рамках теории свидетельств

Работа посвящена решению задачи выбора источников прогностической экспертной информации для агрегирования и самому агрегированию в рамках теории свидетельств. В частности, предложена процедура оптимального «размытия» точечных значений и построения тел свидетельств на основе метода SVR регрессии. Кроме того, предложена процедура выбора прогнозов (тел свидетельств) для комбинирования на основе минимизации меры противоречивости между телами свидетельств. Применимость указанных процедур продемонстрирована на примере выбора для агрегирования прогнозов о росте ВВП.

Экспертное оценивание и прогнозирование широко применяется при разработке программ социально-экономического развития регионов, принятии управленческих решений, принятии решений на финансовом рынке, противодействию природным и техногенным угрозам и т. д. Одной из важных методик экспертного оценивания является агрегирование прогнозной информации, полученной из разных источников. Значимость комбинирования прогнозов была исследована в ряде задач. Так, например, в (Huang et al)³³¹ была показана значимость комбинирования рекомендаций аналитиков и прогнозов целевой цены для построения доходной инвестиционной стратегии.

Существует ряд методов и алгоритмов агрегирования. Так, например, популярен алгоритм Hedge (Freund & Schapire)³³², использующий метод обновления мультипликативных весов (the multiplicative weights update method) экспертов. В макроэкономическом прогнозировании широко развит консенсус-прогноз, как метод усреднения с некоторыми весами или использование медианы. Вместе с тем, в ряде исследований было показано, что к агрегированным прогнозам надо относиться с осторожностью. Так в Kim et al³³³ утверждалось, что среднее значение неэффективно использовать для агрегирования прогнозов. Эта неэффективность возрастает при увеличении числа прогнозов в агрегировании. Там же были предложены некоторые процедуры выбора «хороших» прогнозов для агрегирования.

³³¹ Huang J., Mian G.M. Sankaraguruswamy S. The value of combining the information content of analyst recommendations and target prices// Journal of Financial Markets. – 2009. – 12. – P. 754–777.

³³² Freund Y., Schapire R. E. A Decision-Theoretic Generalization of On-Line Learning and an Application to Boosting// Journal of computer and system sciences. – 1997. – 55. – P. 119–139.

³³³ Kim O., Lim S.C., Shaw K.W. The inefficiency of the mean forecast as a summary forecast of earnings// Journal of Accounting Research. – 2001. – 39. – P. 329–336.

Поэтому актуальной остается как задача разработки новых методов агрегирования, так и задача выбора «хороших» прогнозов для агрегирования с учетом исторических данных источников прогнозирования, их противоречивости и т. д. Противоречивость, неопределенность, надежность источников информации удобно моделировать в рамках теории свидетельств^{334, 335}. В Xu et al³³⁶ методы агрегирования теории свидетельств использовались для комбинирования прогнозов аналитиков о наиболее перспективных отраслях фондового рынка в среднесрочной перспективе. В Kutynina & Lepskiy³³⁷ в рамках теории свидетельств были исследованы некоторые стратегии агрегирования прогнозов инвестибанков о будущей стоимости ценных бумаг. В Bronevich et al³³⁸ теория свидетельств применялась к исследованию согласованности прогнозов финансовых аналитиков о стоимости акций российской компаний.

Данная работа посвящена разработке одного способа построения тел свидетельств прогнозных экспертных оценок с учетом исторической информации о прогнозах, агрегированию этих оценок в рамках теории свидетельств.

Некоторые сведения из теории свидетельств

В этой работе будем рассматривать тела свидетельств только на вещественной оси \mathbb{R} . Поэтому приведем необходимые сведения из теории свидетельств³³⁹ применительно к этому случаю. Пусть X — некоторый промежуток вещественной оси \mathbb{R} , A_X — множество всех отрезков на X и A — конечное подмножество множества A_X . На A_X определена некоторая неотрицательная функция множеств $m: A_X \rightarrow [0,1]$,

³³⁴ Dempster A.P. Upper and lower probabilities induced by multivalued mapping// Ann. Math. Statist. – 1967. – 38. – P. 325–339.

³³⁵ Shafer G. A mathematical theory of evidence. – Princeton Univ. Press. – 1976.

³³⁶ Xu Y., Wu L., Wu X., Xu Z. Belief Fusion of Predictions of Industries in China's Stock Market// In: Cuzzolin, F. (ed.): BELIEF 2014. – 2014. – LNAI 8764. – P. 348–355.

³³⁷ Kutynina E., Lepskiy A. Aggregation of Forecasts and Recommendations of Financial Analysts in the Framework of Evidence Theory// In: Kacprzyk, J. et al. (eds.) Advances in Intelligent Systems and Computing. – 2018. – V. 642. – Springer, Cham. – P. 370–381.

³³⁸ Bronevich A., Lepskiy A., Penikas H. The Application of Conflict Measure to Estimating Incoherence of Analyst's Forecasts about the Cost of Shares of Russian Companies// Procedia Computer Science. – 2015. – 55, P. 1113–1122.

³³⁹ Dempster A.P. Upper and lower probabilities induced by multivalued mapping// Ann. Math. Statist. – 1967. – 38. – P. 325–339.

Shafer G. A mathematical theory of evidence. – Princeton Univ. Press. – 1976.

удовлетворяющая условию нормировки $\sum_{A \in A} m(A) = 1$. Без ограничения общности будем считать, что $m(A) > 0 \Leftrightarrow A \in A$. В этом случае A называют множеством фокальных элементов, m — функцией масс, а пару $F = (A, m)$ — телом свидетельств на X . Тело свидетельств задает информацию о степени принадлежности истинной альтернативы какому-либо фокальному элементу. Частными случаями тел свидетельств являются: 1) категоричное свидетельство вида $F_A = (A, 1)$; 2) бессодержательное свидетельство $F_X = (X, 1)$. Произвольное тело свидетельств $F = (A, m)$ можно представить в виде $F = \sum_{A \in A} m(A)F_A$. Тело свидетельств вида $F_A^m = (1 - m)F_A + mF_X$, $m \in [0, 1]$ называется простым.

В теории свидетельств, в частности, рассматриваются задачи анализа противоречивости информации из разных источников³⁴⁰ и агрегирование такой информации. Пусть два независимых источника информации описываются двумя телами свидетельств $F_1 = (A_1, m_1)$ и $F_2 = (A_2, m_2)$.

Для оценивания противоречивости (конфликтности) тел свидетельств F_1 и F_2 будем использовать меру

$$Con(F_1, F_2) = \sum_{A \in A_1, B \in A_2} \gamma(A, B)m_1(A)m_2(B), \quad (44)$$

где $\gamma(A, B) = 1 - s(A, B)$ и

$s(A, B)$ — коэффициент сходства, удовлетворяющий условиям:

1) $0 \leq s(A, B) \leq 1$;

2) $s(A, B) = 0$, если $A \cap B = \emptyset$;

3) $s(A, A) = 1$.

³⁴⁰ Lepskiy A. Analysis of Information Inconsistency in Belief Function Theory. Part I External Conflict// Control Sciences. – 2021. – 5. – P. 2–16.

Примером такого коэффициента является индекс Жаккара (Jaccard index)

$$s(A, B) = \frac{L(A \cap B)}{L(A \cup B)},$$

который и будем использовать ниже, где $L(C)$ — длина отрезка $C \subseteq \mathbb{R}$ (сумма длин, если C — объединение нескольких отрезков).

С мерой конфликта (1) связано следующее конъюнктивное правило агрегирования свидетельств $F_1 \otimes F_2 = (\mathcal{A}, m)$, где

$$m(C) = \frac{1}{K} \sum_{A \cap B = C} s(A, B) m_1(A) m_2(B), \quad (45)$$

если $K = 1 - Con(F_1, F_2) \neq 0$. Это так называемое центральное правило комбинирования Цанга (Zhang's center combination rule) (Zhang)³⁴¹.

Построение тел свидетельств прогнозов

Пусть $x(t)$ — некоторый показатель, зависящий от времени. Например, это может быть макроэкономический показатель: ВВП, стоимость нефти, инфляция и пр. Предположим, что некоторый эксперт в момент времени t_{i-1} делал прогноз f_i о значениях этого показателя в момент времени t_i , а $x_i = x(t_i)$ — реальное значение показателя в момент времени t_i , $i=1, \dots, N$. В результате мы имеем две выборки: $\{f_i\}_{i=1}^N$ и реальных значений $\{x_i\}_{i=1}^N$ показателя за N предшествующие моменты времени. Считаем, что $t_1 < \dots < t_N$.

Предположим, что эксперт в момент времени t_N сделал прогноз f_{N+1} о значениях показателя в момент времени t_{N+1} . Необходимо сформировать тело свидетельств, которое отражало бы информацию о прогнозе с учетом исторической информации о предшествующих прогнозах этого эксперта.

Будем искать тело свидетельств в виде простой структуры доверия

³⁴¹ Zhang L. Representation, independence and combination of evidence in the Dempster-Shafer theory// In: Yager, R.R. et al. (eds.) Adv. in the Dempster-Shafer Theory of Evidence. – 1994. – P. 51–69. – John Wiley & Sons, NY.

$$F_{[l,r]}^m = mF_{[l,r]} + (1-m)F_X, \quad (46)$$

где $[l,r]$ — промежуток, содержащий истинное значение показателя со степенью доверия $m \in [0,1]$,

X — множество всех возможных значений показателя.

Промежуток $[l,r]$ получим из прогнозного значения f_{N+1} путем его «размытия» с учетом исторической информации о предшествующих прогнозах. Степень доверия m получим из оценки надежности прогноза.

Статистика смещений экспертных оценок

С выборками $\{f_i\}_{i=1}^N$ и $\{x_i\}_{i=1}^N$ можно связать выборку $\Delta = \{\delta_i\}_{i=1}^N$ абсолютных смещений прогнозных значений

$$\delta_i = x_i - f_i, \quad i=1,\dots,N$$

для безразмерных показателей (процент прироста ВВП, процент инфляции и пр.) или выборку относительных смещений

$$\delta_i = \frac{x_i - f_i}{x_i}, \quad i=1,\dots,N.$$

Ниже рассмотрим только случай безразмерных показателей и абсолютных смещений. Случай относительных смещений рассматривается аналогично.

Кроме того, будем рассматривать выборочное среднее (относительное) смещение

$$\bar{\delta} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \delta_i$$

и выборочное среднее квадратичное отклонение смещений

$$s = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\delta_i - \bar{\delta})^2}$$

Формирование фокальных элементов и оценивание их масс

Для «размытия» точечных значений $\{f_i\}_{i=1}^N$ можно построить соответствующий доверительный интервал, используя распределения Стьюдента.

Но ниже мы рассмотрим другой подход, который можно назвать оптимизационным.

Будем искать отрезки $\{[l_i, r_i]\}_{i=1}^N$, $i=1, \dots, N$ в виде

$$\begin{cases} l_i = f_i + \bar{\delta} - as, \\ r_i = f_i + \bar{\delta} + bs, \end{cases} \quad (47)$$

где $a, b \geq 0$ находятся из условия

$$x_i \in [l_i, r_i] \Leftrightarrow \tilde{x}_i = x_i - f_i - \bar{\delta} \in [-as, bs], \quad i=1, \dots, N \quad (48)$$

и условия минимизации некоторого критерия. Например, в качестве критерия может быть выбрана длина отрезка $[l_i, r_i]$ (все отрезки равны по длине)

$$L(a, b) = r_i - l_i = (a + b)s \rightarrow \min \quad (49)$$

Нетрудно видеть, что решением задачи (48), (49) будут границы

$$a_0 = \max \left\{ 0, \max_{1 \leq i \leq N} \left\{ \frac{\bar{\delta} - \delta_i}{s} \right\} \right\}, \quad b_0 = \max \left\{ 0, \max_{1 \leq i \leq N} \left\{ \frac{\delta_i - \bar{\delta}}{s} \right\} \right\}. \quad (50)$$

Заметим, что в оптимизационном подходе условие (48) является жестким. Поэтому такой способ размытия будет сильно неустойчивым к выбросам данных. Робастность оптимизационного алгоритма может быть достигнута, если вместо условия (48) использовать «мягкое» условие

$$l_i - \xi_i^- \leq x_i \leq r_i + \xi_i^+, \quad i=1, \dots, N, \quad (51)$$

где вспомогательные переменные $\xi_i^- \geq 0, \xi_i^+ \geq 0$ имеют смысл величины ошибки «выхода» x_i за пределы промежутка $[l_i, r_i]$, $i=1, \dots, N$.

Тогда задача «мягкой» оптимизации нахождения границ промежутков размытия $[l_i, r_i]$, $i=1, \dots, N$ может быть поставлена так: необходимо найти $a, b, \xi^- = (\xi_i^-)$, $\xi^+ = (\xi_i^+)$, которые удовлетворяли бы условиям (47), (51) и минимизировали бы функционал

$$G(a, b, \xi^-, \xi^+) = L(a, b) + c \sum_{i=1}^N (\xi_i^- + \xi_i^+), \quad (52)$$

где слагаемое $\sum_{i=1}^N (\xi_i^- + \xi_i^+)$ характеризует штраф за суммарную ошибку выхода прогнозных значений за пределы промежутков $[l_i, r_i]$, $i=1, \dots, N$, $c \geq 0$ — параметр, регулирующий отношение между минимизацией длины отрезка $L(a, b)$ и штрафом за непопадание в него.

Заметим, что этот метод «мягкой» оптимизации аналогичен известному методу SVR регрессии (Drucker et al)³⁴².

Преимуществом оптимизационного подхода по сравнению со статистическим является то, что в этом случае мы получаем, вообще говоря, разные «допуски» a и b , учитывающие несимметричность прогнозных значений относительно реальных.

В качестве оценки функции масс, отражающей степень принадлежности истинного значения прогнозному интервалу, можно взять относительную частоту попадания реальных значений показателя x_i в промежутки $[l_i, r_i]$, $i=1, \dots, N$:

$$m = \frac{|\{i : x_i \in [l_i, r_i], i=1, \dots, N\}|}{N} = \frac{|\{\tilde{x}_i \in [-as, bs], i=1, \dots, N\}|}{N}. \quad (53)$$

Оптимизация тела свидетельств

В результате «размытия» прогнозного значения f_{N+1} и оценивания массы получим тело свидетельств вида (3). Если используется непараметрическое оценивание массы вида (10) и оптимизационное «мягкое» размытие (9), то тело свидетельств F будет зависеть только от одного параметра $c \geq 0$. $F = F(c)$. Этот параметр можно оценить, вводя дополнительные ограничения на тело свидетельств F . В данной работе в качестве такого ограничения рассмотрим минимизацию меры неточности информации, задаваемой телом свидетельств F . Существуют разные способы оценивания неточности тел свидетельств (см., например, Bronevich & Lepskiy³⁴³). Ниже в качестве меры неточности будем использовать обобщенную кардинальность (cardinality), введенную в Dubois & Prade³⁴⁴, которая для тела свидетельств $F = (A, m)$ на конечном базовом множестве X определялась как $H(F) = \sum_{A \in A} m(A)|A|$. На базовом множестве $X \subseteq \mathbb{R}$ для фокального

³⁴² Drucker H., Burges C.J.C., Kaufman L., Smola A., Vapnik V. Support Vector Regression Machines// Advances in Neural Information Processing Systems. – 1997. – 9. – P. 155–161.

³⁴³ Bronevich A., Lepskiy A. Imprecision indices: axiomatic, properties and applications// Intern. J. of General Systems. – 2015. – 44(7-8). – P. 812–832.

³⁴⁴ Dubois D., Prade H. Consonant approximations of belief measures// International Journal of Approximate Reasoning. – 1990. – 4. – P. 419–449.

элемента-промежутка $A = [l, r]$ вместо мощности $|A|$ будем рассматривать длину этого промежутка $L(A)$.

Из (9) следует, что при увеличении параметра $c \geq 0$ длина оптимального промежутка $L(c) = (a + b)s$ не убывает. В частности, $L(c) \rightarrow L_{\max} = (a_0 + b_0)s$ при $c \rightarrow \infty$ («жесткая» оптимизация) и $L(c) \rightarrow 0$ при $c \rightarrow 0$.

Если считать, что точки $\{\tilde{x}_i\}$ являются выборочными значениями некоторой случайной величины θ , то для большого N функция масс, вычисляемая по формуле (53), будет приближенно равна вероятности $m \approx P\{\theta \in [-as, bs]\}$. В частности, для равномерного распределения точек на отрезке $[-a_0 s, b_0 s]$ получим, что $m = m(c) \approx \frac{L(c)}{L_{\max}}$. В этом случае мера неточности $H(F)$ будет приближенно равна

$$H(F) = \frac{L^2(c)}{L_{\max}} + \left(1 - \frac{L(c)}{L_{\max}}\right)L(X), \quad 0 \leq L(c) \leq L_{\max}. \quad (54)$$

Нетрудно видеть, что оптимальное значение c_{opt} , минимизирующее меру $H(F)$, должно удовлетворять условию $L(c_{opt}) = \frac{L(X)}{2}$, если $L(X) \leq 2L_{\max}$ и $L(c_{opt}) = L_{\max}$ в противном случае. На практике оптимальное значение c_{opt} можно найти, построив график зависимости $H(F(c))$.

Из приведенных выше рассуждений следует, что для «мягкой» оптимизации и в случае равномерного распределения точек $\{\tilde{x}_i\}$ базовый промежуток X должен быть таким, чтобы он содержал все эти точки и его длина удовлетворяла условию:

$$L_{\max} \leq L(X) \leq 2L_{\max}. \quad (55)$$

Если предположить, что выборочные точки $\{\tilde{x}_i\}$ распределены по нормальному закону $N(\bar{\delta}, s^2)$, то

$$m \approx P\{\theta \in [-as, bs]\} = \Phi(a) + \Phi(b), \quad (56)$$

где $\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt$ — функция Лапласа. Тогда мера неточности $H(F)$ будет приближенно равна

$$H(F) = (\Phi(a) + \Phi(b))(a + b)s + (1 - \Phi(a) - \Phi(b))L(X). \quad (57)$$

Можно показать, что эта функция достигает глобального минимума в точке (a_{opt}, b_{opt}) , где $a = a_{opt} = b_{opt}$ является единственным корнем уравнения

$$2\Phi(a)s = \Phi'(a)(L(X) - 2as), \text{ если } 0 \leq 2as \leq L(X). \quad (58)$$

Выбор и агрегирование экспертных оценок

Предположим, что есть M прогнозов $f_{N+1}^{(k)}$, $k = 1, \dots, M$ о значениях рассматриваемого показателя в момент времени t_{N+1} и историческая информация о прошлых прогнозах, полученных из разных независимых источников. По этой информации и для каждого источника можно построить тела свидетельств F_k , $k = 1, \dots, M$ о новом прогнозе. Требуется выбрать несколько тел свидетельств для агрегирования. При этом анализ конфликтности источников информации является одним из основных методов принятия решения о выборе источников для агрегирования.

Общая схема агрегирования экспертных прогнозов

1) Для каждого k -го источника информации найдем среднее смещение $\bar{\delta}^{(k)}$, выборочное среднее квадратичное отклонение $s^{(k)}$, параметры границ оптимальных промежутков $a_{opt}^{(k)}, b_{opt}^{(k)}$ (т.е. значения a и b при оптимальном значении c_{opt} , функции масс $m_k, k = 1, \dots, M$.

2) Для каждого k -го прогнозного значения $f_{N+1}^{(k)}, k = 1, \dots, M$, сформируем простые тела свидетельств нового прогноза вида $F_k = F_{[l_k, r_k]}^{m_k}$, где

$$\begin{cases} l_k = f_{N+1}^{(k)} + \bar{\delta}^{(k)} - a_{opt}^{(k)} s^{(k)}, \\ r_k = f_{N+1}^{(k)} + \bar{\delta}^{(k)} + b_{opt}^{(k)} s^{(k)}, \end{cases}$$

$$X = \text{con} \left\{ \bigcup_{k=1}^M [l_k, r_k] \right\}, \text{con} — \text{минимальная выпуклая оболочка.}$$

3) Найдем значения попарных конфликтов $Con(F_k, F_p)$, $k = 1, \dots, M-1$, $p = k+1, \dots, M$ по формуле (1).

4) Пару тел свидетельств с минимальным конфликтом агрегируем в новое тело свидетельств по формуле (2).

5) Численный пример

Описание данных

Применим описанную выше методику формирования тел свидетельств и выбора источников информации для агрегирования на примере прогнозов о темпе роста ВВП России в 2010–2019 годах. Источниками прогнозов являются (CDI): 1) Международный валютный фонд (IMF); 2) Институт центра развития НИУ ВШЭ (HSE Centre of Development Institute, HSE)³⁴⁵; 3) Минэкономразвития РФ (MED). Прогнозные и реальные значения темпа роста ВВП приведена в Таблице 18, а соответствующие графики — на рисунке 17.

³⁴⁵ Bulletin of macroeconomic forecasts of the HSE Centre of Development Institute URL: https://dcenter.hse.ru/consensus_forecast_archive (дата обращения: 30.08.2022).

Таблица 18 — Темп роста и прогнозы ВВП России в 2010–2019

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Рост ВВП	4,5	4,3	4,0	1,8	0,7	-2,0	0,2	1,8	2,8	2,2
IMF	1,5	4,8	3,5	3,8	2,0	0,5	-1,0	1,0	1,6	1,6
HSE	2,6	4,0	3,5	3,2	2,1	0,2	-0,7	1,0	1,7	1,4
MED	1,6	4,2	3,4	3,7	3,0	1,2	-0,6	1,0	2,1	1,3

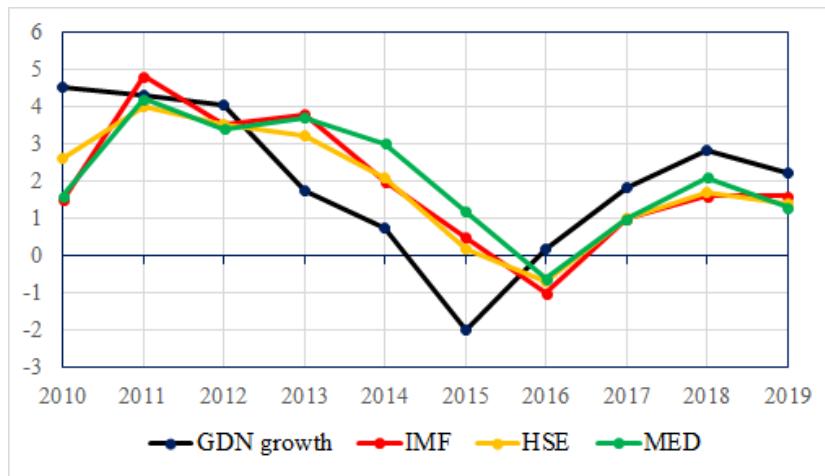


Рисунок 17 – Реальный ВВП и прогнозы, % прироста

Построение тел свидетельств-прогнозов

Для прогнозных значений 2019 года построим соответствующие тела свидетельств, используя статистику 2010–2018 годов и методологию, описанную выше («мягкая» оптимизация и непараметрическое оценивание функции масс).

В качестве базового промежутка на этапе «размытия» выбран отрезок $X = [-3,5; 3,5]$, который содержит все прогнозные точки $\{\tilde{x}_i\}$ (после удаления тренда и среднего смещения) всех источников, и его длина удовлетворяет условию (11) для всех трех источников.

Графики зависимостей меры неточности $H(F(c))$ прогнозов от значений параметра c для разных источников приведены на рисунке 18.

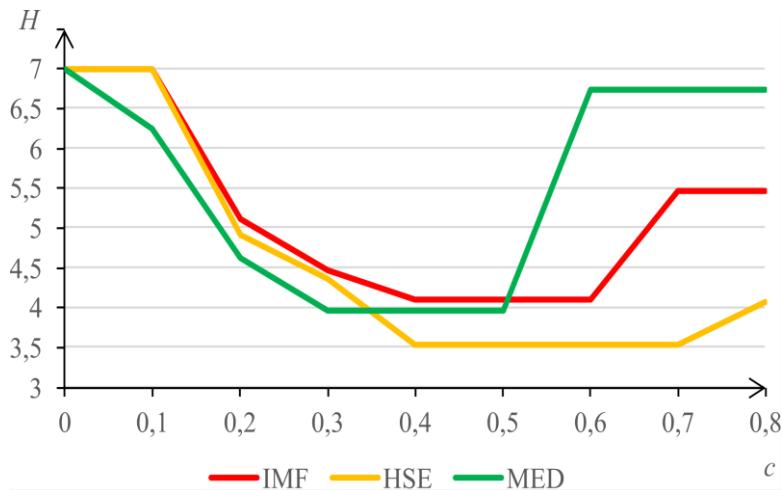


Рисунок 18 – Зависимости меры неточности $H(F(c))$ от значений параметра c

Результаты «жесткого» и «мягкого» оптимизационных «размытий» точечных прогнозов 2019 года и непараметрического оценивания масс приведены в Таблице 19.

Здесь $[-a_0 s, b_0 s]$, $[-a_{opt} s, b_{opt} s]$ — промежутки «жесткого» и «мягкого» оптимальных размытий точечного значения \tilde{x}_N (после удаления тренда и среднего смещения) соответственно.

Таблица 19 — Результаты «размытий» точечных прогнозов 2019 года и оценивания масс

	$\bar{\delta}$	s	$-a_0 s$	$b_0 s$	$-a_{opt} s$	$b_{opt} s$	m	H	c_{opt}
IMF	0,05	1,16	-2,53	2,95	-2,1	1,16	0,78	4,08	$0,4 \div 0,6$
HSE	0,06	1,3	-2,24	1,84	-1,51	1,04	0,78	3,54	$0,4 \div 0,7$
MED	-0,16	1,81	-3,01	3,06	-2,11	1,0	0,78	3,96	$0,3 \div 0,5$

Таким образом, мы имеем три прогноза-свидетельства:

$$F_1 = 0,78F_{[-0,45;2,8]} + 0,12F_X, \quad F_2 = 0,78F_{[-0,05;2,5]} + 0,12F_X,$$

$$F_3 = 0,78F_{[-0,96;2,12]} + 0,12F_X,$$

которые будем рассматривать теперь на базовом множестве $X = [-1, 3]$.

Агрегирование прогнозов

Применим общую схему агрегирования прогнозов. Матрица попарных конфликтов $Con = \{Con(F_k, F_p)\}$ будет равна

$$Con = \begin{pmatrix} 0,064 & 0,226 & 0,265 \\ 0,226 & 0,125 & 0,329 \\ 0,265 & 0,329 & 0,079 \end{pmatrix}. \quad (59)$$

Наименьший конфликт — у прогнозов IMF и HSE. Но найдем агрегирование всех трех пар — получим (1 – IMF, 2 – HSE, 3 – DEM):

$$F_{12} = 0,76F_{[-0,05;2,5]} + 0,18F_{[-0,45;2,8]} + 0,06F_X, \quad (60)$$

$$F_{13} = 0,56F_{[-0,45;2,12]} + 0,19F_{[-0,45;2,8]} + 0,18F_{[-0,96;2,12]} + 0,07F_X, \quad (61)$$

$$F_{23} = 0,56F_{[-0,05;2,12]} + 0,16F_{[-0,05;2,5]} + 0,2F_{[-0,96;2,12]} + 0,08F_X. \quad (62)$$

Для оценивания качества агрегирования найдем изменение расстояния между фактическим значением показателя, прогнозными значениями до агрегирования и после агрегирования.

Для этого будем использовать меру конфликта $Con(F_\tau, F)$ между телом свидетельств-прогнозом $F = (B, m)$ и категоричным свидетельством F_τ — τ -размытием реального значения x_{N+1} (т. е. $F_\tau = F_{U_\tau(x_{N+1})}$, где $U_\tau(x) = [x - \tau, x + \tau]$, $\tau > 0$) — некоторый параметр. Имеем

$$Con(F_\tau, F) = 1 - \sum_{B \in \mathcal{B}} s(U_\tau(x_{N+1}), B)m(B) \quad . \quad (63)$$

Если $x_{N+1} \notin \partial B \quad \forall B \in \mathcal{B}$ и $\tau > 0$ такое, что $U_\tau(x_{N+1}) \subseteq B$, если $x_{N+1} \in B$, то

$$Con(F_{U_\tau(x_{N+1})}, F) = 1 - 2\tau P_F(x_{N+1}), \quad (64)$$

$$P_F(x) = \sum_{B \in \mathcal{B}: x \in B} \frac{m(B)}{|B|} = \frac{1}{2\tau} (1 - Con(F_{U_\tau(x)}, F))$$

где — плотность

согласованности свидетельства-прогноза и свидетельства реального значения. Заметим, что для конечного множества X эта величина имеет смысл так называемой пигнистической вероятности (Smets & Kennes)³⁴⁶. Поэтому величину $P_F(x_{N+1})$, независящую от «размытия» $\tau > 0$, будем использовать как степень близости тела свидетельств-прогноза $F = (B, m)$ к реальному значению x_{N+1} .

Кроме того, для оценивания качества агрегирования найдем изменение меры неточности H .

В Таблице 20 приведены значения величин $P_F(x_{N+1})$ и $H(F)$ соответственно для всех свидетельств F_1, F_2, F_3 и их агрегирований $F_1 \otimes F_2, F_1 \otimes F_3, F_2 \otimes F_3$.

Таблица 20 — Близость прогнозов к точному значению и неточности прогнозов

	F_1	F_2	F_3	$F_1 \otimes F_2$	$F_1 \otimes F_3$	$F_2 \otimes F_3$
$P_F(x_{N+1})$	0,294	0,361	0,055	0,368	0,075	0,083
$H(F)$	3,42	2,87	3,28	2,72	2,89	2,54

³⁴⁶ Smets P., Kennes R. The Transferable Belief Model// Artificial Intelligence. – 1994. – 66. – P. 191–243.

Нетрудно видеть, что после агрегирования близость прогноза к точному значению немного возросла относительно меры P_F и достигается на комбинировании наименее конфликтной пары тел свидетельств F_1 и F_2 . Кроме того, точность прогнозов после комбинирования всех пар также увеличилась.

На основе метода SVR регрессии предложена процедура оптимального «размытия» точечных значений и построения тел свидетельств, учитывающая историческую прогностическую информацию источника. Предложена процедура нахождения оптимальных значений параметров процедуры «размытия» на основе минимизации меры неточности полученного тела свидетельств. Предложена процедура выбора прогнозов (тел свидетельств) для комбинирования на основе минимизации меры противоречивости между телами свидетельств. Применимость указанных процедур продемонстрирована на примере выбора для агрегирования прогнозов о росте ВВП.

1.8.4 Совершенствование интервальной модификации анализа охвата данных с учетом объектов, которые лежат ниже границы наилучшей эффективности

К сожалению, чрезвычайные ситуации, как природные, так и техногенные, являются неотъемлемой частью современного мира. Они постоянно сопровождают людей, угрожают их жизни, приносят боль и страдания, повреждают и уничтожают материальные ценности и наносят огромный, часто непоправимый ущерб окружающей среде, обществу и цивилизации.

За последние пару десятилетий число стихийных бедствий во всем мире увеличилось. В результате число жертв и экономических потерь также растет (Ahmad & Sadia)³⁴⁷. Глобальный ущерб от стихийных бедствий в среднем составляет около 250 миллиардов долларов (рисунок 19). Кроме того, масштабы антропогенной деятельности в современном обществе и сложность технологических процессов возрастают при использовании значительного количества взрывчатых, радиоактивных и химически опасных веществ. Всё это подчеркивает важность проблем, связанных с поддержанием безопасности и сохранением экономического потенциала и окружающей среды в чрезвычайных ситуациях.

³⁴⁷ Ahmad J., Sadia H. Natural Disasters Assessment, Risk Management, and Global Health Impact, Handbook of Global Health. – 2020.

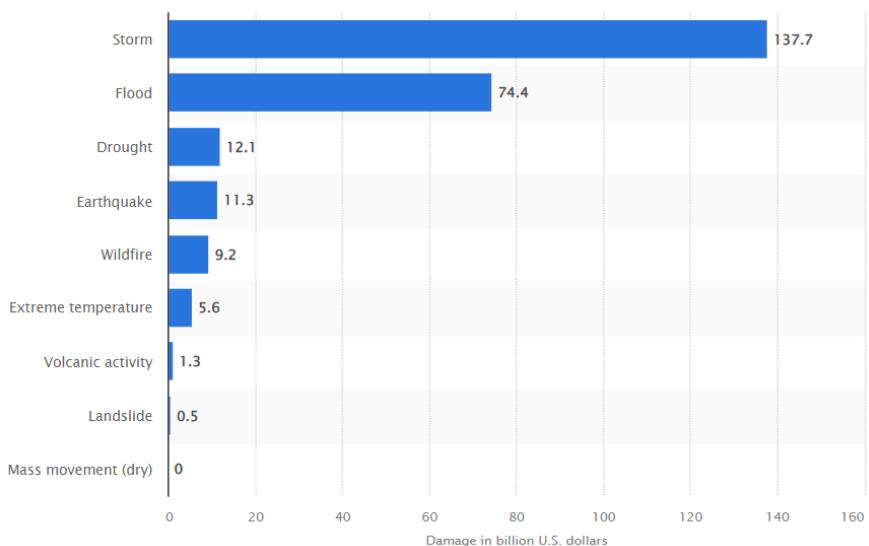


Рисунок 19 –Ущерб от разных типов катастроф в 2021 году.

Как видно из данных, глобально штормы являются самой серьезной угрозой в мире. Однако в разных местах климат и природные условия различаются. И для России одной из главных проблем среди всех стихийных бедствий являются лесные пожары.

Россия по праву считается лесной страной, здесь расположено примерно 20% всех лесов мира, половина всех хвойных лесов. Леса занимают около 50% от общей площади Российской Федерации и составляют до 1,2 миллиарда гектаров.

Ежегодно на территории России регистрируется от 10 до 35 тысяч лесных пожаров, охватывающих площадь от 0,5 до 2,5 миллионов гектаров. Принимая во внимание выгорание огромного количества лесов на незащищенных территориях в северных районах Сибири и Дальнего Востока, общая площадь, охваченная пожарами, колеблется от 2,0 до 5,5 миллионов гектаров.

И в такой ситуации становится критически важным оценить эффективность борьбы с пожарами в разных регионах России и распространить наиболее эффективные модели на всей территории страны.

Поскольку в Huang et al³⁴⁸ утверждалось, что количественная оценка очень чувствительна к важности различных факторов, было решено использовать подход линейного программирования для оценки эффективности. Аналогичный подход был

³⁴⁸ Huang J., Liu Y., Ma L. Assessment of regional vulnerability to natural hazards in China using a DEA model, Int. Journal Disaster Risk Science. – 2011. – N. 2(2). – C. 41-48.

предложен Фарреллом³⁴⁹ и заключается в использовании отношения взвешенных сумм выходных и входных характеристик объекта в качестве его эффективности.

$$efficiency = \frac{\sum_{i=1}^M u_i y_{ik}}{\sum_{j=1}^N v_j x_{jk}} \quad (65)$$

Позже была разработана новая методология, основанная на этой идее, – оболочечный анализ данных (ОАД)³⁵⁰. В настоящее время этот подход широко используется для оценки эффективности во многих сферах: производителями станков³⁵¹, магазинами³⁵², университетами³⁵³, художественными галереями и музеями³⁵⁴ и т.д.

Основная часть

Учитывая все современные тенденции в области ОАД и отбрасывая все стохастические и вероятностные подходы, основанные на теории нечёткой логики^{355,356}, мы предлагаем использовать интервальные модификации ОАД³⁵⁷.

³⁴⁹ Farrell M.J. The Measurement of Productive Efficiency, Journal of the Royal Statistical Society. – 1957. – N. 120(3). – C. 253-290.

³⁵⁰ Charnes A., Cooper W.W., Rhodes E. Measuring the Efficiency of Decision Making Units, European Journal of Operational Research. – 1978. – N. 2. – C. 429-444.

³⁵¹ Chen J.-L. Business Efficiency Evaluation of Machine Tool Manufacturers by Data Envelopment Analysis (DEA): A Case Study of Taiwanese Listed Machine Tool Companies, International Business Research. – 2021. – N. 14(12). – C. 125-134.

³⁵² Segota A. Evaluating shops efficiency using data envelopment analysis: Categorical approach, Proceedings of Rijeka School of Economics. – 2008. – N. 26(2). – C. 325-343.

³⁵³ Saljooghi F.H., Rayeni M.M. Network Data Envelopment Analysis Model for Estimating Efficiency and Productivity in Universities, Journal of Computer Science. – 2010. – N. 6(11). – C. 1252-1257.

³⁵⁴ Vrabková I., Bečica J. The Technical and Allocative Efficiency of the Regional Public Galleries in the Czech Republic, SAGE Open. – 2021. – N. 11(2). – C. 1-15.

³⁵⁵ Bagheri M., Ebrahimnejad A., Razavyan S., Lotfi F.H., Malekmohammadi N. Solving fuzzy multi-objective shortest path problem based on data envelopment analysis approach, Complex & Intelligent Systems. – 2021. – N. 7(4).

³⁵⁶ Namakin A., Najafi S.E., Fallah M., Javadi M. A New Evaluation for Solving the Fully Fuzzy Data Envelopment Analysis with Z-Numbers, Symmetry. – 2018. – N. 10. – C. 384.

³⁵⁷ Aleskerov F. T., Demin S. DEA for the Assessment of Regions' Ability to Cope with Disasters, Dynamics of Disasters. Impact, Risk, Resilience, and Solutions. – 2021. – N. 2. – C. 31-37.

Основная идея этого подхода состоит в том, что некоторые объекты могут быть близки к границе эффективности. При применении классической версии ОАД, они не получат 100% эффективности. В соответствии с интервальнойной модификацией "оптимальной трубки" мы присваиваем 100%-ную эффективность не только объектам, находящимся строго на границе наилучшей эффективности, но и тем, кто несравним с ними.

Однако этот метод не обращает внимания на объекты, которые могут находиться вблизи границы эффективности, но далеки от оптимальных объектов (например, объект F на рисунке 20).

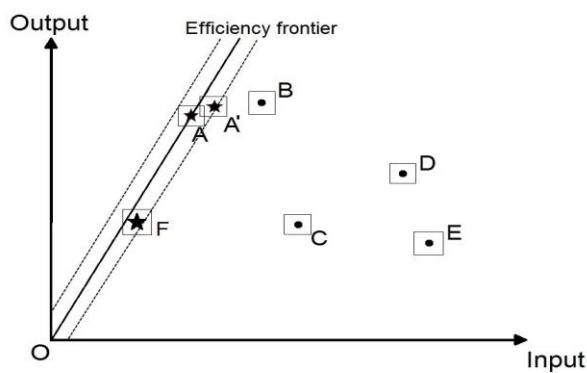


Рисунок 20 – Пример применения ОАД с «оптимальной трубкой»

Поэтому мы предлагаем изменить процедуру выбора оптимальных объектов. Для этой цели вместо поиска объектов, которые несравнимы со 100% эффективными объектами, мы выбираем все объекты, чья наилучшая версия с учётом возможных неточностей в данных (минимальные входные и максимальные выходные параметры) лежит выше построенной классическим ОАД границы эффективности.

Для апробации мы сравнили организацию противопожарных мероприятий в разных регионах России. Достигнутые результаты превентивных мер, безусловно, связаны с произошедшими лесными пожарами. Однако важно учитывать не только количество возгораний, но и их размеры.

Иногда ущерб от различных катастроф измеряется экономическими потерями или количеством раненых и погибших, однако здесь будет трудно оценить даже приблизительные данные из-за огромных территорий. Поэтому вместо этих параметров мы рассматриваем общую площадь, охваченную лесными пожарами.

В свою очередь, в качестве входных параметров планировалось использовать общие бюджетные расходы на противопожарные мероприятия. Однако, к сожалению, эти данные оказались недоступны. И поэтому, пришлось использовать наиболее близкие бюджетные

категории - инвестиции в сельское хозяйство и лесное хозяйство, а также расходы на охрану окружающей среды.

Кроме того, важно работать с выборкой регионов таким образом, чтобы все исследуемые субъекты сталкивались с проблемой лесных пожаров. Потому что в противном случае некоторые районы без проблем с пожарной обстановкой будут иметь слишком высокие показатели, в то время как большинство регионов получат сниженные и слабо различимые оценки эффективности. По этой причине были проанализированы только 46 регионов Российской Федерации, где произошло не менее 10 лесных пожаров.

Применяя классическую и модифицированную версии ОАД, мы получили две оценки эффективности для каждого региона. На их основе были построены рейтинги российских регионов.

Как и ожидалось, оба метода дали схожие ранжирования с незначительными различиями. Основное отличие заключается в том, что модификация ОАД с «оптимальной трубкой» оценивает более лояльно и даёт более высокие оценки эффективности, поскольку присваивает 100% результат некоторым регионам, которые получают более низкие значения в соответствии с классическим ОАД.

Анализируя полученные рейтинги, важно изучить лучших и худших представителей выборки. Если говорить о лидерах, то Тамбовская и Самарская области - небольшие регионы, в то время как на Чукотке преобладает горный рельеф, и только в прибрежной части, а также по долинам рек есть небольшие территории, занятые низменностями и лесами. Поэтому этим регионам довольно легко справиться с лесными пожарами на своей территории.

Между тем, худшие регионы – Красноярский край, Республика Саха (Якутия), Иркутская и Свердловская области – получают очень низкую оценку эффективности – менее 2%. В их защиту можно было бы упомянуть, что все эти регионы имеют огромные территории и низкую плотность населения. Например, Республика Саха является крупнейшим в мире субъектом страны (более 3 миллионов квадратных километров) с плотностью населения всего лишь 0,32 человека на км². В таких условиях действительно очень трудно эффективно бороться с лесными пожарами, особенно учитывая, что 80% территории региона покрыто лесами.

По итогам работы можно сказать, что поставленные задачи выполнены в полном объёме. Во-первых, была улучшена интервальная модификация ОАД с «оптимальной трубкой». Во-вторых, была проведена апробация на реальных данных из различных регионов Российской Федерации. Это помогло выяснить, что с учетом возможных неточностей в данных эффективность в некоторых регионах выше по сравнению с

классической моделью ОАД. Между тем, полученные рейтинги регионов схожи, поэтому список лидеров и аутсайдеров остается неизменным.

1.8.5 Метод туннельной кластеризации в задаче анализа паттернов и его реализация в виде человеко-машинной процедуры

Рассмотрен метод туннельной кластеризации. Этот метод объединяет объекты, сходные по внутренней структуре, в группы и основан на математической модели, предложенной Алескеровым в 2007 году. Модель была реализована на Python, а ее визуализация была создана с использованием библиотеки dash. Теперь метод представляет собой человеко-машинную процедуру с возможностью ручного объединения и разделения групп шаблонов.

Динамический паттерн-анализ позволяет проанализировать изменения в поведении объектов с течением времени посредством наблюдения и исследования переходов объектов из одного паттерна в другой и выделение объектов со схожим поведением. Анализ такого поведения для регионов за 2016 – 2021 года позволит выделить группы регионов, схожих по развитию, а также посмотреть, как развивались регионы в период пандемии. Таким образом, целью данной работы является проанализировать структурную близость регионов в каждый момент времени, а также их близость относительно структурных изменений с течением времени.

Данное исследование основано на работах^{358,359}, в которых описан анализ паттернов в статике и динамике, а также на работе Алескеров и др. (2008), в которой динамический метод паттерн-анализа был применен для выявления стереотипов поведения Российских банков.

В Алескеров и др.(б) были рассмотрены несколько примеров применения метода динамической паттерн кластеризации для выявления схожих моделей:

- Поддержки избирателей различных партий при голосовании по округам.
- Функционирования банков Турции и России.

³⁵⁸ Алескеров Ф.Т., Белоусова В.Ю., Егорова Л.В., Миркин Б.Г. Анализ паттернов в статике и динамике, часть 1: Обзор литературы и уточнение понятия // Бизнес-информатика. – 2013. – N 3 (25). – С. 3 – 19

³⁵⁹ Алескеров Ф.Т., Белоусова В.Ю., Егорова Л.В., Миркин Б.Г. Анализ паттернов в статике и динамике, часть 2: Примеры применения к анализу социально-экономических процессов. – 2013. – N 4 (26). – С. 3 – 20

В Алескеров и др.³⁶⁰ с помощью метода динамического паттерн-анализа были выявлены группы устойчивых, неустойчивых и полуустойчивых банков относительно изменения характера их функционирования с течением времени.

Математическая модель паттерн-анализа

Будем считать, что каждый объект – это вектор размера k со значениями от 0 до 1, который можно представить в виде графика на параллельных координатах. Для каждого объекта, его координаты отображаются в параллельных координатах, а соседние точки соединяются отрезками. В результате получается график объекта (пример рисунок 21).

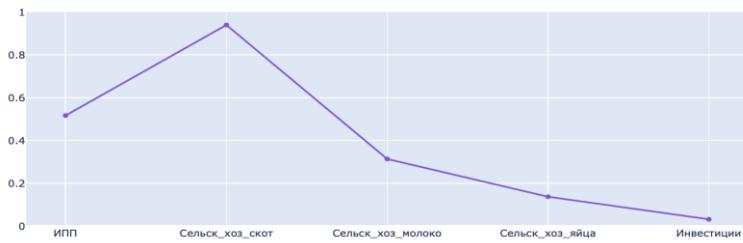


Рисунок 21 – Пример паттерна хозяйственной деятельности региона

Есть два варианта построения паттерна:

- Построение ε -трубки непосредственно на нормированных данных.

Тогда за вектор $v \in R^k$ примем непосредственно вектор данных.

- Построение ε -трубки на тангенсах углов наклонов отрезков графика.

Пусть $u \in R^k$ – вектор данных и $\alpha \in R^k$ – вектор углов наклона соответствующих отрезков графика. Пусть $v \in R^{k-1}$, где

$$v_i = \operatorname{tg} \alpha_i = u_{i+1} - u_i.$$

Далее для вектора v рассчитывается его ε -трубка. Для этого, для каждого параметра v_i рассчитается максимально возможное отклонение $(d_{max})_i$ по правилу:

1) Если ширина трубки от вектора не зависит от максимально возможного отклонения значения этого параметра в кластере, то принимается за 1:

$$(d_{max})_i = 1;$$

2) Иначе максимально возможное отклонение принимается за значение соответствующего параметра:

$$(d_{max})_i = v_i.$$

Далее все значения максимальной ε -трубки умножаются на ε :

$$d = \varepsilon d_{max}.$$

³⁶⁰ Алескеров Ф.Т., Белоусова В.Ю., Сердюк М.Ю., Солодков В.М. Стереотипы поведения российских банков. – 2008. – № 7.

Пусть $K(v)$ – вектора, попавшие в один кластер с v . Тогда

$$u \in K(v) \iff \forall i < \dim(v) \begin{cases} |u_i - v_i| < d_i \\ |u_{i+1} - v_{i+1}| < d_i \end{cases} \quad (66)$$

Алгоритм паттерн-анализа

Входные данные алгоритма:

- 1) $file$ – массив векторов, нормированных от 0 до 1 значений параметров объектов.

Параметры модели кластеризации:

- 1) ϵ – доля от максимально возможного изменения ширины ϵ -трубки;
- 2) $type_of_clustering$ – тип кластеризации:
 - abs , если вектор v строится непосредственно на нормированных данных;
 - tan , если вектор v строится на тангенсах углов наклона соответствующих отрезков;
- 3) d_fix – флаг, характеризующий, зависит ли ширина трубки от значения параметра объекта или нет:
 - $True$, если зависит
 - $False$, если не зависит
- 4) try_times – количество повторений алгоритма кластеризации для последующего выбора лучшей кластеризации.

Выходные данные алгоритма:

- 5) массив номеров паттернов, соответствующих каждому объекту.

Если $type_of_clustering = tan$, то v переопределяется следующим образом:

$$v \in R_{k-1} : v_i = file_{i+1} - file_i. \text{ Иначе } v = file \quad (67)$$

Алгоритм объединения в один паттерн похожих между собой графиков повторяется try_times раз:

Пока есть вектор, для которого паттерн еще не определен:

- 1) выбирается вектор, для которого паттерн все еще не определен;

2) определяется значение $d \in R^{dim(v)}$:

$$(a) d_fix = \text{True} \Rightarrow i < \dim(v) d_i = \varepsilon, \quad (68)$$

$$(b) d_fix = \text{False} \Rightarrow i < \dim(v) d_{max} = \varepsilon v_i \quad (69)$$

3) определяется класс векторов, эквивалентный v

$$K(v) = \{u \in \mathbb{R}^{dim(v)} : \forall i < \dim(v) |u_i - v_i| < d_i, |u_{i+1} - v_{i+1}| < d_i\} \quad (70)$$

4) вычисляется $p_k = \frac{\sum_{u \in K_k} u}{k}$ – средний вектор в каждом кластере;

5) вычисляется функционал для такого разбиения по паттернам:

$$f = \sum_{t,l} (\rho(p_t - p_l)) - \frac{\sum_{u \in K_k} (u - p_k)}{n} \quad (71)$$

Далее среди всех разбиений на кластеры выбирается разбиением с минимальным значением функционала.

Реализация математической модели построения ε -трубки

Технические средства, используемые при реализации алгоритма:

- python 3.11
- numpy 1.23.4
- pandas 1.5.1
- dash 2.7.0
- dash-core-components 2.0.0 • dash-html-components 2.0.0 • dash-table 5.0.0
- Flask 2.2.2
- plotly 5.11.0
- Apache2 HTTP-сервер

Проект состоит из двух файлов:

- app.py
- mathmodel.py

А также из csv-файлов, в которых хранятся обрабатываемые данные.

Файл mathmodel.py подключается к файлу app.py в качестве библиотеки. И содержит в себе реализованный алгоритм паттерн-анализа.

Файл app.py содержит в себе объект класса Dash, к которому применяется метод layout для определения макета приложения.

```
app = Dash(__name__, external_stylesheets=external_stylesheets) app.layout = html.Div(...)
```

Вторая часть app.py состоит из функции обработки обратного вызова

```
@app.callback(
    Output("wrapper", "children"),
    Input("input1", "value"), Input("input2", "value"), Input("input3", "value"),
    Input("input4", "value"), Input('submit-val', 'n_clicks'),
)
def pattern_func(input1, input2, input3, input4, n_clicks)
```

Входные данные:

- input1 – список номеров групп, которые необходимо пересчитать.

Вводится через пробел

- input2 – значение ϵ
- input3 – тип кластеризации
- input4 – флаг, характеризующий, фиксирована ли ширина трубы или нет
- submit-val – кнопка, отвечающая за пересчет всех паттернов

Выходные данные:

- ссылка для скачивания результата работы программы

Паттерны данных визуализируются с помощью функции plotly.graph_objs.Scatter.

В результате проделанной работы был реализован алгоритм кластеризации данных основанный на их внутренней структурной схожести, а также реализована человеко-машинная процедура, позволяющая:

- Провести автоматическую кластеризацию всех данных.
- Вручную менять параметры кластеризации.
- Применять кластеризацию к конкретным группам паттернов.
- Просматривать графики получившихся паттернов.

В перспективе планируется ускорить работу алгоритма и улучшить визуализацию метода. Алгоритм был применен к анализу структурной близости регионов России. Он также может быть применен к анализу мероприятий по предотвращению угроз природного и техногенного характера на региональном уровне и т. д.

1.8.6 Методы и инструменты, используемые для решения проблем принятия решений в условиях глубокой неопределенности

Глубокая неопределенность возникает, когда стороны, принимающие решения, не до конца знают или не могут договориться о возможности альтернативного будущего или о том, каким образом решения или действия связаны с последствиями. Эти неопределенностей естественным образом возникают в связи с такими событиями, как изменение климата, автоматизация и урбанизация. Процесс принятия решений затрудняется в условиях глубокой неопределенности, поскольку последствия решений не могут быть обоснованно предсказаны, и не всегда возможно договориться о желаемых результатах или оценить их значение. Прогнозирование будущих условий и разработка исследовательской модели чрезвычайно сложны, поэтому для решения таких задач необходимо изучить все возможные варианты будущего с различными параметрами.

Например, стихийное бедствие – когда произойдет, каково будет его воздействие на регион, экономику, людей, инфраструктуру и т.д.; финансовый кризис; террористическое нападение и др.

Основные принципы DMDU [Лемперт, Поппер, 2003; Лемперт, 2019]

Принципы DMDU заключаются в следующем:

1) Планируйте несколько вариантов будущего, а не одно будущее. Проверьте эти варианты будущего на предмет рассматриваемой проблемы.

2) Стремитесь к надежным планам, которые хорошо работали во многих вариантах будущего, а не к лучше всех разработанным планам для одного наиболее информированного будущего, и которые должны хорошо работать по широкому спектру показателей.

3) Подготовьте гибкие и адаптируемые планы для повышения устойчивости.

4) Используйте аналитику, чтобы исследовать множество вариантов будущего и возможностей вместо того, чтобы указывать, что делать.

Методы и инструменты, используемые для решения проблем принятия решений в условиях глубокой неопределенности, следующие:

1) Надежное принятие решений (RDM).

2) Адаптивные пути.

RDM – это не единая методология, а серия концепций, процессов и инструментов, которые помогают принимать наилучшие решения, а не делать более точные прогнозы в условиях глубокой неопределенности. Основная цель RDM – помочь директивным органам предсказать или уменьшить неблагоприятные последствия возможных будущих сюрпризов, вызванных факторами, находящимися вне их контроля, и мерами, находящимися под их контролем. Он сочетает в себе анализ решений, планирование на основе допущений, сценарии и исследовательское моделирование для стресс-теста для определения надежных и адаптивных стратегий. Эти инструменты используются для тестирования различных вероятных будущих стратегий и определения надежных и адаптивных стратегий на основе этих стратегий. Чтобы вычислить значение надежности, Розенхед математически определил его как

$$r_i = \frac{n(s_i)}{n(s)}, \quad (72)$$

где s — подмножество альтернативных вариантов, которые в настоящее время считаются хорошими или приемлемыми, а

s_i — подмножество s , которое может быть достигнуто после первоначального принятия решения. Надежность r — это доля наборов решений, которые могут быть использованы после принятия решения, и, поскольку их число выше, лица, принимающие решения, могут иметь больше вариантов в будущем или избежать “узкого места” (bottleneck) в процессе принятия решений.

Например, оценка надежности (например) 0,7 для первоначального набора решений мало говорит о том, следует ли внедрять этот набор решений. Однако имеет смысл говорить о его превосходстве над альтернативным набором решений, надежность которого равна 0,3.

Анализ решений – это метод определения, оценки и действий на основе решений, которые приводят к наиболее благоприятным результатам, путем выявления всех аспектов решений. Для оценки благоприятности различных исходов используются модели, и одной из таких моделей является дерево решений. После построения модели важно определить ожидаемое значение (EV) и оценить, какие решения дают наиболее благоприятный результат, а для вычисления ожидаемого значения требуется вероятность и результирующее значение каждого результата.

Формула для ожидаемого значения задается с помощью

$$EV = (\text{Вероятность } R_1 \times \text{Ожидаемый выигрыш } R_1) + \text{Вероятность } R_2 \times \text{Ожидаемый выигрыш } R_2 \quad (73)$$

где R_1, R_2 - результат.

Планирование, основанное на предположениях (ABP)

Это последовательный процесс, разработанный корпорацией RAND, в котором каждый шаг зависит от предыдущих. Это важный инструмент для повышения адаптивности и надежности существующих планов, а не для создания новых. Включенные в этот процесс этапы:

- 1) Определение важных допущений.
- 2) Выявление уязвимостей допущений.
- 3) Определяющий указатель.
- 4) Определение формирующего действия.
- 5) Определение действия по хеджированию.

Последние три шага зависят от информации, доступной после второго шага, и могут выполняться по отдельности или одновременно. Теперь кратко обсудим эти шаги.

Предположение – это утверждение о будущей характеристики, которое подчеркивает текущие операцию или план организации. Оно может быть описательным, оценочным, прогностическим или исследовательским, неявным и эксплицитным.

Предположение уязвимо, если вероятное событие может привести к его провалу в течение ожидаемого срока действия плана. Эти неудачи затем могут привести к плохим последствиям. Здесь очень важен временной горизонт, установление временного горизонта может привести нас к предположению, что гипотезы уязвимы, а что нет. Например, во-первых, определите вероятные элементы изменений, которые произойдут в ближайшие 25–30 лет, и, во-вторых, сопоставьте элементы изменений с предположениями на первом этапе для выявления уязвимостей.

Указатели — это события или пороговые значения, которые четко указывают на изменения в уязвимости допущений. Не всегда возможно явно указать положение указателя на временном горизонте. Предположение может потребовать нескольких указателей в течение времени горизонта. Для целей маркировки основная проблема с системой показателей заключается в том, что для выбора наиболее важных прогностических показателей обычно требуется длинная история данных о производительности. Например, если компания намерена привлечь 40 миллионов долларов за два года для финансирования завода по производству соков. Тогда один из указателей может привлечь 20 миллионов долларов к концу первого года.

Указатели полезны только в том случае, если их можно вовремя распознать для принятия соответствующих мер.

Формирующее действие является организационным действием, которое должно быть выполнено в текущем цикле планирования для контроля уязвимости принятия нагрузки. Способность изменять предположения, которые являются уязвимыми, обычно направлена на предотвращение негативных последствий. Фактически, цель состоит в том, чтобы уменьшить или устраниć неопределенность в уязвимом предположении, которое несет нагрузку, делающую указатели ненужными. Реклама продукта может быть хорошим формирующим действием, потому что она сохраняет продукт живым в сознании людей.

Действие по хеджированию направлено на определение шагов, которые могут быть предприняты в плане для наилучшей подготовки организации, если уязвимое предположение не сработает. В случае использования сценариев, их создание требует особого внимания к пяти аспектам планирования на основе предположений:

- Направление (назад или вперед во времени).
- Фокус (связь между настоящим и провалом предположений и к чему это приведет).
- Достоверность (следует придавать равное значение всем сценариям).
- Детали (более подробные сценарии всегда лучше).
- Связь с другими сценариями (как связан каждый сценарий из набора сценариев).

Например, покупка страховки от катастрофы. Действия по формированию и хеджированию необязательны.

1.9 Стохастическое моделирование ущерба от реализации слабопредсказуемых событий

На данный момент существующие методы не в состоянии точно спрогнозировать время начала вулканического извержения, а также его мощность. В такой ситуации использование методов классической статистики (подразумевающих, что будущее будет довольно тесно связано с прошлым), может привести к крайне нежелательным результатам (если это предположение не верно). В случаях прогнозирования последствий природных катализмов (таких как землетрясения или извержения вулканов) результаты просчетов могут оказаться особенно тяжелыми, т.к. это может привести не только к разрушениям инфраструктуры и прямым экономическим убыткам, но и не восполнимым потерям человеческих жизней. В задачах принятия решений в условиях глубокой неопределенности, парадигма смещается с предсказания будущего на адаптацию к нему с течением времени по мере накопления новых знаний. Данная парадигма явно признает факт невозможности предсказания будущего в отношении неопределенных событий и подчеркивает необходимость учета этой глубокой неопределенности.

Разработка оригинальных моделей и методов принятия решений по предупреждению и противодействию слабопредсказуемым угрозам, ориентированных на сценарное планирование в условиях глубокой неопределенности, а также стохастическое моделирование ущерба от вулканических извержений, позволит уже сейчас обоснованно начать реализовывать соответствующие политики (краткосрочные и долгосрочные инфраструктурные проекты), которые позволят минимизировать их последствия в будущем.

Типы вулканов

Вулканы рождаются, когда подповерхностная магма, обычно менее плотная, чем окружающая порода, плавно поднимается через локальные системы трещин. Чем ближе магма к поверхности, тем больше снижается давление, это способствует выделению растворенных газов, которые затем приводят к вертикальному извержению (единственное направление, в котором они могут свободно расширяться). Содержание газа и вязкость в магмах сильно различаются. Более газированные, вязкие и низкотемпературные магмы, имеют тенденцию к сильному взрыву. Они рассыпаются на мелкие частицы, которые быстро остывают, превращаясь в тефру. При извержениях менее вязких, более горячих и менее газированных магм, лава пассивно вытекает из жерла, образуя пологие склоны. Получающиеся вследствие этих процессов вулканические формы, подразделяются на 4 основные вида³⁶¹:

Стратовулканы преимущественно имеют форму возвышающихся симметричных конусов (Ключевской, п-ов Камчатка, (“вулкан Ключевской,” n.d.)³⁶²), которые образуются из-за того, что магма, поднимающаяся к поверхности, начинает течь в области пересечения двух вертикальных плоскостей разлома. Т.к. поступление магмы на поверхность обычно не регулярно, то в случае длительных перерывов, следующая её партия будет вынуждена искать другой путь. Таки образом первоначальная коническая форма видоизменяется, и образуются либо поля из многочисленных маленьких конусов, либо большие горы, усеянные ими;

Щитовые вулканы растут в результате многократного излияния незначительных потоков лавы, образуя крупнейшие вулканические сооружения Земли. Их объемы могут превышать объемы стратовулканов на несколько порядков. Например, пологие склоны

³⁶¹ Sigurdsson, H., Houghton, B., McNutt, S., Rymer, H., Stix, J., 2015. The encyclopedia of volcanoes. Elsevier.

³⁶² вулкан Ключевской [WWW Document], n.d. URL <https://volcano.si.edu/volcano.cfm?vn=300260>

широкого гавайского вулкана Мауна-Лоа (“вулкан Мауна-Лоа,” n.d.)³⁶³, возвышающегося на 9 км над морским дном, образуя для стороннего наблюдателя практически горизонтальную поверхность;

Лавовые купола образуются после самых сильных взрывных извержений, когда из жерла начинает медленно выдавливаться вязкая дегазированная магма. Например, подобный купол постепенно рос внутри пробитого кратера камчатского вулкана Безымянный (“вулкан Безымянный,” n.d.)³⁶⁴, образовавшегося во время мощного извержения 1956 года;

Вулканические кальдеры образуются либо в результате внутреннего коллапса полости под вулканом, извергнувшей большой объем магмы, либо из-за взрыва вулканического конуса. Представляет собой циркообразную котловину с крутыми стенками.

В силу разнообразных процессов, формы вулканов постоянно видоизменяются, в течении всей их жизни. Боковой сдвиг полости разлома стратовулкана превращает его в асимметричный сложный вулкан. Слоны или кальдеры могут разрушиться из-за оползней. Кроме того, значительный вклад в этот процесс вносит эрозия. Все эти процессы неизбежно приводят к огромному разнообразию вулканических форм на планете.

Характеристики извержений

Процесс выхода на поверхность вулканических продуктов обычно называют извержениями, но границы этого определения весьма размыты, особенно при анализе исторических данных. Например, выброс пара обычно является лишь побочным продуктом вулканического тепла, и извержением не является, но во время таких событий тефра, составляющая склоны вулкана, может быть разбросана на достаточно большое расстояние, и такое событие по праву будет называться извержением, хотя в нем полностью отсутствует выход свежей магмы и каких бы то ни было её составляющих.

Газ же является несомненным вулканическим продуктом, но слабое непрерывное выделение фумарольных (выходящих из разломов на поверхности) газов, характерное для большинства вулканов при этом извержении не считается. Однако, единоразово может быть выброшено огромное количество газа, как например произошло с выбросами CO₂ в

³⁶³ вулкан Мауна-Лоа [WWW Document], n.d. URL <https://volcano.si.edu/volcano.cfm?vn=332020>

³⁶⁴ вулкан Безымянный [WWW Document], n.d. URL <https://volcano.si.edu/volcano.cfm?vn=300250>

1984 и 1986 годах в Камеруне из вулканического озера Ньос³⁶⁵, что привело к смерти от удушья большого количества людей.

По своей продолжительности, извержения представляют собой непрерывный диапазон. Некоторые делятся не одну тысячу лет³⁶⁶, другие заканчиваются за считанные часы. Например, 10% из тех, для которых известна точная продолжительность, длились не более одного дня, большинство заканчивались менее чем через 3 месяца, и лишь единицы длились более 3х лет. Особое значение для оценки вулканической опасности имеет временной интервал между началом извержения и его кульминационной точкой. И если Кракатау (1883 г.), Сент-Хеленс (1980 г.) и Пинатубо (1991 г.) достигли кульминации лишь через несколько месяцев после начала, то Таравера (1886 г.), Бандай-сан (1888 г.), Гекла (1947 г.) и Шивелуч (1964 г.) – всего через час. Показателен пример крупнейшего в истории взрывного извержения Тамборы в 1815 г.³⁶⁷. Умеренная активность, продолжавшаяся в течение 3х лет, сменилась драматическим извержением, высота пепловых облаков которого оценивалась в 33 км, но даже это не было его кульминацией. После затишья в 5 дней, кульминационное эруптивное облако достигло высоты 44 км, и погрузило все в радиусе 500 км от вулкана в темноту на 3е суток. В результате этого извержения погибло более 60 000 человек.

Глобальная частота извержений тем меньше, чем они масштабнее. Согласно классификации VEI («Volcanic Explosivity Index» - индекс вулканической взрывоопасности) все извержения подразделяются на 8 категорий. К первой относится те, при которых извергается порядка 10^6 м^3 тефры, при высоте пеплового шлейфа до 1 км. Такие извержения фиксируются раз в несколько недель. С каждой последующей категорией, объемы выброшенной тефры и масштаб последствий увеличиваются на порядок. Например, извержения подобные извержению в Колумбии 1985 года (VEI 3), вызвавшего смертоносные селевые потоки, происходят несколько раз в год. Извержения типа Сент-Хеленс 1980 года (10^9 м^3 , VEI 5) происходят, возможно, раз в десятилетие, а такие как Кракатау в 1883 году (10^{10} м^3), порядка одного раза в столетие. Исторические данные, однако, не в состоянии подготовить нас к гораздо более масштабным извержениям. Извержение вулкана Тоба, например, произошедшее всего 74 000 лет назад в Индонезии, и

³⁶⁵ Kling, G.W., Clark, M.A., Wagner, G.N., Compton, H.R., Humphrey, A.M., Devine, J.D., Evans, W.C., Lockwood, J.P., Tuttle, M.L., Koenigsberg, E.J., 1987. The 1986 lake nyos gas disaster in cameroon, west Africa. Science 236, 169–175.

³⁶⁶ Rosi, M., Bertagnini, A., Landi, P., 2000. Onset of the persistent activity at Stromboli volcano (Italy). Bulletin of volcanology 62, 294–300.

³⁶⁷ Luterbacher, J., Pfister, C., 2015. The year without a summer. Nature Geoscience 8, 246–248.

Йеллоустоунское, произошедшее около 2 миллионов лет назад в северной Америке, произвели почти в 10 000 раз больше магмы ($2,5 \cdot 10^{12} \text{ м}^3$ и $2,8 \cdot 10^{12} \text{ м}^3$ соответственно, VEI 7-8), чем извержение Сент-Хеленс. Предполагается, что извержения такого масштаба, имеют место каждые 100 000 лет.

На практике же, больший интерес представляет интервал между извержениями конкретного вулкана. Такая информация может быть получена только в результате детального изучения и мониторинга. Но фактически, период ведения исторических записей во многих частях мира зачастую значительно уже, чем этот интервал. Длительные периоды покоя, предшествуют крупным извержениям, из-за чего население обычно оказывается неподготовленным. Однако, человечество может успешно сосуществовать с вулканами, если улучшит понимание процессов, приводящих как к катастрофическим извержениям прошлого, так и к более частым, но менее масштабным извержениям настоящего времени. Но не стоит слишком переоценивать исторические данные, т.к. за последние 200 лет наблюдений, ежегодно происходили извержения таких вулканов, которые ранее вообще не проявляли какой-либо активности. Обычно, катастрофические извержения следуют за продолжительными периодами затишья, поэтому мы не должны пренебрегать малоизвестными вулканами. Несмотря на то, что они покрыты густой растительностью и никогда не извергались на нашей памяти, их извержения могут быть самыми опасными из всех, с которыми нам когда-либо приходилось сталкиваться.

Перечень поражающих факторов, сопровождающих вулканические извержения

Вулканический пепел состоит из мелкозернистых фрагментов горных пород, минералов и осколков вулканического стекла. Зерна пепла обычно покрыты кислотой. Пепел образуется в результате фрагментации пенистой магмы (после декомпрессии), скальной породы (при быстром расширении пара) и от взрывного смешивания магмы с водой. Форма и размеры осколков зависят от формы и размера пузырьков газа в магме непосредственно перед извержением. Размеры частиц варьируются от нескольких метров в поперечнике, до микронных и субмикронных размеров. Облака пепла вдали от вулкана обычно составляют частицы размером менее 0,5 мм. Такие облака очень опасны для авиаперелетов, т.к. в случае попадания внутрь двигателей, выводят их из строя. Опасность усугубляется тем, что они не обнаруживаются самолетными радарами. Только полное избегание пепловых облаков, является гарантией безопасности полетов.

Вулканические облака могут содержать пепел, водяной пар, диоксид серы (SO_2) и соляную кислоту (HCl). Водяной пар и растворимые газообразные компоненты конденсируются при понижении температуры в верхней тропосфере и выпадают осадками ещё до того, как облако достигнет стратосферы. Пепел может оставаться в стратосфере в

течение нескольких месяцев, прежде чем осядет из-за своего относительно большого размера. Диоксид серы окисляется в течение примерно месяца с образованием серной кислоты, которая вместе с окружающим водяным паром ответственна за образование и рост стратосферного сульфатного аэрозоля. В зависимости от широты и высоты первоначального выброса, уровень стратосферного аэрозоля может оставаться повышенным в течение нескольких лет после извержения. Вулканический аэрозоль может охлаждать поверхность Земли, отражая дополнительное солнечное излучение обратно в космос, и может нагревать стратосферу, поглощая инфракрасное излучение поверхности и тропосфера. Осаждение и атмосферная циркуляция в конечном итоге переносят аэрозоль в тропосферу, где он может быть поглощен облаками или дождем. Этот эффект отлично иллюстрируется последствиями извержения вулкана Тамборы в 1815 г. [Luterbacher and Pfister] в южном полушарии, после которого в северной Америке и западной Европе среднегодовая температура упала настолько, что 1816 г. был прозван на тех территориях «годом без лета».

Пирокластические потоки [Sigurdsson et al] содержат массивные смеси горячих лавовых блоков, пепла, пемзы и вулканического газа, спускающихся по склонам вулканов с очень высокой скоростью. Движимые силой тяжести, потоки стремятся к низким участкам вулкана и, как правило, направляются в долины. Крупномасштабные пирокластические потоки образующие кальдеры, могут перемещаться на расстояния более 100 км. Расстояние во многом зависит от массы, выброшенной из источника, и высоты, с которой поток начинает опускаться. Высокомобильные потоки могут быть насыщены вулканическими газами, выделяющимися из недр лавовых блоков и частиц, или расширяющимися нагретым воздухом, что способствует снижению трения между потоком и землей. Крупномасштабные потоки иногда проходили по поверхности моря на расстояния в несколько десятков километров. Это означает, что по крайней мере верхние их части были менее плотными, чем морская вода. Прямые измерения температуры, давления и скорости потоков выполняются путем размещения соответствующих датчиков на ожидаемом пути их прохождения. Скорости потоков обычно превышают 10 м/с, а иногда доходят и до 100 м/с. Температура же лежит в пределах от 100°C до 1100°C.

Лавовые потоки [Sigurdsson et al] представляют собой расплавленную породу, вытекающую из отверстий и трещин вулкана. Они сжигают посевы, лесные массивы и хозяйствственные постройки близлежащих деревень и городов. Большинство лавовых потоков продвигаются достаточно медленно, что позволяет людям избежать опасности, но все, что остается позади них, может быть повреждено или разрушено, а земля, покрытая лавой, становится непригодной для жизни или сельского хозяйства на годы, десятилетия или даже

столетия. Подавляющее большинство лавовых потоков состоят из силикатных пород. Поля потоков формируются последовательностью отдельных потоков, извергающихся с течением времени, которые в совокупности создают более крупный и плотный объект. Общий сток такого поля, может составлять несколько кубических километров. В геологической летописи известны случаи огромных полей лавовых потоков, объем которых составлял сотни и даже тысячи кубических километров. В большинстве случаев длина отдельных потоков обычно колеблется от нескольких десятков метров до нескольких километров, а в зависимости от свойств лавы, толщина так же может меняться от нескольких сантиметров до десятков метров. Продолжительность потоков по историческим наблюдениям может составлять от нескольких минут до нескольких десятилетий, хотя в большинстве случаев колеблется от нескольких дней до нескольких лет.

Лахары [Sigurdsson et al] представляют собой шквал воды, смешанный с большим количеством вулканических обломков, которые с ревом быстро спускаются с склонов вулкана в окружающие равнины. Обычно термин используется для обозначения процесса, а не оставленных вследствие него отложений. Большинство лахаров состоит в основном из песка и более грубых материалов. Лахары приносят даже большие разрушения, чем пирокластические потоки, т.к. они стекают дальше вниз по вулканическим склонам к более густонаселенным равнинам. Для их образования требуется всего лишь обильное количество воды, смешанной с рыхлым и легко размываемым мусором со склонов вулкана. Таким образом, они происходят чаще и на гораздо большем количестве вулканов, чем пирокластические потоки. Для образования лахаров не требуется извержения, они могут быть вызваны обычными муссонными дождями, тайфунами или ураганами. Особую опасность лахары представляют в бедных странах субтропического пояса, где теплый и влажный климат превращает свежие отложения лахара в плодородные почвы. Население предпочитает использовать эти территории для ведения сельского хозяйства, подвергая себя тем самым большему риску из-за постоянного проживания в непосредственной близости от источника опасности.

Вулканический газ [Sigurdsson et al]. Даже вулканы, находящиеся в состоянии покоя, фактически не извергающие лаву и не проявляющие сейсмической активности, способны непрерывно дегазироваться. Извержения могут приводить к образованию смертельных количеств токсичных газов, но длительное воздействие более низких дозировок так же представляет значительную опасность. Наиболее распространенными вулканическими газами в порядке их распространенности являются водяной пар (H_2O , 30-90 моль %), углекислый газ (CO_2 , 5-40 моль %), диоксид серы (SO_2 , 5-50 моль %), водород (H_2 , 2 моль %), сероводород (H_2S , 2 моль %) иmonoоксид углерода (CO , 0,5 моль %). Некоторые из них,

вступают в реакцию в атмосфере или вулканическом шлейфе с образованием аэрозолей, наиболее важными из которых являются соляная кислота (HCl), плавиковая кислота (HF) и серная кислота (H_2SO_4). Долгосрочные последствия вулканических газов для здоровья плохо изучены, но они могут способствовать эпидемическим заболеваниям из-за их угнетающего действия на зрительную, дыхательную и пищеварительную системы. С точки зрения токсичности, наиболее опасными газами являются CO_2 , SO_2 , Rn , H_2S , HCl , HF и H_2SO_4 . Воздействие именно этих веществ стало причиной большинства смертельных случаев, связанных с вулканическим газом.

Вулканические цунами [Sigurdsson et al] представляют собой высокие волны или выбросы воды, вызванные различными вулканическими процессами. Волны возникают, когда часть огромного количества энергии, высвобождающейся во время извержений вулканов, переносится в океанскую воду или близлежащие большие озера. Энергия может передаваться на большие расстояния, вызывая гораздо большие разрушительные последствия, чем в результате непосредственного воздействия одного только извержения вулкана. Вулканические цунами сравнимы с обычными, вызванными крупнейшими известными землетрясениями. Волны, достигающие в высоту от 1 м до 30 м, затапливают низменные прибрежные районы на расстоянии в десятки или даже сотни километров от источника.

Самое разрушительное из известных вулканических цунами, было вызвано извержением вулкана Кракатау в 1883 году, в результате которого погибло более 36 000 человек, некоторые из которых находились на расстоянии до 800 км от места извержения. Высота волн вулканического цунами сильно зависит от морфологии береговой линии, на которую они обрушаются. В некоторых случаях высота волн может увеличиваться более чем в два раза, когда энергия волн фокусируется и усиливается в заливах и бухтах. Скорость вулканических цунами прямо пропорциональна глубине воды, достигая типичных скоростей от 10-100 км/час в мелководных прибрежных районах и до 800 км/час при пересечении более глубоких вод.

Вулканические землетрясения [Sigurdsson et al] происходят на вулканах или вблизи них в пределах 10 км, и связаны с происходящими внутри них процессами. Т.к. в вулканах сосредоточено тепло и подвижные жидкости, то количество землетрясений значительно выше, чем в местах с нормальной земной корой. Такие землетрясения происходят на меньших глубинах (1-9 км) и группами, в отличие от тектонических (глубиной от 15 км в земной коре до 600 км в зонах субдукции), для которых характерны последовательности постепенно затухающих толчков-афтершоков. Процессы, вызывающие различные типы вулканических землетрясений, схожи, хотя извержения и различаются по результатам.

Механизмы возникновения некоторых вулканических землетрясений до сих пор не изучены. Т.к. почти каждому известному извержению вулкана предшествовала сейсмическая активность, то сейсмология стала одним из наиболее полезных инструментов для прогнозирования и мониторинга извержений.

Выбросы породы [Sigurdsson et al] могут происходить вследствие расширения пара в водоносных слоях вулкана, разбрасывая камни из фумарол или кратеров на большие расстояния. Так же взрывы могут происходить в лавовых куполах или закупоренных жерлах. Большинство извержений не вызывают взрывной волны, так как высвобождение энергии происходит слишком медленно, но при некоторых извержениях начальные ударные скорости могут превышать звуковые, которые, в свою очередь, приобретает выбрасываемая из жерла порода. Ударные волны, способные причинить вред конструкции зданий и привести к внутренним повреждениям органов человека или животных, регистрируются лишь изредка, на некотором расстоянии от эпицентров. Баллистические выбросы породы, сопровождающие взрывы, представляют собой значительно большую опасность. Линейные размеры обломков породы при таких взрывах начинаются от 15 – 20 см. Это нижний предел, при котором переданный при взрыве импульс позволит обломкам преодолевать сопротивление воздуха. Подобные объекты представляют смертельную опасность для людей, оказавшихся в зоне поражения, т.к. кроме разрушений, связанных с прямым попаданием, так же могут быть причиной пожаров. Максимальная зарегистрированная дальность для таких объектов составляет около 5 км от кратера.

Выпадение тефры [Sigurdsson et al] из пепловых шлейфов опасно тем, что накапливаясь на элементах сооружений, может создавать на конструкции значительные нагрузки, усугубляющиеся проливными дождями (приблизительно 200 кг/м² при толщине слоя в 15 см). Такие эффекты могут наблюдаться на удалении от эпицентра (30 – 40 км), т.е. уже за пределами радиусов эвакуации. Обрушение элементов крыш может привести к различным травмам, а в худшем случае к удушению человека, заваленного обломками. Пепел так же оказывает воздействие на дыхательные пути, т.к. при вдыхании частиц диаметром 5-10 мкм в достаточном количестве, может вызывать раздражение легких, а случае содержания в нем кристаболита (высокотемпературная модификация кварца) – силикоз (потенциально смертельное заболевание легких, обычно встречающееся у шахтеров).

Концепция сценарного подхода в структуре оценки вулканического ущерба

Несмотря на возможные опасности, связанные с вулканическими процессами, человечество продолжает селиться вблизи вулканов. Но, изучая извержения различного

масштаба, приводящих к гибели людей, исследователи могут выработать меры по смягчению последствий вулканических катастроф.

Все поражающие факторы вулканической активности представляют собой различные формы энергии (в нашем анализе остановимся на первых 3x):

- Механическую (лахары, баллистические выбросы выпадение тефры).
- Термическую (пирокластические и лавовые потоки).
- Химическую (газ и аэрозоли).
- Электрическую (молнии).
- Ионизирующие излучение (газообразный радон).

Классифицируем описанные выше поражающие факторы по формам энергии, источниками которой, они являются, а также акцентируем внимание на причинах их возникновения, и возможных производных, образующихся вследствие взаимодействия факторов с условиями окружающей среды (см. следующий раздел):

- Вулканический пепел (*механическая*). Выпадая крупными фракциями (*тефрай*) из облаков – увеличивает нагрузку на строения; поднимаясь мелкими фракциями в стратосферу – приводит к выходу из строя самолетов.
- Вулканические облака. Образуются вследствие взрывного извержения. Кроме описанного выше пепла (*механическая*), содержат так же различные газы, которые при взаимодействии с достаточным количеством водяного пара, выпадают в виде кислотных дождей (*химическая*), а поднимаясь в стратосферу, образуют аэрозоль, который может отражать часть солнечного излучения, тем самым влиять на климат
- Пирокластические потоки. Образуются вследствие взрывного извержения. Имеют высокую температуру (*термическое*) и скорость (*механическое*), являются источником вулканического газа (*химическое*). Могут привести к пожарам.
- Лавовые потоки. Могут образовывать вследствие извержений малой интенсивности. Имеют низкую скорость (все равно *механическое*, т.к. выводят из строя неподвижные объекты инфраструктуры и меняют рельеф) и высокую температуру (*термическое*). Могут привести к пожарам.
- Лахары (*механическое*). Могут возникать вследствие обильных осадков и тепловых аномалий, из-за которых могут подтаивать ледники на высоких вулканах. Имеют высокую скорость.
- Вулканический газ (*химическое*). Источником может быть не обязательно взрывное извержение, описанное в пункте про облака, но и просто расщелины (существующие или образовавшиеся вследствие землетрясений). Сам по себе газ в

больших количествах накапливаясь в низинах может проникать в дома и быть причиной смерти людей и домашних животных.

– Вулканические цунами (*механическое*). Образуются вследствие взрывных извержений.

– Вулканические землетрясения (*механическое*). Может быть причиной оползней, разрушений построек вблизи эпицентра, а также приводить к уже описанным выше извержениям (*механическое*) и выходам газа (*химическое*).

– Выбросы породы (*механическое*). Происходят как во время взрывного извержения, так и вследствие выбросов пара из ослабленных склонов, оголяющихся при оползнях и в связи с действиями других механических факторов.

Как видно из классификации, все факторы имеют друг с другом причинно-следственные связи (см. таблица 21), что позволяет построить матрицу смежности (см. таблица 22) и итоговый граф (см. рисунок 22), сводящий все к 3м видам поражения: механическому, термическому и химическому. Фактор климатических изменений выделен отдельно, т.к. носит глобальный характер по сравнению с остальными.

Таблица 21 — Систематизация причинно-следственных связей, основных поражающих факторов

Фактор причины	Фактор	Фактор следствия
Вулканическое облако	Выпадение тефры	Механические повреждения объектов подстилающей поверхности
	Мелкий пепел в атмосфере	Механическое повреждение самолетов
	Вулканический газ	Химическое воздействие осадками (кислотные дожди)
		Аэрозоль влияющий на климат
Извержение	Ударная волна	Механические повреждения в эпицентре
	Вулканическое облако	<i>Описано в факторах</i>
	Пирокластический поток	Механические и термические повреждения объектов на пути следования, источник вулканического газа
	Вулканические цунами	Механическое повреждение объектов прибрежной инфраструктуры

Продолжение таблицы 21

Фактор причины	Фактор	Фактор следствия
	Лавовые потоки	Механические и термические повреждения объектов на пути следования
Фактор причины	Фактор	Фактор следствия
Тепловые аномалии Осадки	Лахары	Механические повреждения объектов на пути следования
Расщелины	Вулканический газ	Химическое повреждение людей и животных (удушье)
Землетрясение	Механические повреждения в эпицентре, оползни, извержения, расщелины	<i>Описано в факторах</i>
Оползни	Механические повреждения, выбросы породы	Механические повреждения объектов в зоне поражения
Высоко-температурные воздействия	пожары	Термические повреждения
Механическое воздействие высокой энергии	Оползни	<i>Описано в факторах</i>

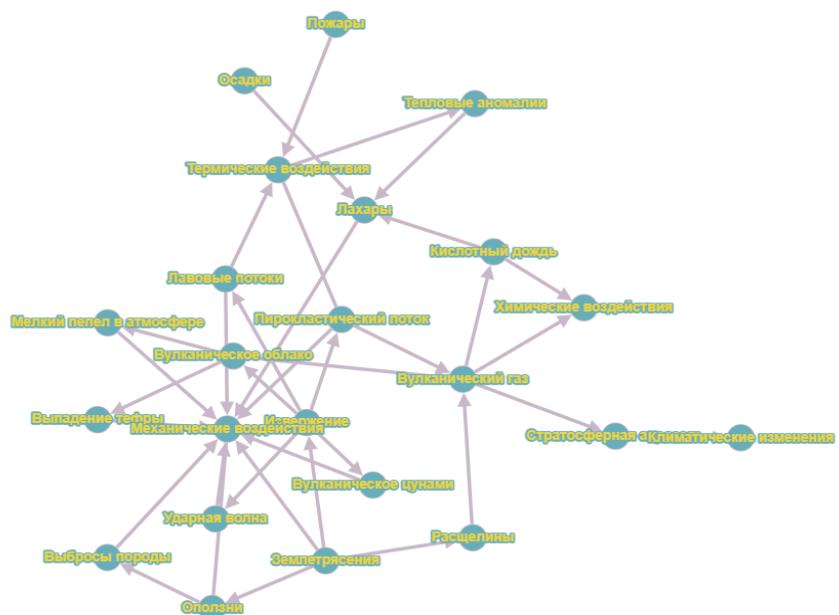


Рисунок 22 – Причинно-следственные связи поражающих факторов

Таблица 22 — Матрица смежности причинно-следственных связей поражающих факторов сопровождающих вулканические извержения

Продолжение таблицы 22

	Вулканический газ	Вулканическое облако	Вулканическое цунами	Выбросы породы	Выпадение тefфры	Землетрясения	Извержение	Кислотный дождь	Лавовые потоки	Лахары	Мелкий пепел в атмосфере	Оползни	Осадки	Пирокластический поток	Пожары	Расщелины	Стратосферная аэрозоль	Тепловые аномалии	Ударная волна	Механические воздействия	Термические воздействия	Химические воздействия	Климатические изменения
Пирокластический поток	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
Пожары	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Расщелины	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Стратосферная аэрозоль	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Тепловые аномалии	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ударная волна	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Механические воздействия	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Термические воздействия	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Химические воздействия	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Климатические изменения	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Модели оценки опасности поражающих факторов

Далее, приведем краткое описание существующих на данный момент математических моделей различных поражающих факторов, возникающих вследствие вулканической активности:

Модель оценка рисков последствий лахаров и наводнений

В [Künzler et al]³⁶⁸ была проведена оценка рисков лахаров [Sigurdsson et al] (селевых потоков) и наводнений в населенных пунктах, расположенных вдоль реки Комбейма (Río Combeima), истоком которой служит ледник, расположенный на вершине вулкана Толима (Nevado del Tolima) (“вулкан Толима,” n.d.)³⁶⁹ в Колумбии.

На основе цифровой модели рельефа по данным SRTM (“SRTM,” n.d.)³⁷⁰, уточненной во время полевых испытаний, и 4-х сценариев предполагаемого объема растаявшего снега, питающего водосброс, посредством программных пакетов LAHARZ [Schilling]³⁷¹ и HEC-RAS (“HEC RAS,” n.d.)³⁷², определялись районы подверженные опасности лахаров и наводнений (см. рисунок 23).



Рисунок 23 – Визуализация сценариев опасности (р. Комбейма, г. Ибаге)

³⁶⁸ Künzler, M., Huggel, C., Ramírez, J.M., 2012. A risk analysis for floods and lahars: case study in the Cordillera Central of Colombia. *Natural hazards* 64, 767–796.

³⁶⁹ вулкан Толима [WWW Document], n.d. URL <https://volcano.si.edu/volcano.cfm?vn=351030>

³⁷⁰ SRTM [WWW Document], n.d. URL <https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-digital-elevation-shuttle-radar-topography-mission-srtm-1>

³⁷¹ Schilling, S.P., 1998. LAHARZ; GIS programs for automated mapping of lahar-inundation hazard zones. US Geological Survey; Information Services [distributor].

³⁷² HEC RAS [WWW Document], n.d. URL <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>

Модель оценки опасности баллистических ударов выбрасываемой породы

В [Nurmawati and Konstantinou]³⁷³ была проведена оценка опасности возникающей вследствие выбрасывания горной породы во время гидротермальных и вулканических извержений из фумарол Сяйокенг горы Чихшин в районе группы вулканов Татун (“вулкан Татун,” n.d.)³⁷⁴ (о. Тайвань).

Оценка проводилась с помощью баллистических уравнений движения, выбрасываемых из жерла вулкана фрагментов горных пород. В основе модели, описываемой дифференциальными уравнениями первого порядка, лежит II закон Ньютона, с учетом того, что на каждую частицу действует сила тяжести и сопротивление атмосферы (т.к. частицы движутся на околозвуковых скоростях). Модель учитывает изменение плотности атмосферного воздуха в зависимости от высоты (воздух представляется идеальным газом).

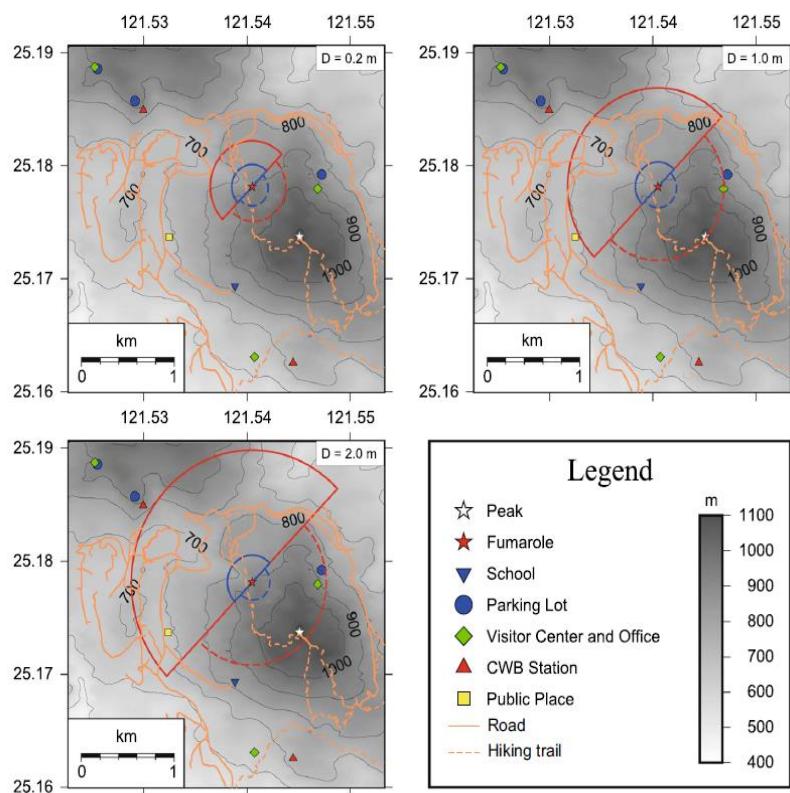


Рисунок 24 – Границы опасных зон подверженных поражению выбросами горных пород для 3х диаметров выбрасываемых частиц, на 2х возможных высотах образования фумаролы (сплошная – 900м, пунктирная - 1100м (углы превышающие 50°); красная - 200м/с, синяя 50 м/с)

³⁷³ Nurmawati, A., Konstantinou, K., 2018. Hazard assessment of volcanic ballistic impacts at Mt Chihshin, Tatun Volcano Group, northern Taiwan. Natural hazards 92, 77–92.

³⁷⁴ вулкан Татун [WWW Document], n.d. URL <https://volcano.si.edu/volcano.cfm?vn=281032>

При гидротермальном извержении в качестве коэффициента лобового сопротивления фрагментов горных пород использовались значения для куба, обращенного к потоку одним из своих углов. Энергия, переданная массе горной породы, рассчитывается исходя из энергии пара, возникающего вследствие внезапной декомпрессии (оползня) поверхностных слоев (от 20м до 50м) перегретой воды (от 118 °C до 218°C) в вулкане (предполагается, что давление падает до атмосферного). Объем выбрасываемой горной породы рассчитывается исходя из диаметра самого большого кратера, образовавшегося в горе Чихшин из-за прошлого гидротермального извержения.

Вулканическое извержение, происходит, когда жерло вулкана закупоривается затвердевающей магмой, полностью перекрывающей выход наружу раскаленных газов, в момент когда образовавшаяся снаружи порода больше не в состоянии сдерживать их давление. Для вычисления скорости выброса породы при таком извержении использовалось дифференциальное уравнение, полученное Алаторре-Ибаргуэнгойтием (Alatorre-Ibargüengoitia et al)³⁷⁵ в предположении, что основной газовой фазой, участвующей в приведении движения горной породы, является водяной пар.

Моделирование проводилось с учетом 3-х диаметров частиц выбрасываемой горной породы (0.2м, 1м и 2м) и углов выброса от 20° до 70°. В итоге были получены радиусы опасных зон вокруг фумаролы. На картах видны объекты инфраструктуры, которым может быть нанесен ущерб (см. рисунок 24).

Модель отслеживания распространения вулканических облаков

В [Searcy et al]³⁷⁶ описывается математическая модель (PUFF), имитирующая движение пепловых шлейфов образовавшихся вследствие вулканических извержений. Модель предназначена для прогнозирования поведения первичных облаков пепла, возрастом не более 48 часов, так как именно они содержат максимальную концентрацию частиц, представляющих высокую опасность для воздушных судов (в случае столкновения) и населенных пунктов (при выпадении частиц в виде осадков).

Модель представляет собой программный пакет, предназначенный для использования в чрезвычайных ситуациях вулканических извержений, чтобы быстро спрогнозировать траекторию облака пепла в течение некоторого промежутка времени в

³⁷⁵ Alatorre-Ibargüengoitia, M.A., Scheu, B., Dingwell, D.B., Delgado-Granados, H., Taddeucci, J., 2010. Energy consumption by magmatic fragmentation and pyroclast ejection during Vulcanian eruptions. Earth and Planetary Science Letters 291, 60–69.

³⁷⁶ Searcy, C., Dean, K., Stringer, W., 1998. Puff: A high-resolution volcanic ash tracking model. Journal of Volcanology and Geothermal Research 80, 1–16. [https://doi.org/10.1016/S0377-0273\(97\)00037-1](https://doi.org/10.1016/S0377-0273(97)00037-1)

ближайшем будущем. Модель инициализирует дискретное количество частиц пепла, и на основе данных о ветре, рассчитывает для каждой частицы перенос, турбулентное рассеивание и выпадение.

Перенос вычисляется путем интерполяции четырехмерных данных о ветре (которые берутся из прогноза метеорологических данных) из начального положения частицы в положение на следующем временном шаге, и интегрированием полученных таким образом данных о скоростях частицы для вычисления её траектории. Турбулентное рассеивание моделируется случайным процессом, имитирующим мелкомасштабные флуктуации поля скоростей ветра. Выпадение пепла вычисляется через закон Стокса, в котором скорость выпадения является функцией размера частицы.

Выходные данные модели, содержат трехмерное местоположение, размер и возраст каждой моделируемой частицы пепла. Данные собраны в файлы, по одному файлу на каждый прогнозируемый интервал после даты извержения. Формат файлов совместим с пакетами программного обеспечения для визуализации, что позволяет представить результаты наглядно на web-сайте.

Так как на ранних стадиях извержения некоторая информация может быть недоступна, большая часть входных данных задана значениями по умолчанию (например, продолжительность извержения, количество частиц, высота столба пепла, распределение частиц в столбе и т. п.) с возможностью их переопределения при необходимости. Поэтому пользователю достаточно указать лишь местоположение вулкана и время извержения.

Результаты моделирования хорошо согласуются с данными наблюдений, что подтверждается моделированием извержений вулкана Сперр на Аляске в 1992 году, вулкана Ключевской на полуострове Камчатка и кальдеры Рабаул в Новая Гвинея в 1994 году.

Модель переноса и осаждения вулканического пепла

В [Costa et al]³⁷⁷ рассматривается трехмерная Эйлерова модель (FALL3D), основанная на уравнении адвекции–диффузии–седиментации. Для оценки метеорологических полей используется модель ограниченной площади (LAM) [Davies, 2014]³⁷⁸, позволяющая получать результат с высоким разрешением на локальную область, затратив значительно меньше вычислительных ресурсов, чем при использовании

³⁷⁷ Costa, A., Macedonio, G., Folch, A., 2006. A three-dimensional Eulerian model for transport and deposition of volcanic ashes. *Earth and Planetary Science Letters* 241, 634–647.

³⁷⁸ Davies, T., 2014. Lateral boundary conditions for limited area models. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 140, 185–196.

глобального климатического моделирования. Для описания эруптивного столба, используется теория плавучего шлейфа [Morton et al]³⁷⁹. Такой подход приводит к более реалистичному анализу переноса вулканического пепла с использованием краткосрочного метеорологического прогноза. Потенциально позволяет отслеживать эволюцию концентрации частиц в ходе извержения.

Моделирование посредством FALL3D извержения Этны (Etna) (“вулкан Этна,” n.d.)³⁸⁰ в Италии 2001 года, показало способность модели воспроизводить реалистичные полевые данные и структуры шлейфа, наблюдаемые со спутников, без использования каких-либо специально подобранных параметров.

Моделирование пирокластических потоков

Современные модели не могут охватить все аспекты динамики пирокластических потоков, в связи с чем, они остаются сравнительно плохо изученными. Но в [Warwick et al]³⁸¹, при оценке ряда потенциальных будущих взрывных извержений и связанных с ними опасностей вулканического комплекса Миджер (Mount Meager) (“вулкан Миджер,” n.d.)³⁸² в Канаде, для прогнозирования пирокластического потока, предлагается использовать модель энергетического конуса [Sheridan]³⁸³.

Это эмпирическая модель, основанная на статистическом анализе. В модели используются данные о максимальной разнице высот истечения и отложения потока, а также о горизонтальной длине его биения. Этот метод позволяет отобразить протяженность потока в виде энергетических линий (или охватывающего конуса) и включает как разреженные, так и концентрированные сегменты его плотности. Этот метод по своей сути не моделирует сток или направленность потока, а скорее обозначает пространство в пределах энергетического конуса (которое может быть или не быть заполнено пирокластическим потоком или выбросами облаков пепла в случае обрушения купола). Модель энергетического конуса реализована в программном пакете LAHARZ (Schilling) как «Ближайшая граница опасной зоны» (Proximal Hazard Zone Boundary) (Schilling).

³⁷⁹ Morton, B., Taylor, G.I., Turner, J.S., 1956. Turbulent gravitational convection from maintained and instantaneous sources. Proceedings of the Royal Society of London. Series A. Mathematical and Physical Sciences 234, 1–23.

³⁸⁰ вулкан Этна [WWW Document], n.d. URL <https://volcano.si.edu/volcano.cfm?vn=211060>

³⁸¹ Warwick, R., Williams-Jones, G., Kelman, M., Witter, J., 2022. A scenario-based volcanic hazard assessment for the Mount Meager Volcanic Complex, British Columbia. Journal of applied volcanology 11, 1–22.

³⁸² вулкан Миджер [WWW Document], n.d. URL <https://volcano.si.edu/volcano.cfm?vn=320180>

³⁸³ Sheridan, M.F., 1979. Emplacement of pyroclastic flows: A review. Ash flow tuffs: Geological Society of America Special Paper 180, 125–136.

Моделирование лавовых потоков

В [Barca et al]³⁸⁴ рассматривается моделирование лавовых потоков с использованием подхода клеточных автоматов. Лава рассматривается как динамическая система, за ростом которой возможно следить посредством локальных взаимодействий на дискретных временных и пространственных интервалах. В пространстве потоки представлены ячейками. Каждая ячейка характеризуется конкретными значениями выбранных физических параметров, включая высоту потока, его толщину и температуру. Реология лавы рассматривается косвенно, через влияние на толщину потока. Граничными значениями при моделировании являются высота рельефа, скорость выброса лавы, температура и реология её потока при извержении и при солидусе.

Модель клеточных автоматов была протестирована на данных о полях лавовых потоков вулкана Этна (Etna) (“вулкан Этна,” n.d.) во время извержения 1986-87 годов. Несмотря на неоднородность набора данных, смоделированные и реальные поля потоков продемонстрировали поразительно схожие закономерности роста, что подчеркивает гибкость подхода клеточных автоматов.

Моделирование рассеивания вулканического газа

В [Massaro et al]³⁸⁵ оценивается способность модифицированной модели DISGAS-2.0 [Costa and Macedonio]³⁸⁶, воспроизводить распределение концентрации CO₂ и H₂S, выделяемых из трех основных фумарольных источников вулкана Суфриер (“вулкан Суфриер,” n.d.)³⁸⁷, расположенного на острове Сент-Винсент в Карибском море. При оценивании использовалась метеорологическая информация, а также данные измерений непрерывных концентраций, собранных в период с марта по апрель 2017 года. Рассеивание газа в модели зависит от локальных полей ветра и атмосферной турбулентности, в связи с чем информация о кратковременных метеорологических явлениях, является одним из наиболее значимых факторов в определении качества результатов. Результаты моделирования воспроизвели статистическую изменчивость среднесуточных наблюдаемых данных за исследуемый период в допустимых пределах, что указывает на

³⁸⁴ Barca, D., Crisci, G., Di Gregorio, S., Nicoletta, F., 1993. Cellular automata methods for modeling lava flows: simulation of the 1986–1987 eruption, Mount Etna, Sicily. *Active lavas: monitoring and modelling* 291–303.

³⁸⁵ Massaro, S., Dioguardi, F., Sandri, L., Tamburello, G., Selva, J., Moune, S., Jessop, D.E., Moretti, R., Komorowski, J.-C., Costa, A., 2021. Testing gas dispersion modelling: A case study at La Soufrière volcano (Guadeloupe, Lesser Antilles). *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 417, 107312.

³⁸⁶ Costa, A., Macedonio, G., 2016. DISGAS: a model for passive DISpersion of GAS. *Rapporti tecnici IGV, Istituto Nazionale Di Geofisica e Vulcanologia, Italy* 332.

³⁸⁷ вулкан Суфриер [WWW Document], n.d. URL <https://volcano.si.edu/volcano.cfm?vn=360150>

потенциальную полезность DISGAS-2.0 в качестве инструмента для воспроизведения наблюданной фумарольной дегазации и для количественной оценки газовой опасности.

Моделирование вулканических цунами

В [Hayward et al]³⁸⁸ моделируется взрывное подводное извержение вулкана в озере Таupo (Тауру) (“вулкан Таупо,” n.d.)³⁸⁹, Новая Зеландия. Подводное извержение – это динамичное и сложное событие, включающее резкую фрагментацию, изменение объема и многочисленные высокоэнергетические взаимодействия между находящейся под давлением магмой, летучими веществами и водой. Возмущения воды при взрыве возникают в результате образования и быстрого расширения газового пузыря, который, взаимодействуя с поверхностью, образует кратероподобную полость. Полость быстро заполняется под действием силы тяжести, образуя крупную струю. После чего возмущение колеблется до тех пор, пока не успокоится, вызывая волны уменьшающейся амплитуды. Глубинный взрыв или взрыв малой мощности приводит к тому, что пузырь передает большую часть своей энергии окружающей воде посредством быстрых колебаний, что значительно снижает эффективность образования волн.

Моделирование с применением негидростатической многослойной схемы, производилось на основе параметров, представляющих размер начальной полости взрыва, являющихся функциями выхода взрывчатого вещества – его глубины, максимальной глубины нарушенного равновесия и её радиуса, а так же глубины воды и характеристик слоя, для которых производится калибровка с использованием эмпирических данных.

Моделирование условия окружающей среды

Поражающие факторы, сопровождающие вулканическое извержение, взаимодействуют с окружающей средой. Окружающая среда может, как усугубить поражающее воздействие вулканического извержения, послужив проводником между факторами (например, вулканический газ может среагировать с водяным паром и превратиться в кислоту, которая выпадет дожем), так и наоборот ослабить его (газ рассеется при сильном ветре).

Основным источником информации об условиях окружающей среды, в настоящее время, выступают данные дистанционного зондирования Земли. Такие данные носят глобальный характер и имеют достаточно продолжительные временные ряды наблюдений

³⁸⁸ Hayward, M.W., Whittaker, C.N., Lane, E.M., Power, W.L., Popinet, S., White, J.D., 2022. Multilayer modelling of waves generated by explosive subaqueous volcanism. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 22, 617–637.

³⁸⁹ вулкан Таупо [WWW Document], n.d. URL <https://volcano.si.edu/volcano.cfm?vn=241070>

(снимки LANDSAT 5 в открытом доступе датируются 1984 годом (“Landsat 5” n.d.)³⁹⁰), что позволяет строить на их основе сопоставимые наборы информационных продуктов.

Классифицируем существующие информационные продукты, в основе которых лежат данным дистанционного зондирования Земли, по условиям окружающей среды, информацию о которых данные продукты позволяют получить:

– Метеорология. Согласно стандарту всемерной метеорологической организации, информационный продукт позволяющий хранить краткосрочные прогнозы и данные реанализа (исторические данные, привязанные к узлам регулярной сетки) распространяются в формате GRIB (“GRIB,” n.d.)³⁹¹. Содержит информацию о таких параметрах как температура, влажность, осадки, атмосферное давление, направление и сила ветра и т.п. Обычно распространяется свободно крупными государственными структурами, такими как: Гидрометцентр (“Гидрометцентр России,” n.d.)³⁹² в Российской Федерации, Национальный центр атмосферных исследований (NCAR) (“National Center for Atmospheric Research,” n.d.)³⁹³ в США, Европейским центром среднесрочных прогнозов погоды (ECMWF) (“European Centre for Medium-Range Weather Forecasts,” n.d.)³⁹⁴ и т.п.

– Рельеф. Цифровая модель рельефа SRTM (“SRTM,” n.d.), содержит данные топографической съемки о высотах в метрах, большей части земной поверхности (за исключением областей ниже 54° ю.ш, и выше 60° с.ш.) с разрешением в 1” (около 30 м). Свободно распространяется Геологической службой США (USGS) (“United States Geological Survey,” n.d.)³⁹⁵ в формате geotIFF мозаикой 5°x5°.

– Урбанизированные территории. Оперативно обновляемые интернет сообществом данные в формате.pbf из некоммерческого проекта OpenStreetMap (“OpenStreetMap,” n.d.)³⁹⁶, позволяют получить информацию об административном делении, дорогах и строениях по всему миру. Программное обеспечение Osm2pgsql (“Osm2pgsql,” n.d.)³⁹⁷, облегчает загрузку данного формата в базу данных PostgreSQL

³⁹⁰ Landsat 5 [WWW Document], n.d. URL <https://www.ncei.noaa.gov/archive/archive-management-system/OAS/bin/prd/jquery/platform/details/12449>

³⁹¹ GRIB [WWW Document], n.d. URL <https://www.nco.ncep.noaa.gov/pmb/docs/on388/>

³⁹² Гидрометцентр России [WWW Document], n.d. URL <https://meteoinfo.ru/grib>

³⁹³ National Center for Atmospheric Research [WWW Document], n.d. URL <https://rda.ucar.edu/>

³⁹⁴ European Centre for Medium-Range Weather Forecasts [WWW Document], n.d. URL <https://www.ecmwf.int/>

³⁹⁵ United States Geological Survey [WWW Document], n.d. URL <https://www.usgs.gov/>

³⁹⁶ OpenStreetMap [WWW Document], n.d. URL <https://www.openstreetmap.org/>

³⁹⁷ Osm2pgsql [WWW Document], n.d. URL <https://osm2pgsql.org/>

(“PostgreSQL,” n.d.)³⁹⁸, предоставляющую широкий инструментарий для работы с геоданными.

– Растительный покров. Временные ряды карт растительного покрова (Барталев et al)³⁹⁹ по данным приборов MODIS спутников AQUA и TERRA. Содержат ежегодную информацию о 23 классах (леса (7 классов), редины, луга, пахотные земли, степи, кустарники (2 класса), тундра (3 класса), гари, болота, прибрежная растительность, водные объекты, снега и льды, выходы горных пород, урбанизированные территории) растительности, с разрешение 230 м, произрастающей на территории Российской Федерации. Карты строятся ежегодно, начиная с 2001 года.

– Подповерхностные условия. Для полноты картины отметим существование условий скрытых от спутников дистанционного зондирования, в силу глубокого залегания. К таким данным относятся различные урбанизированные (например, системы тоннелей) и природные (например, водоносные слои или карстовые пещеры) объекты. Глобальной информации приведенной к единому формату о таких объектах нет, но при её наличии в определенной местности, она так же может быть включена в сценарный анализ.

Сценарный анализ вулканической опасности

На данный момент не существует моделей позволяющих предсказать время и место вулканического извержения. Всё на что мы можем полагаться в этом вопросе, это сценарный анализ, основанный не на предсказаниях будущего, а направленный на подготовку и адаптацию к нему по мере накопления знаний, позволяющих реализовать долгосрочные стратегии в условиях глубокой неопределенности [Marchau et al]⁴⁰⁰. Одним из аналитических подходов к такому анализу является т.н. «Надежное принятие решений» (RDM, Robust Decisionmaking): набор концепций, процессов и вспомогательных инструментов, которые используют вычисления не для получения лучших прогнозов, а для принятия лучших решений в условиях глубокой неопределенности [Lempert et al]⁴⁰¹. Подход предлагает анализировать различные виды будущего без приписывания им

³⁹⁸ PostgreSQL [WWW Document], n.d. URL <https://www.postgresql.org/>

³⁹⁹ Барталев, С.А., Егоров, В.А., Ершов, Д.В., Исаев, А., Лупян, Е.А., Плотников, Д., Уваров, И.А., 2011. Спутниковое картографирование растительного покрова России по данным спектрорадиометра MODIS. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса 8, 285–302.

⁴⁰⁰ Marchau, V.A., Walker, W.E., Bloemen, P.J., Popper, S.W., 2019. Decision making under deep uncertainty: from theory to practice. Springer Nature.

⁴⁰¹ Lempert, R.J., Popper, S.W., Bankes, S.C., 2003. Shaping the next one hundred years: new methods for quantitative. Long-Term Policy Analysis 208.

определенных вероятностей. В начале определяются ключевые факторы: цели, спектр действий для достижения этих целей, неопределённости, влияющие на действия и их последствия, а также взаимосвязи между ними. На основе имитационных моделей оцениваются предполагаемые стратегии в каждом из многих вариантов будущих миров, вследствие чего генерируется большая база данных результатов моделирования. На основе полученных результатов производится поиск возможных уязвимостей в стратегиях с целью выявить наиболее надежные из них или их комбинаций, обеспечивающих лучшие компромиссы, чем остальные существующие альтернативы.

Как мы условились выше, рассмотренные поражающие факторы представляют собой различные проявления трех видов энергии: механической, термической и химической. Для конкретных начальных условий с помощью математического моделирования возможно определить уровни этих видов энергий в интересующих областях пространства в заданные моменты времени. Проводником этих энергий служит окружающая среда. В среде уровень энергии может рассеиваться, оставаться постоянным или усиливаться (в зависимости от характера фактора, являющегося его источником). Кроме того, определенные уровни энергий в определенных условиях окружающей среды, могут становиться причиной возникновения новых поражающих факторов и т.д.

Таким образом итоговая имитационная модель, для каждого набора начальных условий (условий окружающей среды, характера их изменчивости, мест локализации поражающих факторов, их локальному графу причинно-следственных связей, интенсивности и т. п.) определит временные ряды пространственного распределения всех уровней энергии, т.е. вариант будущего мира. Проведя моделирование во всем диапазоне возможных начальных условий и определив множество соответствующих им будущих миров, аналитики смогут оценить в каждом из них степень успешности стратегий, предлагаемых для противостояния поражающим факторам. Предпочтение следует отдавать не тем стратегиям, которые дают наилучшие результаты в ограниченном количестве миров, а тем, которые дают приемлемые результаты в подавляющем их большинстве.

Кроме инструментария для принятия решений в условиях глубокой неопределенности, итоговая имитационная модель может так же быть использована для прогноза опасности поражающих факторов уже произошедшего извержения. Уточнив диапазон начальных условий моделирования на основе имеющейся информации (данные дистанционного зондирования, видео материалы очевидцев, местного прогноза погоды и т.п.) возможно получить достаточно надежный прогноз будущего мира в краткосрочной перспективе и значительно сузить количество возможных будущих миров в долгосрочной. Постоянно уточняя условия моделирования на основе поступающей информации,

возможно поддерживать актуальность прогноза, что позволит специалистам оперативно адаптировать тактику и стратегию противостояния катастрофе.

Для понимания истинной природы последствий извержений, исследователям требуется междисциплинарные исследования поведения вулканов в периоды покоя, а также во время и после извержений. Полученные данные, будут иметь важное значение для разработки мер по смягчению последствий, направленных на сокращение человеческих жертв в результате будущих взрывных извержений. Математическое моделирование, должно стать важным инструментом прогнозирования будущих катастроф. В условиях продолжающегося роста глобальной урбанизации, управление, направленное на снижение и ликвидацию последствий вулканических извержений в городах и других густонаселенных районах, станет основной задачей для ученых и специалистов в будущем.

Таким образом, при оценке рисков опасности, необходимо учитывать целый ряд факторов и мер по смягчению последствий. При этом не стоит использовать показатели смертности из исторических данных, как отражение важности, придаваемой мониторингу того или иного вулкана. Предшествующие вулканическим извержениям периоды затиший настолько длительны, что по ним вообще отсутствуют какие-либо временные ряды наблюдений. Нам повезло, что частота повторения крупных извержений в населенных районах существенно ниже, чем в случае других стихийных бедствий.

Так как необходимые данные и модели, способные прогнозировать извержения, на данный момент отсутствуют, то единственный выход заключается в анализе различных сценариев их возможных реализаций. Это позволит выработать подходы к принятию обоснованных решений по подготовке к возможным последствиям извержений.

Модели, лежащие в основе такого анализа, не должны быть слишком громоздкими для вычислений, так как в случае реального извержения, у органов, принимающих решения, может не быть мощных вычислительных средств, а также времени на детальные расчеты. При этом они будут остро нуждаться в динамически адаптивном, заранее созданном плане действий, обеспечивающим им поиск адекватного алгоритма реагирования на конкретную ситуацию. Такой алгоритм в случае получение новых данных должен иметь возможность незамедлительно подстроиться и обеспечить необходимой информацией для принятия решений органы власти.

2 Пилотирование моделей и методов принятия решений по предупреждению и противодействию слабопредсказуемым угрозам

2.1 Разработка прототипа программного комплекса оценивания эффектов от слабопредсказуемых угроз техногенного и природного характера

Финансовые временные ряды очень часто имеют сложную структуру, которая для описания и моделирования требует учитывать гетероскедастичную природу таких данных, когда не выполняется предпосылка о постоянстве дисперсии и в таких рядах четко видна тенденция к кластеризации отклонений от средних значений. Пример такого временного ряда приведен на рисунке 25 – на нижнем рисунке, где приведен ряд доходности для соответствующих стоимостей с верхнего рисунка, хорошо видно, как периоды с небольшим уровнем волатильности сменяются периодами повышенной волатильности, что соответствует периодам турбулентности на рынке и резких изменений стоимости финансового актива вследствие каких-то внешних либо внутренних потрясений.

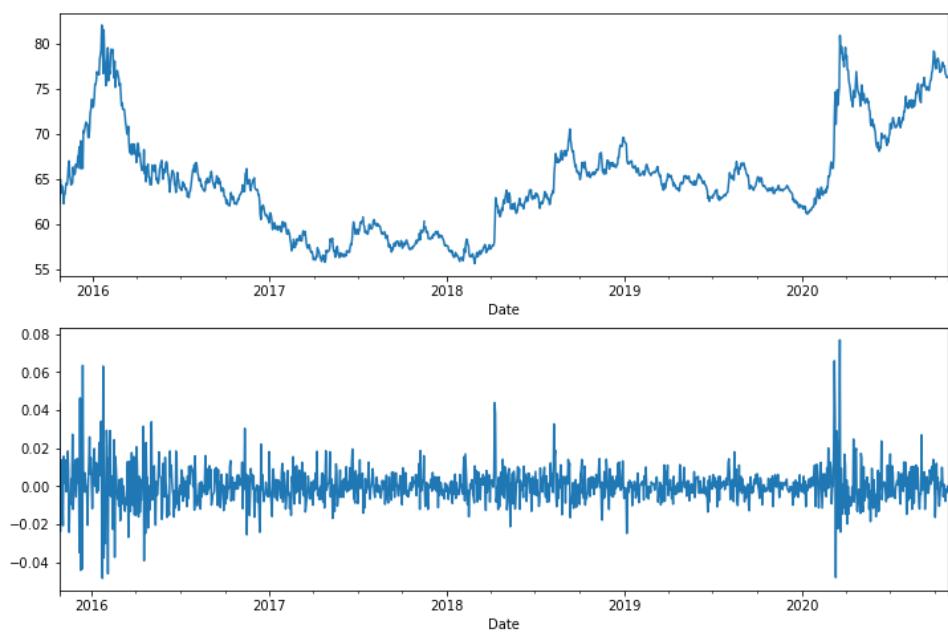


Рисунок 25 – Пример временного ряда с гетероскедастичностью. На верхнем рисунке показан временной ряд валютной пары USD/RUB для периода 27.10.2015-27.10.2020, на нижнем – его доходность.

Как правило, в эконометрических моделях используются модели типа ARCH и GARCH, в которых значения отклонений зависят от величин предыдущих отклонений и остатки временного ряда представляют не белый шум, и сами моделируются с помощью отдельной модели, в которой процесс белого шума перемножается на стандартное отклонение, квадрат которого зависит от остатков прошлых периодов.

Другой подход к моделированию кластерной структуры временных рядов предлагает модель процессов Хоукса, природа которого содержательно может отображать

два источника нестабильности процесса – внешние и внутренние причины. Финансовые рынки реагируют на внешние события – войны, стихийные бедствия, политическими действия, например, введение санкций и т.п. и поэтому необходимо учитывать такой системный риск от внешнего вмешательства. Но не меньшее влияние могут оказывать и внутренние причины, когда большое число участников рынка и их разнородность по характеристикам, целям, возможностям, информированности и т.п., быстрота взаимодействия между участниками рынка, склонность к стадному поведению и другие примеры нерационального поведения [Kahneman]⁴⁰² – все это может вызывать каскадный эффект, когда действия одного участника влияют на других и, например, панические продажи акций одним участником «заражают» дурным примером других участником и приводят к финансовым кризисам.

Именно такую двойственный характер зависимости значений временного ряда как от внешних причин, так и от внутренних, и моделируют процессы Хоукса.

Процессы Хоукса

Мы будем рассматривать процессы, представляющие временной ряд появления некоторых событий, в частности момент сильного отклонения цены от среднего значения и повышенной волатильности. Пусть (Ω, \mathcal{F}, P) – вероятностное пространство и случайные моменты времени $\{t_i : 0 = t_0 < t_1 < t_2 < \dots\}$ обозначают моменты наступления таких событий, который называется точечным процессом. Процесс $N(t) = N_t = \sum_{i \in N^*} 1_{\{t_i \leq t\}}$, показывающий сколько событий наступило к моменту времени t , называется считающим процессом.

Дополнительно точечный процесс может содержать дополнительные переменные, когда указываются наборы точек $\{(t_i, m_i)\}$, отмечающих не только моменты событий t_i , но и амплитуду шока m_i .

Интенсивность процесса описывает среднее число событий в единицу времени

$$\lambda(t|\mathcal{F}_t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} E \left[\frac{N(t + \Delta t) - N(t)}{\Delta t} \mid \mathcal{F}_t \right] \quad (74)$$

или, эквивалентным образом, вероятность появления события

⁴⁰² Kahneman D. Thinking, fast and slow. - N.Y.: Penguin, 2011.

$$\lambda(t|\mathcal{F}_t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P[N(t + \Delta t) - N(t) > 0 | \mathcal{F}_t]}{\Delta t} \quad (75)$$

В процессах Хоукса функция интенсивности процесса записывается следующим образом:

$$\lambda(t) = \lambda_0(t) + \sum_{t_i < t} v(t - t_i), \quad (76)$$

где $\lambda_0: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}_+$ обозначает детерминированную «базовую» интенсивность, а функция $v: \mathbb{R}_+ \rightarrow \mathbb{R}_+$ отражает влияние произошедших событий в моменты времени t_i на текущее значение интенсивности.

Функцию $\lambda_0(t)$ называют также базовой интенсивностью, именно она моделирует возможность появления внешних событий, а функцию $v(t)$ – ядром, которые и отвечает за моделирование внутренних процессов, повышая вероятность появления новых событий из-за случившихся до этого событий.

Хоукс (Hawkes)⁴⁰³ предложил использовать экспоненциальную функцию

$$v(t) = \sum_{j=1}^P \alpha_j e^{-\beta_j t} \quad (77)$$

и в этом случае простейшая форма интенсивности с постоянной базовой интенсивностью $\lambda_0(t) = \lambda_0$ выглядит следующим образом:

$$\lambda(t) = \lambda_0 + \sum_{t_i < t} \alpha e^{-\beta(t-t_i)}. \quad (78)$$

Здесь параметр α задает «скакок» интенсивности вероятности появления последующих событий при появлении очередного события, а параметр β определяет скорость снижения интенсивности обратно к базовому уровню с течением времени.

⁴⁰³ Hawkes A. G. Spectra of Some Self-Exciting and Mutually Exciting Point Processes // Biometrika. - 1971. - Vol. 58. - No. 1. - p. 83-90.

Процессы Хоукса широко используются в моделировании различного рода процессов из области экономики и финансов [Aït-Sahalia et al⁴⁰⁴; Toke a⁴⁰⁵; Hewlett⁴⁰⁶; Egorova & Klimyuk⁴⁰⁷].

Тем не менее, понимание природы волатильности на финансовых рынках приводит к тому, что для моделирования временного ряда нужно учитывать разные режимы функционирования экономики, когда внешний мир задает разные периоды – есть периоды относительного спокойствия, когда внешние события случаются редко, и периоды бурных потрясений, когда системный риск возрастает и частота появления событий вследствие внешних факторов будет намного выше, чем в периодах относительного спокойствия. Это можно моделировать с помощью более сложной структуры базовой интенсивности $\lambda_0(t)$, отвечающей за появление событий из-за внешних по отношению к финансовой системе явлений. Одним из вариантов может быть использование функциональной зависимости, однако в этом случае требуется теоретическое обоснование вида этой функции, что представляет собой отдельный сложный вопрос. В этой же работе мы предлагаем моделировать разные периоды (режимы функционирования) рынка с помощью марковской цепи.

Марковские цепи

Цепи Маркова служат одним из основных инструментов моделирования сложных систем, когда изучаемая система X_t в момент времени t может находиться в одном из состояний из множества возможных состояний $S_t \in S = \{1, \dots, N\}$, а ее функционирование определяется последовательными случайными переходами между состояниями.

Вероятность выбора определенного состояния зависит только от текущего состояния цепи, но не от ее предыдущей истории, о которой обычно говорят как “цепь Маркова не имеет памяти”:

⁴⁰⁴ Aït-Sahalia Y., Cacho-Diaz J., Laeven R. J. A. Modeling financial contagion using mutually exciting jump processes // Journal of Financial Economics. – 2015. - 117 (3). - p. 585-606.

⁴⁰⁵ Toke I.M. "Market making" in an order book model and its impact on the bid-ask spread, in F. Abergel, B. Chakrabarti, A. Chakraborti & M. Mitra, eds, 'Econophysics of Order-Driven Markets', New Economic Windows, Springer-Verlag Milan, 2011, p. 49–64.

⁴⁰⁶ Hewlett P. Clustering of order arrivals, price impact and trade path optimisation // Workshop on Financial Modeling with Jump processes, Ecole Polytechnique. - 2006. – p. 6-8.

⁴⁰⁷ Egorova L., Klimyuk I. Hawkes processes for forecasting currency crashes: Evidence from Russia, in: Procedia Computer Science Vol. 122: 5th International Conference on Information Technology and Quantitative Management, ITQM 2017. Elsevier, 2017. P. 1182-1188.

$$Pr[X_{t+1} = s_{t+1} | X_0 = s_0, X_1 = s_1, \dots, X_t = s_t] = Pr[X_{t+1} = s_{t+1} | X_t = s_t].$$

При определенных условиях цепочка Маркова имеет уникальное стационарное распределение состояний, к которому она сходится.

Обозначим через P матрицу переходов между состояниями в цепи Маркова.

Марковская цепь называется эргодической, если возможно перейти из любого состояния системы в любое другое ее состояние за $t > 0$ шагов, так что $p_{ij}^t > 0$. Если существует число k , такое что переход из любого состояния в любое другое состояние может быть совершен за k шагов, то марковская цепь называется регулярной. У такой, регулярной марковской цепи для любого произвольного начального распределения вероятностей p существует предел $\lim_{t \rightarrow \infty} p_{ij}^t$, который равен $\lim_{t \rightarrow \infty} p_{ij}^t = w$, такой что $w = wP$.

Для нашей задачи сосредоточимся пока на простейшей модели, в которой есть два возможных состояния системы $S = \{Low, High\}$, которые отражают низкий и высокий уровень системного риска вследствие каких-либо внешних факторов, и будут переключать базовый уровень интенсивности процесса Хоукса λ_0 из состояния λ_L в состояние λ_H . Таким образом, мы сможем моделировать периоды низкой и высокой нестабильности на финансовых рынках и строить более реалистичные модели поведения финансовых временных рядов.

Алгоритм симуляции процесса Хоукса с базовой интенсивностью, управляемой марковской цепью

Для симуляции данных в виде точечного процесса, имеющего природу классического процесса Хоукса, в (Ogata)⁴⁰⁸ был предложен метод, основанный на «процедуре прореживания» (thinning procedure) [Lewis & Shedler]⁴⁰⁹. С ее помощью можно моделировать случайный процесс с ограниченной интенсивностью.

Схема алгоритма симуляции точечного процесса Хоукса на интервале $[0, T]$ состоит в следующем:

⁴⁰⁸ Ogata Y. On Lewis' simulation method for point processes // IEEE Transactions on Information Theory. – 1981. - No. 27(1). - pp. 23–31.

⁴⁰⁹ Lewis P. A. W., Shedler G. S. Simulation of Nonhomogeneous Poisson processes by thinning // Naval Research Logistics Quarterly. – 1979. - No. 26(3). - pp. 403–413.

1) Инициализация процесса: $\lambda^* = \lambda_0, n = 1$ для разыгрывания первого события.

Здесь и далее λ^* обозначает максимальную интенсивность процесса для момента t , т.е.

$$\lambda_t \leq \lambda_t^*.$$

2) Разыгрывание первого события (по методу обратной функции). Выбирается случайная величина U , распределенная по равномерному закону на интервале $[0,1]$, и момент первого события определяется как $t_1 = -\frac{1}{\lambda^*} \ln U$, если это значение меньше T , и $t_1 = T$ в противном случае. Формула $-\frac{1}{\lambda^*} \ln U$ используется, поскольку для первого события можно считать, что мы рассматриваем однородный процесс Пуассона, в котором длины интервалов между последовательными событиями распределены по экспоненциальному закону.

3) Разыгрывание всех остальных событий.

a) Формирование максимальной интенсивности. После разыгрывания очередного события интенсивность увеличивается на α и далее события разыгрываются с интенсивностью $\lambda^* = \lambda_{t_{n-1}} + \alpha$.

b) Формирование потенциального следующего события. С помощью новой интенсивности λ^* разыгрывается новое (но пока еще не окончательное, а потенциальное) событие $t_n = t_{n-1} - \frac{1}{\lambda^*} \ln U$.

c) Этап «прореживания». Выбирается случайная величина D , распределенная по равномерному закону на интервале $[0,1]$, и момент события t_n , определенный на предыдущем шаге, считается реализованным, если $D \leq \frac{\lambda(t)}{\lambda^*}$. Если же $D > \frac{\lambda(t)}{\lambda^*}$, то событие t_n отбрасывается (прореживается) и обновляется максимальная интенсивность $\lambda^* = \lambda(t_n)$, с помощью которой разыгрывается следующая попытка установления момента следующего события так, как это делается в пункте b этого алгоритма.

Пример симуляции процесса Хоукса по этому алгоритму приведен на рисунке 26.

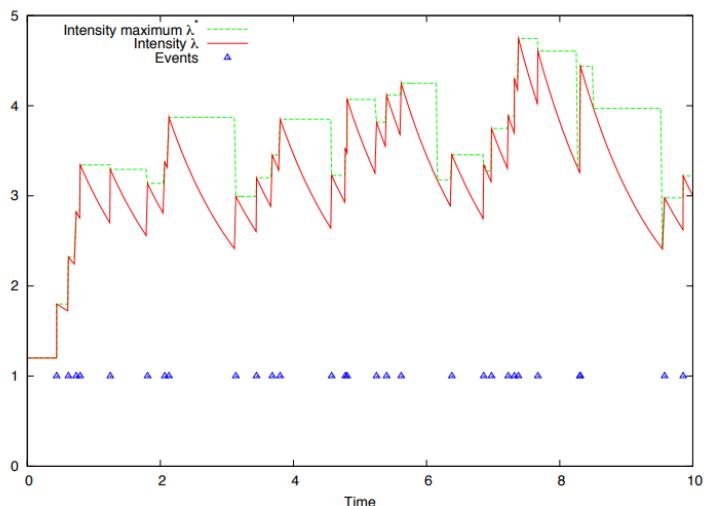


Рисунок 26 – Пример симуляции процесса Хоукса по алгоритму прореживания. Взят из Toke b⁴¹⁰

Будем разыгрывать базовую интенсивность с двумя уровнями с помощью цепи Маркова, модифицировав алгоритм с «прореживанием» так, чтобы при каждой попытке разыгрывания очередного момента появления события максимальный уровень интенсивности брался с учетом того, в каком состоянии на этот момент находится цепь Маркова. Примеры трех симуляций временного ряда приведены на рисунке 27. Ступенчатая функция отображает переключение цепи Маркова из положения с низким уровнем базовой интенсивности λ_L в положение с высоким уровнем базовой интенсивности λ_H и обратно.

Из рисунка 27 видно, что в моменты высокого системного риска λ_H количество событий резко возрастает, особенно если период высокого риска не заканчивается слишком быстро – в этом случае процесс не успевает «разогнаться». С другой стороны, видно, что внутренняя склонность процесса Хоукса (даже классического) самовозбуждаться и устраивать кластерную структуру за счет второго слагаемого и функции ядра позволяет иметь «всплески» событий и в периоды низкого внешнего риска λ_L (особенно на втором примере).

⁴¹⁰ Toke I.M. An Introduction to Hawkes Processes with Applications to Finance, http://lamp.ecp.fr/MAS/fiQuant/ioane_files/HawkesCourseSlides.pdf

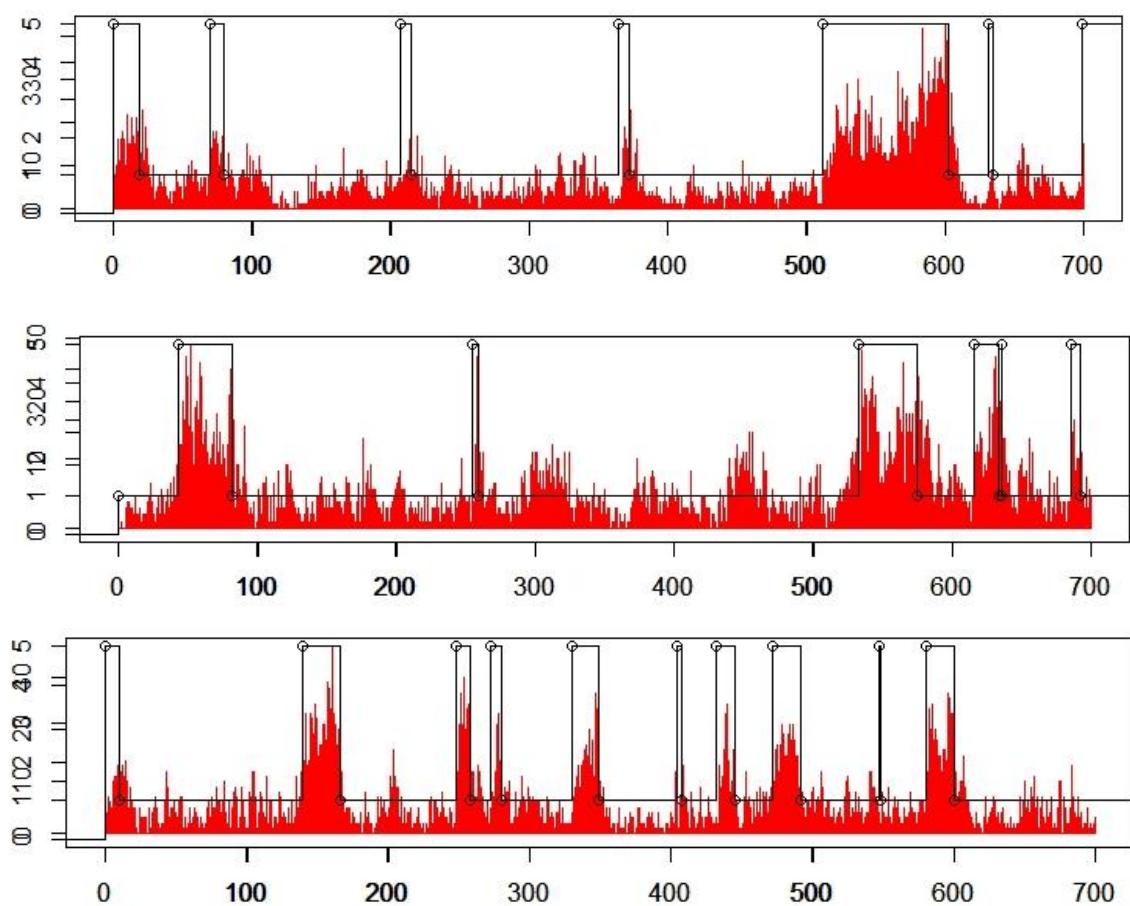


Рисунок 27 – Примеры трех симуляций временного ряда, в котором базовая интенсивность процесса Хоукса переключается с помощью цепи Маркова

В данной работе была предложена модель временных рядов, имеющих кластерную структуру и гетероскедастичность, в которой эти артефакты объясняются с содержательной точки зрения как следствие воздействия двух причин – внешнего мира, генерирующего события с некоторыми переменными уровнями системного риска, и внутренней рефлексивности процесса, склонного повышать вероятность появления следующего события в зависимости от предыстории развития процесса. Переменный уровень системного риска управляет марковской цепью и отражает возможность изменения характеристик внешней среды.

Дальнейшая работа в этом направлении будет связана с созданием алгоритма и программного комплекса для оценки параметров процесса Хоукса с переменной базовой интенсивностью, моделируемой марковской цепью, с одновременным распознаванием моментов переключений цепи и оценкой уровней базовой интенсивности с помощью разного рода фильтров.

2.2 Исследование слабопредсказуемых событий и методов оценивания эффектов от их наступления в сфере международной торговли продовольствием, проведение сетевого анализа международной торговли продовольствием

Часть описания данного пункта ТЗ содержится в разделе 1.5. выше.

Большинство существующих социальных, экономических, технологических и других сложных систем могут быть представлены в виде сетевых структур, вершинами которых являются элементы системы, а связи отражают различные отношения между ее элементами. Поскольку большинство сетей изменяется во времени, возникает необходимость в изучении структуры взаимосвязей между элементами системы, в выявлении взаимосвязанных групп, а также в определении критически важных элементов, влияющих на функционирование всей системы. Особую роль данные задачи приобретают в условиях глубокой неопределенности и роста вероятности возникновения слабопредсказуемых событий.

Данное исследование посвящено проблеме выявления наиболее важных элементов сети в условиях глубокой неопределенности. На текущий момент в литературе известно большое количество различных моделей оценки влияния в сетевых структурах. Наиболее известные модели центральности основаны на подсчете общего числа взаимосвязей у каждого элемента сети (degree centrality), степени посредничества каждой вершины (betweenness centrality), близости к другим вершинам (closeness centrality) или подсчете важности вершины с учетом важности других вершин (eigenvector centrality). Подробная информация о различных моделях центральности приведена в работе [Aleskerov et al⁴¹¹. Тем не менее, вопрос чувствительности данных моделей к возникновению слабопредсказуемых событий ранее не исследовался. Таким образом, в рамках данного исследования планируется изучение устойчивости существующих моделей центральности к различным изменениям в структуре сети. Кроме того, на примере торговли продовольственными товарами производится ранжирование устойчивых участников сети, а также осуществляется оценка эффектов слабопредсказуемых угроз.

В рамках текущего исследования рассматриваются два основных вопроса. Во-первых, производится оценка чувствительности существующих классических моделей центральности к различным изменениям в структуре сети. Во-вторых, производится выявление наиболее важных элементов в сети торговли продовольствием, а также

⁴¹¹Aleskerov, F., Shvydun, S., & Meshcheryakova, N. (2021). New Centrality Measures in Networks: How to Take into Account the Parameters of the Nodes and Group Influence of Nodes to Nodes (1st ed.). Chapman and Hall/CRC. <https://doi.org/10.1201/9781003203421>.

исследуется чувствительность структуры международной торговли и ее элементов к возникновению слабопредсказуемых угроз.

Исследование чувствительности классических моделей центральности.

Рассмотрим граф $G = (V, E, W)$, где $V = \{1, \dots, n\}$ – множество вершин, $|V| = n$, $E \subseteq V \times V$ – множество ребер, а $W = \{w_{ij}\}$ – множество весов – действительных чисел, соответствующих каждому ребру $(i, j) \in E$. Граф G называется ненаправленным, если $\forall i, j \in V: (i, j) \in E \Rightarrow (j, i) \in E$ и направленным в противном случае. Граф G называется невзвешенным, если $\forall i, j, k, l \in V: (i, j) \in E, (k, l) \in E \Rightarrow w_{ij} = w_{kl}$. В рамках данного направления рассмотрим только ненаправленные невзвешенные графы.

На данный момент существует большое количество индексов центральности, с помощью которых можно оценить степень влияния каждой вершины сети. Широко известны степенные центральности (degree centrality), учитывающие число связей каждой вершины [Freeman]⁴¹², центральности по близости (closeness centrality) и посредничеству (betweenness centrality), в основе которых лежит поиск кратчайших путей между элементами сети [Freeman⁴¹³, Rochat⁴¹⁴], а также центральности, которые оценивают важность вершины с учетом важности ее соседей (eigenvector centrality, (Katz)⁴¹⁵), либо вероятность ее посещения при случайных блужданиях в графах (PageRank, [Brin & Page]⁴¹⁶). Каждая из приведенных моделей основана на различных интерпретациях того, какую именно вершину надо считать самой важной в сетевой структуре. Тем не менее, поскольку структура сети постоянно изменяется во времени, возникает вопрос того, насколько сильно результаты данных моделей чувствительны к изменениям самой структуры.

Для оценки чувствительности известных моделей центральности произведем вычислительный эксперимент. Рассмотрим следующие классические сетевые структуры:

1) Случайный граф, в котором ребро между любой парой вершин образуется с вероятностью p .

⁴¹² Freeman L.C. Centrality in social networks: conceptual clarification// Social Networks, 1, 1979, pp.215239.

⁴¹³ Freeman L.C. A set of measures of centrality based upon betweenness// Sociometry, 40, 1977, pp.3541.

⁴¹⁴ Rochat Y. Closeness Centrality Extended to Unconnected Graphs: The Harmonic Centrality Index// ASNA, 2009.

⁴¹⁵ Katz L. A New Status Index Derived from Sociometric Index// Psychometrika, 1953, pp.3943.

⁴¹⁶ Brin S., Page, L. The anatomy of a largescale hypertextual Web search engine// Comput. Netw., 30, 1998, pp.107117.

2) Сеть малого мира (small-world graph), в рамках которого создается регулярный граф, а затем каждое ребро переписывается с вероятностью p на другой случайно выбранный узел.

3) Граф квадратной решетки, в котором вершины соответствуют точкам на координатной плоскости с различными координатами, а вершины соединены ребром, если соответствующие точки находятся на расстоянии 1.

Визуализация данных сетевых структур приведена на рисунке 28.

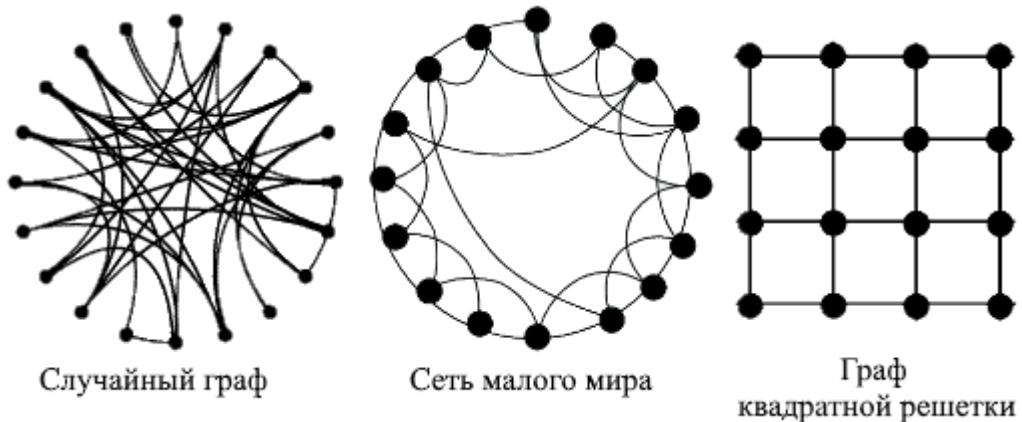


Рисунок 28 – Классические сетевые структуры.

Рассмотрим чувствительность индексов центральности к следующим изменениям структуры сети:

- Добавление случайного ребра между вершинами.
- Удаление случайного ребра между вершинами.

Вычислительный эксперимент был осуществлен следующим образом. На первом этапе генерировалось по 1000 графов каждой заданной структуры, состоящих из 100 вершин. На втором этапе производилось изменение структуры сгенерированного графа. На третьем этапе производилось вычисление соответствующего индекса центральности на исходном и измененном графе. Наконец, определялся коэффициент корреляции Пирсона между индексами центральности для оценки чувствительности того или иного индекса к возникшим изменениям в графе. Результаты эксперимента приведены в таблице 23.

Таблица 23 — Чувствительность индексов центральности к изменениям в графе

Тип графа	Тип изменения	Устойчивость индексов центральности (по убыванию)
Случайный	Добавление ребра	Degree centrality > PageRank > Closeness centrality > Betweenness centrality > Eigenvector centrality

Продолжение таблицы 23

Тип графа	Тип изменения	Устойчивость индексов центральности (по убыванию)
Случайный	Удаление ребра	Degree centrality \succ PageRank \succ Closeness centrality \succ Betweenness centrality \succ Eigenvector centrality
Сеть малого мира	Добавление ребра	Eigenvector centrality \succ Degree centrality \succ PageRank \succ Betweenness centrality \succ Closeness centrality
Сеть малого мира	Удаление ребра	PageRank \succ Degree centrality \succ Closeness centrality \succ Betweenness centrality \succ Eigenvector centrality
Граф квадратной решетки	Добавление ребра	Closeness centrality \succ Betweenness centrality \succ Eigenvector centrality \succ Degree centrality \succ PageRank
Граф квадратной решетки	Удаление ребра	Degree centrality \succ PageRank \succ Eigenvector centrality \succ Closeness centrality \succ Betweenness centrality

Для случайных графов было обнаружено, что добавление или удаление случайного ребра в графе практически никак не повлияло на значение индексов центральности: коэффициент корреляции Пирсона изменяется для всех индексов в диапазоне между 0.98 и 1. Если сравнивать индексы центральности между собой, то было обнаружено, что результаты степенной центральности (degree centrality) и PageRank показали наибольшую согласованность со значением центральности в исходном графе, при этом наименьшую устойчивость показала центральность по собственному вектору.

Что касается модели малого мира, обладающей высокой степенью кластеризации и низким значением диаметра графа, то результаты показали более высокую чувствительность индексов центральности к изменению структуры графа: коэффициент корреляции Пирсона изменяется в диапазоне между 0.2 и 0.9. При добавлении или удалении какого-то ребра в графе наибольшим образом изменяются центральность по посредничеству и близости. Стоит также отметить центральность по собственному вектору: удаление ребра наибольшим образом изменяет данный индекс, при этом добавление нового ребра практически его не изменяет.

Наконец, результаты вычисления индексов центральности на графике квадратной решетки показали достаточно высокую устойчивость. Добавление нового ребра

практически не изменяет значение индекса центральности (коэффициент корреляции Пирсона изменяется в диапазоне между 0.95 и 1 для всех индексов), при этом наибольшие изменения наблюдаются для индекса PageRank. Данная особенность может объясняться тем фактом, что добавление случайного ребра в графе приводит к возможности перемещения между различными частями графа, которые изначально находились на большом расстоянии. Наконец, при удалении случайного ребра графа было выявлено, что наибольшим образом изменяется центральность по посредничеству, что может быть объяснено возрастанием роли некоторых вершин, ставших посредниками при удалении ребра в графе.

Исследование чувствительность структуры международной торговли и ее элементов к возникновению слабопредсказуемых изменений в графе

В рамках данного направления проанализированы изменения структуры сети с точки зрения ее ключевых элементов при возникновении слабопредсказуемых изменений в графе. Данное исследование было проведено на примере сети международной торговли продовольствием за 2019 год, вершинами которой являются различные страны, а ребрами – объемы торговли между ними. Для построения сети торговли продовольствием была использована база данных World Integrated Trade Solution Database (WITS Comtrade)⁴¹⁷. В таблице 24 приведена основная информация о крупнейших импортерах и экспортёрах продовольствия. Кроме того, приведены результаты расчета индекса PageRank, который является одним из наиболее популярных индексов центральности, применяемых для направленных графов.

Таблица 24 — Ключевые игроки в сети торговли продовольствием (ТОП-5)

Страна	Импорт	Экспорт	PageRank	Общая торговля
США	1	1	1	1
Германия	3	2	3	2
Китай	2	4	2	3
Нидерланды	7	3	7	4
Франция	6	5	5	5
Великобритания	5	19	6	9
Япония	4	43	4	10

⁴¹⁷ WITS – About WITS 2022. URL: https://wits.worldbank.org/about_wits.html.

Произведем оценку того, как изменяется структура влияния в сети при возникновении слабопредсказуемых изменений в графе. Для этого рассмотрим, как изменяется центральность каждой вершины (в данной работе использовался PageRank) в случае удаления одной из вершин в сети. Будем считать, что если удаление какой-то конкретной вершины привело к значительному изменению распределения влияния в сети, то данная вершина играет критическую роль в сети торговли продовольствием. Кроме того, для каждой вершины в графе произведем расчет того, как в среднем изменяется ее центральность при удалении любой другой вершины в графе. Данный анализ показывает устойчивость влияния элементов сети к слабопредсказуемым изменениям. Результаты данного анализа приведены в Таблице 25.

Таблица 25 — Эффект от изменения структуры сети продовольствием (ТОП-5)

Страна	Удаление вершины	Изменение центральности
США	1	1
Китай	2	4
Япония	4	2
Германия	3	3
Саудовская Аравия	8	5
Франция	5	6

Согласно полученным результатам, наибольшее изменение индекса центральности произошло при удалении США, Китая и Германии. Данные страны являются крупнейшими экспортёрами и импортёрами продовольствия, поэтому логично предположить, что удаление любой такой вершины из сети торговли продовольствием значительно изменяет влияние в сетевой структуре. Что касается изменения индексов центральности, то было отмечено, что удаление какой-то страны из сети торговли продовольствием наибольшим образом изменяет влияние таких стран, как США, Япония и Германия. Кроме того, значительно изменяется и роль Саудовской Аравии, которая входит в ТОП-20 крупнейших импортёров, а также занимает 8 место по индексу PageRank в исходной сети торговли продовольствием. В целом, мы видим, что полученные результаты согласуются с информацией о крупнейших игроах в сети торговли продовольствием.

В рамках данной исследовательской работы была изучена устойчивость существующих моделей центральности к различным изменениям в структуре сети. Было

показано, какие классические индексы центральности обладают наибольшей устойчивостью к изменениям структуры сети. Кроме того, на примере сети торговли продовольствием были выявлены наиболее важные элементы сети, а также показано, как изменяется структура сети при возникновении слабопредсказуемых угроз с точки зрения ее ключевых элементов и какие страны играют критическую роль для функционирования сети в целом. Отметим, что полученные результаты могут быть использованы как для анализа влиятельных элементов сети в условиях неопределенности и постоянно изменяющейся структуры сети, так и для исследования новых слабопредсказуемых изменений в сети.

2.3 Разработка и исследование методов выявления и ранжирования устойчивых поставщиков и покупателей стратегических продуктов с учетом санкционных ограничений

Описание данного раздела содержится в п. 1.5., которая посвящена выявлению уязвимых стран с точки зрения продовольственной безопасности, а также в п. 2.2., п. 2.6., п. 2.7.

2.4 Динамический сетевой анализ международной торговли продовольствием с учетом различных сценариев изменений санкционной политики

Описание данного раздела содержится в п. 1.5. выше.

2.5 Динамический анализ отдельных логистических сетей с учетом различных сценариев изменений санкционной политики

Описание данного раздела содержится в п. 1.5. выше.

2.6 Моделирование различных сценариев изменения международной торговли продовольствием с помощью методов форсайта

Подходы к проведению сценарного планирования разнятся. Так, в научной литературе предложены различные классификации методологии сценарного планирования. Например, Van Notten et al. разбивают их на категории в зависимости от цели (проведение исследования или поддержка процесса принятия решений), процесса реализации (process design) (учет качественных или количественных данных; использование ограниченных или неограниченных ресурсов; открытые или ограниченные институциональные условия), содержания сценария (сложный или простой).⁴¹⁸ Borjeson et al делят сценарии на три категории и шесть типов. Категории выделяются в зависимости от того, какой вопрос

⁴¹⁸ van Notten Ph. W.F, Rotmans J., Marjolein B.A van Asselt, Rothman D. S., An updated scenario typology, Futures, Volume 35, Issue 5, 2003, Pages 423-443, ISSN 0016-3287, [https://doi.org/10.1016/S0016-3287\(02\)00090-3](https://doi.org/10.1016/S0016-3287(02)00090-3).

ставит исследователь: что произойдет? Что может произойти? Как можно достичь конкретной цели? Сценарии категории «что произойдет?» (predictive scenarios) делятся на типы “forecasts” и “what-if”; . категория «что может произойти?» (explorative scenarios) – на типы “external” и “strategic”; категория «как можно достичь конкретной цели?» (normative scenarios) – на типы “preserving” и “transforming”.⁴¹⁹

Ramírez and Selin предложили типологию, в которой сценарии делятся в зависимости от выбранных методов (качественных или количественных), критерия оценки сценария – правдоподобие (plausibility) или вероятность (probability), приверженность строго научному подходу или допускающему творческие приемы.⁴²⁰ Вопрос о допустимости использования творческого подхода и его границах поднимаются в исследовательской литературе. Необходимость учета слабо предсказуемых событий также акцентирует на этом внимание. При этом, необходимо учитывать то, что сценарий должен представлять собой логичную и непротиворечивую картину будущего, вызывающую доверие заинтересованных сторон.⁴²¹ Применивший термин «сценарии» в бизнес-контексте Г. Кан, американский футуролог, сотрудник RAND Corporation и основатель Гудзоновского института, использовал подход, названный им “future-now” thinking, в котором тщательный анализ должен был сочетаться с творческим мышлением, а отчеты – представляться в том виде, как если бы они были подготовлены специалистами в будущем. Сам сценарий Г. Кан определял как подробное описание последовательности гипотетических событий, которая могла бы правдоподобно привести к предполагаемой ситуации.⁴²²

Растущий объем работ по сценарному планированию, связанных с различиями в подходах, методах, критериях эффективности становится все более фрагментированным в

⁴¹⁹ Börjeson L., Höjer M., Dreborg K.-H., Ekvall T., Finnveden G., Scenario types and techniques: Towards a user's guide, *Futures*, Volume 38, Issue 7, 2006, Pages 723-739, ISSN 0016-3287, <https://doi.org/10.1016/j.futures.2005.12.002>.

⁴²⁰ Ramírez R., Selin C. (2014) Plausibility and probability in scenario planning // *Foresight*, Vol. 16 No. 1 2014, pp. 54-74, Q Emerald Group Publishing Limited, ISSN 1463-6689

⁴²¹ RAND Europe (2015) Mapping Pathways Toolkit URL: https://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/tools/TL100/TL157/RAND_TL157.pdf

⁴²² Kahn, H., & Wiener, A.J. (1967). The use of scenarios. The Hudson Institute. Washington, USA. <https://www.hudson.org/research/2214-the-use-of-scenarios>.

зависимости от научных областей и профессиональных сообществ.⁴²³ Научную литературу по сценарному планированию условно можно разделить на три группы.⁴²⁴ Первая включает описание методологии сценарного планирования, предлагает обзоры посвященных сценарному планированию работ. Вторая описывает вариации сценарного планирования или выполнения определенных его этапов, зачастую представленные данные получены в ходе одного конкретного случая применения метода. В третьей группе исследований освещаются реализованные проекты и их результаты, часто такие проекты осуществляются в энергетической и климатической сферах, секторе физического планирования (например, землепользование, городское планирование).

Эксперты Оксфордского университета в публикации *Strategic Reframing: The Oxford Scenario Planning Approach* отмечают, что сценарное планирование сегодня является довольно популярным методом, но данные о его использовании могут вводить в заблуждение, поскольку этим термином обозначают разные вещи в зависимости от организации и ситуации. Это делает практически невозможной оценку использования и эффективности сценарного планирования.⁴²⁵

2.7 Разработка моделей и методов принятия решений в сфере торговли продовольствием в условиях глубокой неопределенности, связанной с изменением санкционных ограничений, и риска принятия неверных решений

Описание данного пункта содержится в п. 1.5. выше.

2.8 Разработка прототипа программного комплекса моделирования сценариев изменения международной торговли продовольствием и соответствующей системы поддержки принятия решений

Часть описания данного пункта ТЗ содержится в разделе 1.5. выше.

⁴²³ Ramírez, Rafael, and Angela Wilkinson, *Strategic Reframing: The Oxford Scenario Planning Approach* (Oxford, 2016; online edn, Oxford Academic, 19 May 2016), <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780198745693.001.0001>, accessed 8 Oct. 2022.

⁴²⁴ Per Dannemand Andersen, Meiken Hansen, Cynthia Selin, Stakeholder inclusion in scenario planning—A review of European projects, *Technological Forecasting and Social Change*, Volume 169, 2021, 120802, ISSN 0040-1625,

<https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120802>.

⁴²⁵ Ramírez, Rafael, and Angela Wilkinson, *Strategic Reframing: The Oxford Scenario Planning Approach* (Oxford, 2016; online edn, Oxford Academic, 19 May 2016), <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780198745693.001.0001>, accessed 8 Oct. 2022.

Обнаружение сценариев направлено на обобщение вероятных наборов будущих состояний, которые освещают ключевые уязвимые места в предлагаемых стратегиях, и на описание этих сценариев способом, полезным для лиц, принимающих решения, и других стейкхолдеров. Реализация процесса построения сценариев включает четыре шага (рисунок 29).

Шаг 1. Определение плана выборки для вычислительных экспериментов и выходного критерия, который различает интересующие кейсы.

Шаг 2. Применение одного или нескольких алгоритмов к результирующей базе данных для определения сценариев, которые хорошо описывают интересующие кейсы.

Шаг 3. Оценка сценариев с использованием различных диагностических инструментов. Процесс должен быть интерактивным и итеративным.

Шаг 4. Выбор сценария для дальнейшего анализа.

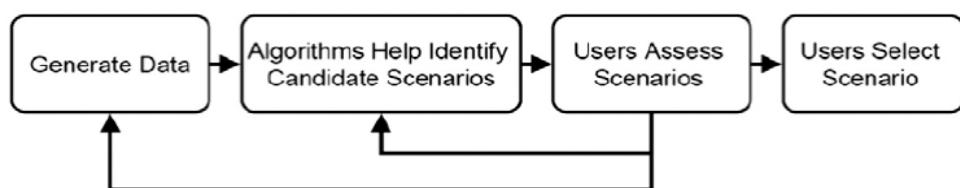


Рисунок 29 – Шаги процесса построения сценариев

Сгенерируйте данные из имитационной модели (шаг 1)

Обнаружение сценария начинается с одной или нескольких моделей компьютерного моделирования $y=f(s, x)$, которые связывают действия политиков s с интересующими их последствиями y , зависящими от вектора x , представляющего конкретную точку в M -мерном пространстве неопределенных входных параметров модели.

Чтобы реализовать обнаружение сценария, мы выбираем интересующую модель системы с экспериментальным планом для неопределенных входных данных x , сохраняя при этом постоянную потенциальную стратегию s . Используя некоторые важные для политики критерии, мы выбираем некоторый пороговый уровень производительности YI , который определяет набор интересующих случаев $I_s = \{x_i | f(s, x_i) > YI\}$ или $\{x_i | f(s, x_i) < YI\}$ в зависимости от этой стратегии.

Разнообразные альтернативные типы экспериментальных планов, такие как полный факториал или метод Монте-Карло, могут быть использованы для построения N -точечного плана эксперимента, в результате чего будет получен набор данных $\{y_i, x_i\}, i=1..N$. Латинский гиперкуб (LHS) обеспечивает удобную экспериментальную схему для обнаружения сценариев, поскольку он предоставляет эффективный образец поведения модели во входном пространстве.

Алгоритмы помогают пользователям идентифицировать потенциальные сценарии (шаг 2)

Затем при обнаружении сценариев используются статистические алгоритмы или алгоритмы интеллектуального анализа данных для определения комбинаций значений неопределенных входных параметров модели, которые лучше всего предсказывают набор интересных случаев I_s .

В частности, мы пытаемся описать множество I_s , используя один или несколько наборов ограничивающих факторов, $B_k = \{ajxjbj, jLk\}$, на диапазоны подмножества входных параметров $L_k \{1, \dots, M\}$. Входные параметры, отсутствующие в L_k , остаются неограниченными для B_k . Каждый отдельный набор одновременных ограничений B_k мы называем блоком, а набор блоков B — набором блоков. Мы интерпретируем каждый блок как сценарий, а набор нескольких блоков — как набор сценариев.

Эти характеристики предлагают три полезные меры качества для раскрытия сценария. Чтобы служить полезным подспорьем в принятии решений, набор блоков должен отражать большую часть общего числа дел, имеющих отношение к политике (высокий охват), охватывать в первую очередь дела, имеющие отношение к политике (высокая плотность), и быть простым для понимания (высокая интерпретируемость). Мы определяем и обосновываем эти критерии следующим образом:

Охват измеряет, насколько полно сценарии, определенные набором блоков B , охватывают интересующие случаи (I_s) и аналогичны «чувствительности» или «отзыву» в полях классификации и поиска информации. При двоичном выводе охват представляет собой просто отношение общего количества интересующих случаев в наборе сценариев B к общему количеству интересующих случаев, т. е.

$$\text{охват} = \frac{\sum_{x_i \in B} y'_i}{\sum_{x_i \in I_s} y'_i}, \quad (79)$$

где $y'_i = 1$, если $x_i \in I_s$ и $y'_i = 0$ иначе.

Лица, принимающие решения, должны счесть этот показатель охвата важным, поскольку они хотели бы, чтобы сценарии объясняли как можно больше представляющих интерес случаев.

Плотность измеряет чистоту сценариев и имеет аналоги с «точностью» или «положительной прогностической ценностью» в других областях. При двоичном выводе плотность может быть выражена как отношение общего числа представляющих интерес наблюдений в сценарии к количеству наблюдений в этом сценарии, то есть

$$\text{плотность} = \frac{\sum_{x_i \in B} y'_i}{\sum_{x_i \in B} 1}. \quad (80)$$

Лица, принимающие решения, должны найти эту меру важной, поскольку они хотели бы, чтобы каждый сценарий был надежным предиктором интересующих случаев.

Интерпретируемость измеряет легкость, с которой лица, принимающие решения, могут понять набор блоков и использовать его, чтобы получить представление о своем приложении для анализа решений. Таким образом, эта мера очень субъективна, но мы, тем не менее, можем аппроксимировать ее количественно, сообщив количество блоков в наборе блоков и максимальное количество входных параметров модели, ограниченных любым блоком, что эквивалентно размеру набора L выше.

Идеальный набор сценариев должен сочетать в себе высокую степень плотности, охвата и интерпретируемости.

Алгоритмы обнаружения сценариев

PRIM (метод индукции правил пациента) удобен для обнаружения сценариев, поскольку он очень интерактивен, представляет несколько вариантов выбора сценариев и обеспечивает визуализацию, которая помогает пользователям сбалансировать три показателя качества сценария: охват, плотность и интерпретируемость.

CART (Дерево классификации и регрессии), по-видимому, дает такие же результаты, как и PRIM, но с меньшим взаимодействием с пользователем и большим объемом работы, требуемой для создания наборов блоков с высокой интерпретируемостью.

Пользователи оценивают сценарии с помощью диагностики (этап 3)

Проблемы с PRIM. Он без необходимости отсекает конец диапазона параметра, ошибочно предполагая, что предлагаемая политика может оказаться чувствительной даже к небольшому изменению какого-либо параметра. Возможность таких ошибок вызывает беспокойство, потому что политика может быть действительно чувствительна к небольшим изменениям.

Такие потенциальные ошибки подчеркивают важность использования диагностических инструментов для оценки статистической значимости ограничений параметров, предложенных алгоритмом обнаружения сценариев.

Мы предлагаем пользователям использовать для этой цели тест квазир-значения и тест передискретизации. Эти методы, обычно используемые в области статистического обучения для диагностики качества моделей, соответствующих данным, оказались подходящими, поскольку ошибки PRIM являются результатом конечной и стохастической выборки экспериментального плана LHC.

Эти два теста помогают обнаруживать ошибки, описанные выше, путем оценки вероятности того, что какое-либо ограничение параметра вызвано случайностью, и путем изучения степени, в которой определение сценария варьируется в нескольких выборках исходных данных. Эти тесты применяются только к отдельным блокам, а не ко всему набору блоков.

Тест повторной выборки

Этот диагностический инструмент оценивает определение сценария, оценивая, насколько часто одно и то же определение возникает в разных образцах одной и той же базы данных. Тест повторной выборки запускает алгоритм на нескольких подвыборках исходного набора данных и отмечает, какие из ограничений параметров последовательно становятся важными в результирующих определениях сценария.

Квази-р-тест

Этот диагностический инструмент использует то, что по сути является тестом р-значения, чтобы оценить вероятность того, что PRIM ограничивает какой-либо параметр чисто случайно. Рассмотрим один блок β в наборе блоков B , определенный ограничивающими ограничениями на параметры в наборе $L\beta$, и который содержит H случаев с высоким значением ($y_j=1$) из общего количества T случаев. Чтобы вычислить это квази-значение p , рассмотрим блок $\beta-j$, определенный ограничениями на все параметры в $L\beta$, кроме параметра x_jL . В этом поле содержится общее количество случаев $T-j$ и представляющих интерес случаев $H-j$ с $T-jT$ и $H-jH$. Затем мы рассматриваем нулевую гипотезу о том, что интересующие нас случаи в пределах $-j$ распределяются среди всех случаев в $-j$ согласно биномиальному распределению с $p(1)=H-j/T-j$. Таким образом, тест «значение qr» отвечает на вопрос: какова вероятность того, что T точек, взятых из приведенного выше биномиального распределения, будут иметь H или более очков с более высокими значениями? Когда отношение $H-j/T-j$ близко к H/T , это число велико, дополнительный вклад параметра g_j низок и, таким образом, возможно, обусловлен случайностью. Противоположный случай, когда H/T намного больше, чем $H-j/T-j$.

Пример (Томан, Гриффин и Лемперт)

Рассмотрим потенциальное влияние потребности в возобновляемых источниках энергии в Соединенных Штатах, чтобы изучить преимущества и издержки политики «25 на

25», требующей, чтобы 25 процентов электроэнергии и моторного топлива производились из возобновляемых источников к 2025 году. Модель прогнозирует выбросы парниковых газов. Выбросы и экономические издержки такой политики зависят от множества предположений о будущих затратах и эффективности различных технологий, поведении потребителей и других факторах. Модель предполагает, что во многих случаях политика 25x25, вероятно, принесет значительные социальные выгоды, включая сокращение выбросов парниковых газов и зависимость США от иностранной нефти, но в некоторых случаях может быть чрезвычайно дорогостоящей.

Для анализа — при каких условиях политика 25×25 приводит к неприемлемо высоким экономическим издержкам?

Имитационная модель TGL имеет девять неопределенных входных параметров, как показано в таблице 26, вместе с допустимым диапазоном их изменения.

Таблица 26 — Диапазон значений, учитываемых для неопределенных входных параметров модели

Uncertain Model Input Parameter	Low	High	Units
Biofuel Production Cost	67	134	\$ per unit input
Low-cost biomass supply	450	1000	millions of tons
Feedstock supply distribution	0	1	pessimistic to optimistic
Biofuel yield	80	100	gallons per ton
Oil supply elasticity	0.2	0.6	
Transportation demand elasticity	-0.2	-0.8	
Electricity co-product	0	2	kWh per gallon
Shift in oil supply curve	-10	10	% change
Biomass backstop price	90	200	\$ per ton

1) Генерация данных

Мы создали экспериментальный план LHS с 1000 точками в этом пространстве, и этот план дает базу данных из 882 случаев, поскольку модель не сходится в 118 случаях. Каждая запись в базе данных имеет десять записей, девять со значением для каждого из неопределенных входных параметров и одна с результирующим значением выходных данных интересующей модели, то есть стоимость для потребителей политики 25 × 25 в зависимости от значений из девяти входов. На рисунке 30 показано распределение затрат по этим 882 случаям.

2) Указываем интересующие результаты

Затем мы характеризуем выходные значения в этой базе данных, проводя различие между представляющими интерес случаями с неприемлемо высокими затратами для политики 25×25 и другими случаями с более низкими затратами. Кроме того, мы определяем высокую стоимость как любой случай, стоимость которого превышает 90-й

процентиль и составляет примерно 78 млрд долл. Таким образом, результирующая база данных присваивает значение единицы для случаев, стоимость которых превышает 90-й процентиль, и ноль в противном случае (рисунок 30).

Histogram of Expenditure Change for Revenue Neutral Policy

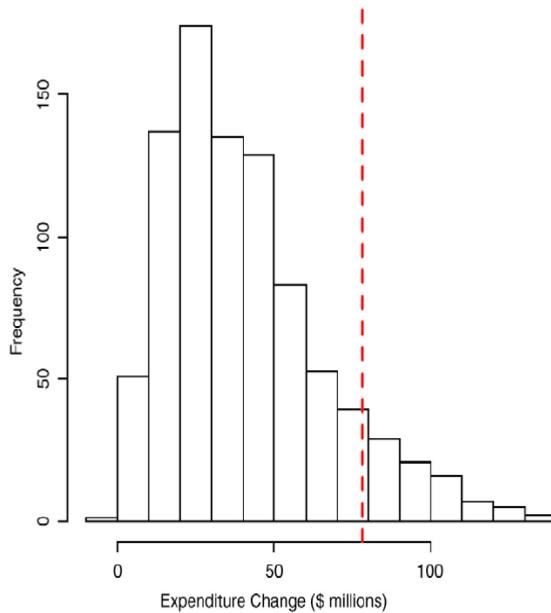


Рисунок 30 – Распределение затрат по экспериментальному проекту из 882 пунктов для политики 25×25 . Пунктирная красная линия указывает порог для наихудших 10% случаев.

3) Определяем сценарии

Теперь мы используем алгоритм PRIM, чтобы кратко суммировать комбинации неопределенных значений входных параметров модели, которые лучше всего предсказывают эти дорогостоящие случаи. На рисунке 31 показаны несколько кривых компромисса между плотностью покрытия и плотностью покрытия, полученных при обнаружении сценария.

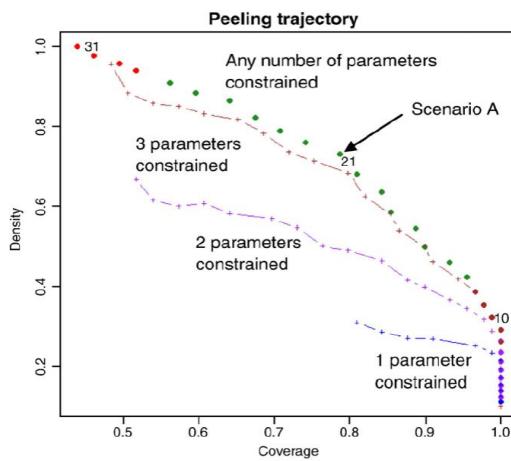


Fig. 3. Coverage density tradeoff curves for scenarios that describe the high cost cases for the 25×25 policy using 1, 2, 3, and any number of parameters.

Рисунок 31 – Кривые компромисса соотношения плотности покрытия для сценариев,

описывающих случаи высокой стоимости для политики 25×25 с использованием 1, 2, 3 и любого количества параметров

Закрашенные кружки представляют комбинации охвата и плотности, определяемые PRIM, когда он может свободно использовать любое количество параметров. На рисунке также показаны комбинации плотность-покрытие, достигнутые при неизменном общем числе используемых параметров. Эти последние точки находятся путем удаления наименее важных параметров из более сложных блоков. Таким образом, они не представляют собой полный или оптимальный поиск, но служат для освещения компромиссов между показателями качества сценария охвата, плотности и интерпретируемости.

Для целей этого примера рассмотрим сценарий A, в котором используются четыре параметра для достижения покрытия 79 % и плотности 73 %. На рисунке 32 показаны комбинации значений параметров, которые PRIM использует для определения сценария A. Сценарий включает в себя возможные будущие состояния мира, при которых эластичность спроса на транспортировку и вспомогательная цена на биомассу находятся в верхней половине своих диапазонов, а затраты на производство биотоплива находятся где-то выше самая низкая граница своего диапазона, а предложение дешевой биомассы находится в нижней половине своего диапазона.

В целом, 73% случаев в наборе данных, которые соответствуют этим четырем условиям, имеют высокие затраты (т. е. плотность 73%). Из всех дорогостоящих случаев в наборе данных 79% соответствуют этим четырем условиям (т. е. охват 79%). Как показано на рисунке 32, PRIM также сообщает о предельном вкладе каждого параметра в объяснение случаев высокой стоимости. Без ограничений параметров блок будет иметь плотность 10% и охват 100%, поскольку мы определили 10% случаев в базе данных как имеющие высокую стоимость. Использование только одного параметра — эластичности спроса на перевозки — обеспечивает сценарий, охватывающий 97 % случаев с высокими затратами при плотности 25 %. Сценарий с двумя параметрами, который добавляет ограничение PRIM на цену поддержки биомассы, увеличивает плотность с 25 до 46% при снижении охвата всего на 13%.

Четвертый параметр дает убывающую отдачу. Добавление ограничения PRIM на стоимость производства биотоплива увеличивает плотность только на 11% (с 68% до 79%) по сравнению со скачком более чем на 20% для двух предыдущих. Эта информация, наряду с приведенной ниже, может помочь пользователям решить, представляет ли сценарий A надлежащий баланс между охватом, плотностью и интерпретируемостью. Если они окажутся неудовлетворительными, пользователи могут также обратиться к контурам

параметров на рисунке 31, чтобы оценить, можно ли достичь более подходящего баланса, начав с альтернативного блока.

Обратите внимание, что сценарий предполагает, что в любом будущем, когда при четырех условиях эластичность спроса на транспортировку превышает 0,43, цена поддержки биомассы превышает 148 долларов США за тонну, затраты на производство биотоплива превышают 73 доллара США за единицу, а предложение дешевой биомассы составляет менее 770 мегатонн. Политика 25×25 , вероятно, приведет к высоким затратам для потребителей, независимо от значения других пяти неопределенных параметров в модели. Если эти условия не выполняются, то политика с меньшей вероятностью приведет к высоким затратам.

Оцениваем сценарии

В таблице 27 показана частота, с которой PRIM использует каждый входной параметр модели при выполнении десяти различных передискретизаций набора данных с размером $N/2$. Обратите внимание, что все первые три параметра, определяющие сценарий А, используются при каждой повторной выборке и что себестоимость производства биотоплива ограничена в 90% случаев. Параметры, не используемые для определения сценария А, появляются в 40% или менее случаев повторной выборки. Частота, с которой появляются эти другие параметры, выше, чем это могло бы быть в полноразмерном наборе данных, потому что с меньшим количеством точек, вероятно, большее количество параметров будет ложено ограничено.

Вместе эти статистические данные воспроизводимости и значения qr обеспечивают высокую уверенность в том, что каждый из первых трех параметров на рисунке 32 играет важную роль в определении сценария высокой стоимости. В то время как статистика повторной выборки также подтверждает важность четвертого параметра, стоимости производства биотоплива, тест значения qr предполагает, что включение этого параметра может быть случайным.

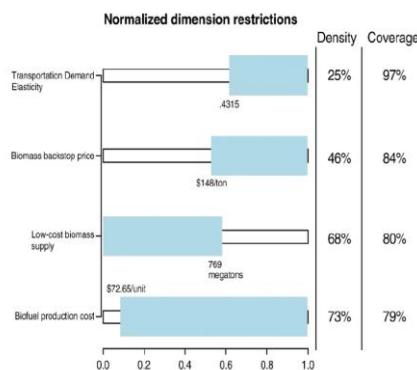


Fig. 4. Parameters used to define Scenario A in Fig. 3. Also shown are the density and coverage for a box defined by each successive parameter and all those above it.

Рисунок 32 – Параметры, использованные для определения Сценария А (на рисунке 31).

Также показаны соотношение и покрытие для прямоугольника, определяемые каждым последующим параметром и всеми теми, которые находятся над ним.

Таблица 27 — Результаты qr-оценки передискретизаций выборки для Сценария А.

Выделенные параметры используются для определения сценария

Table 2
Results of qp-value and resampling tests for Scenario A. Highlighted parameters are used to define the scenario.

Model input parameter	Reproduce coverage	Reproduce density	qp-value
Transportation demand elasticity	100%	100%	1.2 E-16
Biomass backstop price	100%	100%	4.9 E-11
Low-cost biomass supply	100%	100%	1.4 E-05
Biofuel production cost	90%	90%	1.9 E-01
Biofuel yield	40%	30%	
Electricity co-product	40%	20%	
Shift in oil supply curve	10%	10%	
Feedstock supply distribution	0%	0%	
Oil supply elasticity	0%	0%	

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате реализации проекта были разработаны оригинальные модели и методы принятия решений по предупреждению и противодействию слабопредсказуемым угрозам. Первым шагом на пути реализации проекта стала разработка принципов классификации различных слабопредсказуемых событий, далее был проведен динамический анализ изменения приоритетов и важности таких угроз за последние годы и прогностический анализ этих изменений. Также было проанализировано влияние слабопредсказуемых событий на направления развития глобальных трендов, изучены подходы к сценарному планированию в условиях глубокой неопределенности и роста вероятности реализации событий-джокеров, создан прототип базы данных джокеров и подготовлены короткие обзоры, содержащие описание слабопредсказуемых событий и их потенциальных эффектов.

Затем были исследованы существующие модели и методы принятия решений по выявлению, предупреждению и противодействию слабопредсказуемым угрозам и существующие модели и методы оценки эффектов слабопредсказуемых угроз. Были предложены новые модели и методы принятия решений в условиях глубокой неопределенности наступления джокеров с учетом оценок стоимости мероприятий по предупреждению угроз от них, противодействию их развитию и ликвидации последствий от их наступления, используя различные концепции таких решений. Было проведено стохастическое моделирование ущерба от реализации слабопредсказуемых событий.

Важной частью проекта стало пилотирование моделей и методов принятия решений по предупреждению и противодействию слабопредсказуемым угрозам. Оно было проведено на примере слабопредсказуемых угроз природного и техногенного характера, а также на примере торговли продовольственными товарами. Был создан прототип программного комплекса оценивания эффектов от слабопредсказуемых угроз техногенного и природного характера. Были проанализированы слабопредсказуемые события и методы оценивания эффектов от их наступления в сфере международной торговли продовольствием, сетевой анализ международной торговли продовольствием. Были разработаны методы выявления и ранжирования устойчивых поставщиков и покупателей стратегических продуктов с учетом санкционных ограничений. Также были проведены динамический сетевой анализ международной торговли продовольствием с учетом различных сценариев изменений санкционной политики и динамический анализ отдельных логистических сетей с учетом различных сценариев изменений санкционной политики. Моделирование различных сценариев изменения международной торговли продовольствием было реализовано с помощью методов форсайта. Были разработаны модели и методы принятия решений в

сфере торговли продовольствием в условиях глубокой неопределенности, связанной с изменением санкционных ограничений, и риска принятия неверных решений. Был создан прототип программного комплекса моделирования сценариев изменения международной торговли продовольствием и соответствующей системы поддержки принятия решений.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Агроинвестор (2022) В России снова массово гибнут пчелы. Основная причина — отравление пестицидами URL: <https://www.agroinvestor.ru/analytics/news/38532-v-rossii-snova-massovo-gibnut-pchely/> (дата обращения: 12.10.2022).
2. Балысников, В.В. Конспект лекций дисциплины «Безопасность транспортных систем» [Электронный ресурс]: Официальный веб-сайт ФГБОУ ВО «СпбГУ ГА» // СПбГУ ГА. 2022. URL: https://spbguga.ru/wp-content/uploads/2016/01/konspekt_lekcii.pdf (дата обращения: 27.09.2022).
3. Бобков В.Н., Одинцова Е. В., Пилюс А. Г. (2021) Безусловный базовый доход как регулятор повышения уровня и качества жизни граждан и устойчивости общества: проблемы и возможные пути их решения. Дискуссия на российско-германской международной конференции. Москва. // Уровень жизни населения регионов России. 2021. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/bezuslovnyy-bazovyy-dohod-kak-regulyator-povysheniya-urovnya-i-kachestva-zhizni-grazhdan-i-ustoychivosti-obschestva-problemy-i> (дата обращения: 25.09.2022).
4. Будник, Р. А. (2022) Правовой базис трансгуманизма: хартия и билль о правах. Информационное общество URL: <http://infosoc.iis.ru/article/view/712> (дата обращения: 12.10.2022).
5. Ван Рай В. Зарождающиеся тенденции и «джокеры» как инструменты формирования и изменения будущего // Форсайт. – 2012. – Т. 6. – №. 1. – С. 60-73 URL: <https://foresight-journal.hse.ru/data/2013/03/29/1294347383/6-vanRij-60-73.pdf> (дата обращения: 29.08.2022).
6. Ведомости (2021) Стартап Илона Маска научил обезьяну играть в видеоигры вживленным в мозг чипом URL: <https://www.vedomosti.ru/technology/news/2021/02/01/856203-startap-ilona-maska-uspeshno-vzhivil-mikrochip-v-mozg-obeyzani> (дата обращения: 01.07.2022).
7. Елисов Л.Н., Овченков Н. И. Интегральная безопасность воздушного транспорта // Научный вестник МГТУ ГА. – 2017. – №6 (дата обращения: 25.09.2022).
8. Жизнин, С., Василев, С. (2021) Грядет ли «революция» в области хранения энергии? Независимая газета. URL: https://www.ng.ru/energy/2021-06-26/100_094026062021.html (дата обращения: 25.09.2022).

9. Жилин В. В. Применение кривых роста для изучения и прогнозирования социально-экономических процессов // Вопросы социально-экономического развития регионов. – 2017. – №. 2. – С. 18-25. (дата обращения: 23.09.2022).
10. Зубков Б.В, Прозоров С.Е. Методический подход к оценке риска в системе управления безопасностью полётов // Научный вестник МГТУ ГА. – 2011/ - №174 (дата обращения: 25.09.2022).
11. Зубков Б. В. Безопасность полётов: учебник / Б. В. Зубков, С. Е. Прозоров ; под ред. Б. В. Зубкова. – Ульяновск: УВАУ ГА(И), 2012. – 451 с. (дата обращения: 25.09.2022).
12. Известия (2020) Тюрьма вместо нобелевки: ученый, спасавший детей от ВИЧ, ломал им гены URL: <https://iz.ru/960139/ignat-shestakov/tiurma-vmesto-nobelevki-uchenyi-spasavshii-detei-ot-vich-lomal-im-geny> (дата обращения: 25.08.2022).
13. Известия (2020) Полет робота «Федор» на МКС стал одним из главных ИТ-инфоповодов 2019 года URL: <https://iz.ru/997890/2020-04-09/polet-robota-fedora-na-mks-stal-odnim-iz-glavnnykh-it-infopovodov-2019-goda> (дата обращения: 20.08.2022).
14. Известия (2022) Российские мозговые импланты смогли активировать органы чувств URL: <https://iz.ru/1350979/2022-06-17/rossiiskie-mozgovye-implanty-smogli-aktivirovat-organy-chuvstv> (дата обращения: 13.08.2022).
15. Инвест-Форсайт (2020) 8 известных людей-киборгов URL: <https://www.if24.ru/8-izvestnyh-lyudej-kiborgov/> (дата обращения: 25.10.2022).
16. Квашнин Ю.Д. (2019) Базовый доход для европейских стран: от теории к практике // Современная Европа. №3 (88). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/bazovyy-dohod-dlya-evropeyskih-stran-ot-teorii-k-praktike> (дата обращения: 25.09.2022).
17. Коммерсантъ (2021) Илон Маск делает ставку на Tesla Bot URL: <https://www.kommersant.ru/doc/4955538> (дата обращения: 12.08.2022).
18. Кофман. – Москва: Б., – 1979. – 92 с. (дата обращения: 25.09.2022).
19. Куклев Е.А. Модели рисков катастроф, как маловероятных событий в системах с дискретными состояниями // Сб. трудов международной конференции «Системный анализ и системное моделирование». — СПб.: ЛЭТИ, 2003. (дата обращения: 25.09.2022).
20. Ляпоров В.Н. (2019) Концепция универсального базового дохода: дискурс и перспектива // Власть. №5. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kontseptsiya-universalnogo-bazovogo-dohoda-diskurs-i-perspektiva> (дата обращения: 21.07.2022).

21. Министерство науки и высшего образования Российской Федерации (2022) Как российские ученые работают в области онкологии URL: <https://minobrnauki.gov.ru/press-center/news/novosti-podvedomstvennykh-uchrezhdeniy/46772/> (дата обращения: 20.10.2022).

22. Научная Россия (2021) Ассистент для любого врача. Об искусственном интеллекте в медицине URL: <https://scientificrussia.ru/articles/assistant-dla-lubogo-vraca-ob-iskusstvennom-intellekte-v-medicine-ga-bledzanc> (дата обращения: 14.06.2022).

23. НИУ ВШЭ (2022) База глобальных трендов и вызовов URL: https://ncmu.hse.ru/chelpoten_trends/participative_med (дата обращения: 17.10.2022).

24. ООН (2021) Африка: ледники исчезают, площади основных озер сокращаются URL: <https://news.un.org/ru/story/2022/09/1431101> (дата обращения: 15.11.2022).

25. ООН (2022) Новые данные о вспышке оспы обезьян в Европейском регионе ВОЗ URL: <https://news.un.org/ru/story/2022/05/1424842> (дата обращения: 19.11.2022).

26. Прозоров, С.Е. Авиационная безопасность: учебное пособие / С.Е. Прозоров, Б.В. Зубков; Министерство транспорта РФ; МГТУ ГА. - М.: МГТУ ГА, 2004. – 144 с. (дата обращения: 25.09.2022).

27. РБК Тренды (2020) Что такое цифровой тоталитаризм и возможен ли он в России URL: <https://trends.rbc.ru/trends/industry/5e8efb879a79471cf805f2b3> (дата обращения: 19.06.2022).

28. РБК Тренды (2021) Сможем ли мы контролировать сверхразумный искусственный интеллект URL: <https://trends.rbc.ru/trends/futurology/601ae24d9a7947c430681e1e> (дата обращения: 19.07.2022).

29. РБК Тренды (2021) Люди-киборги: каким будет человек в 2030 году URL: <https://trends.rbc.ru/trends/futurology/5f566f0e9a79477832051401> (дата обращения: 25.10.2022).

30. РБК Тренды (2021) Виртуальные органы и испытание лекарств: цифровые двойники в медицине URL: <https://trends.rbc.ru/trends/industry/613b35369a7947506473665e> (дата обращения: 25.10.2022).

31. РБК Тренды (2021) Траты стран мира на квантовые технологии [статистика]. URL: <https://trends.rbc.ru/trends/industry/606ad5239a79474c50841023> (дата обращения: 27.10.2022).

32. РБК Тренды (2022) Пахучие фильмы и цифровые запахи: как передать аромат на расстоянии URL: <https://trends.rbc.ru/trends/industry/63187e2a9a79472bde40a56b> (дата обращения: 25.10.2022).
33. РБК Тренды (2022) Специалист по имплантам мозга: кто научит нас общаться силой мысли URL: <https://trends.rbc.ru/trends/education/619271899a794708fbdf4b8b> (дата обращения: 01.11.2022).
34. РИА Новости. (2015) Ученые: супервулканы взрываются только под действием "внешних сил". РИА Новости. URL: <https://ria.ru/20151105/1314123248.html> (дата обращения: 25.06.2022).
35. РСМД (2022) Искусственный интеллект в процессе принятия внешнеполитических решений URL: <https://russiancouncil.ru/analytics-and-comments/columns/cybercolumn/iskusstvennyy-intellekt-v-protsesse-prinyatiya-vneshnepoliticheskikh-resheniy/> (дата обращения: 20.11.2022).
36. Сакач Р.В., Буряков В.М., Кофман В.Д. Вопросы расследования и анализа авиационных происшествий: учеб. пособие для вузов гражд. авиации / Р.В. Сакач, В.М. Буряков, В.Д. (дата обращения: 25.09.2022).
37. Сеченовский университет (2021) Цифровые двойники в медицине: помочь врачам, здоровье — пациентам URL: <https://www.sechenov.ru/pressroom/news/tsifrovye-dvoyniki-v-meditsine-pomoshch-vracham-zdorove-patsientam/> (дата обращения: 25.06.2022).
38. Соколов Ю.И. (2019) Экзистенциальный риск технологической сингулярности // Проблемы анализа риска. №3. С. 68. (дата обращения: 12.10.2022).
39. ТАСС (2020) Замгенсека ООН заявил, что пандемия выявила неготовность стран противостоять биотerrorизму URL: <https://tass.ru/obschestvo/8892783> (дата обращения: 22.08.2022).
40. ТАСС (2019) Эксперты: четвертая промышленная революция потребует правовых преобразований. URL: <https://nauka.tass.ru/nauka/6354637> (дата обращения: 25.06.2022).
41. ТАСС (2019) Эксперты ВОЗ высказались за создание регистра в сфере редактирования генов человека URL: https://nauka.tass.ru/nauka/6236200?utm_source=yxnews&utm_medium=desktop (дата обращения: 25.06.2022).

42. Учебно-методический центр ГО и ЧС г. Москвы (2018) Классификация аварий, катастроф, стихийных бедствий. Причины и последствия. URL: https://www.timacad.ru/uploads/files/20180418/1524039882_5_klas-avarii-katastrofu.pdf (дата обращения: 14.11.2022).
43. Хайтек (2016) Kernel разрабатывает мозговые имплантанты для восстановления памяти URL: <https://hightech.fm/2016/08/22/kernel> (дата обращения: 25.06.2022).
44. Центр квантовых технологий (2022) Цифровой квантовый симулятор на основе одиночных нейтральных атомов URL: <https://quantum.msu.ru/ru/technologies/projects/quantum-simulator> (дата обращения: 20.11.2022).
45. Чрезвычайные ситуации природного и техногенного характера, возможные на территории Алтайского края. Действия при чрезвычайных ситуациях URL: http://umc22.asu.ru/pluginfile.php/1598/mod_resource/content/1/%D0%A2%D0%B5%D0%BC%D0%B0%202.pdf (дата обращения: 14.11.2022).
46. Aarynn L. Carter, Sasha Hinkley et al (2022) The JWST Early Release Science Program for Direct Observations of Exoplanetary Systems I: High Contrast Imaging of the Exoplanet HIP 65426 b from 2–16 μm // Arxiv. Cornell University URL: <https://nplus1.ru/news/2022/09/02/jwst-hip-65426-b> (дата обращения: 04.11.2022).
47. Abou Jaoude, G., Mumm, O., & Carlow, V. M. (2022). An Overview of Scenario Approaches: A Guide for Urban Design and Planning. Journal of Planning Literature, 37(3), 467–487. <https://doi.org/10.1177/08854122221083546> (дата обращения: 09.11.2022).
48. Accesswire (2022) Intelligent Virtual Assistant Market to Rise at a CAGR of 33% during 2020–2030, TMR Study URL: <https://www.accesswire.com/714960/Intelligent-Virtual-Assistant-Market-to-Rise-at-a-CAGR-of-33-during-2020-2030-TMR-Study> (дата обращения: 25.10.2022).
49. Adobor, H., Darbi, W.P.K. and Damoah, O.B.O. (2021), "Strategy in the era of "swans": the role of strategic leadership under uncertainty and unpredictability", Journal of Strategy and Management, Vol. ahead-of-print No. ahead-of-print. <https://doi.org/10.1108/JSM-09-2020-0242> (дата обращения: 25.06.2022).
50. Alfonseca, M., Cebrian, M., Anta, A. F., Covello, L., Abeliuk, A., & Rahwan, I. (2021). Superintelligence cannot be contained: Lessons from computability theory. Journal of Artificial Intelligence Research. (дата обращения: 25.06.2022).

51. Alonso-Dos-Santos M., Llanos-Contreras O. Family business performance in a post-disaster scenario: The influence of socioemotional wealth importance and entrepreneurial orientation // Journal of Business Research, 101 (2019), pp. 492-498 (дата обращения: 25.06.2022).
52. Alvin Toffler, Future Shock, Bantam, 1970, ISBN: 0553277375. (дата обращения: 14.11.2022).
53. Analytics Insight (2022) Quantum computing market size is expected to hit US \$155.90 billion by 2030 URL: <https://www.analyticsinsight.net/quantum-computing-market-size-is-expected-to-hit-us155-90-billion-by-2030/> (дата обращения: 25.09.2022).
54. Andrea Enria, Adam Farkas and Lars Jul Overby, (2016). Sovereign Risk: Black Swans and White Elephants. (дата обращения: 15.11.2022).
55. Ansoff, I. (1975). “Managing strategic surprise by response to weak signals,” California Management Review, 18(2), 21–33. (дата обращения: 15.11.2022).
56. Appnova (2022) Ultimate Personalization: How 3D Printing is reshaping the Luxury Fashion Industry URL: <https://www.appnova.com/how-3d-printing-is-reshaping-the-luxury-fashion-industry/> (дата обращения: 10.11.2022).
57. Art Agenda (2020) “Digital Reincarnations” URL: <https://www.art-agenda.com/criticism/355558/digital-reincarnations> (дата обращения: 17.06.2022).
58. Artificial (2021) Artificial Raises \$21.5M to Accelerate Life Science Breakthroughs URL: <https://www.artificial.com/news/artificial-series-a/> (дата обращения: 16.10.2022).
59. Artificial Intelligence News Daily (2022) 11 NEW Developing Female Robots That Will Be Your Partner In 2030 URL: https://www.youtube.com/watch?v=yUTyklBnZuk&ab_channel=ArtificialIntelligenceNewsDaily (дата обращения: 19.11.2022).
60. Auburn University (2021) US beekeepers continue to report high colony loss rates, no clear progression toward improvement URL: https://ocm.auburn.edu/newsroom/news_articles/2021/06/241121-honey-bee-annual-loss-survey-results.php (дата обращения: 11.07.2022).
61. Automat. AI Assistant or Virtual Advisor? How to Buy Your Best AI URL: <https://automat.ai/resources/ai-assistant-or-virtual-advisor/> (дата обращения: 12.07.2022).

62. Azari Marhabi, A., Arasteh, A. & Paydar, M.M. Sustainable energy development under uncertainty based on the real options theory approach. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 19, 5897–5910 (2022). <https://doi.org/10.1007/s13762-021-03763-8> (дата обращения: 10.11.2022).
63. Barber M. (2006) Wildcards – Signals from a Future Near You // *Journal of Futures Studies*, August 2006, 11(1): 75 – 94 URL: <https://jfsdigital.org/wp-content/uploads/2014/01/111-A05.pdf> (дата обращения: 15.07.2022).
64. Baryannis, G., Dani, S., Validi, S., Antoniou, G. (2019). Decision Support Systems and Artificial Intelligence in Supply Chain Risk Management. In: Zsidisin, G., Henke, M. (eds) *Revisiting Supply Chain Risk*. Springer Series in Supply Chain Management, vol 7. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-03813-7_4 (дата обращения: 16.07.2022).
65. BBVA. Technological Wild Cards: Existential Risk and a Changing Humanity URL: <https://www.bbvaopenmind.com/en/articles/technological-wild-cards-existential-risk-and-a-changing-humanity/> (дата обращения: 15.07.2022).
66. Bender, M. (2021) What would happen if a supervolcano erupted? The answer is "horrific and smelly". *Inverse*. URL: <https://www.inverse.com/science/supervolcano-eruption-future-earth-2121> (дата обращения: 15.09.2022).
67. Bentnam J. (2014) The scenario approach to possible futures for oil and natural gas // *Energy Policy*. Vol. 64. P. 87–92. Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.08.019>, дата обращения 29.08.2020. (дата обращения: 10.07.2022).
68. Bhanja, S., Das, A. A Black Swan event-based hybrid model for Indian stock markets' trends prediction. *Innovations Syst Softw Eng* (2022). <https://doi.org/10.1007/s11334-021-00428-0> (дата обращения: 29.10.2022).
69. Big Issue (2022) What you need to know about UK inequality URL: <https://www.bigissue.com/news/social-justice/what-you-need-to-know-about-uk-inequality/> (дата обращения: 15.11.2022).
70. Bilich, A. (2019) Not all energy storage is clean – it might even increase emissions. Environmental Defense Fund. URL: <https://www.edf.org/blog/2019/02/06/not-all-energy-storage-clean-it-might-even-increase-emissions> (дата обращения: 03.06.2022).
71. Bloomberg (2017) The Great Firewall of China. URL: <https://www.bloomberg.com/quicktake/great-firewall-of-china> (дата обращения: 04.06.2022).

72. Bloomberg (2021) Metaverse may be \$800 billion market, next tech platform URL: <https://www.bloomberg.com/professional/blog/metaverse-may-be-800-billion-market-next-tech-platform/> (дата обращения: 30.05.2022).
73. BMC Geriatrics (2020) Ethical perceptions towards real-world use of companion robots with older people and people with dementia: survey opinions among younger adults URL: <https://bmccgeriatr.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12877-020-01641-5> (дата обращения: 15.07.2022).
74. Börjeson L., Höjer M., Dreborg K. H., Ekvall T., Finnveden G., Scenario types and techniques: Towards a user's guide, Futures, Volume 38, Issue 7, 2006, Pages 723-739, ISSN 0016-3287, <https://doi.org/10.1016/j.futures.2005.12.002>. (дата обращения: 09.07.2022).
75. Browne, A. J., et al. (2021) Global antibiotic consumption and usage in humans, 2000–18: a spatial modelling study. The Lancet Planetary Health URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2542519621002801?via%3Dihub> (дата обращения: 15.07.2022).
76. Buchholz, S., & Ammanath, B. (2022). Quantum computing may create ethical risks for businesses. it's time to prepare. Deloitte Insights. URL: <https://www2.deloitte.com/uk/en/insights/topics/cyber-risk/quantum-computing-ethics-risks.html> (дата обращения: 20.11.2022).
77. Cai, K. (2022) Startup behind AI Image Generator stable diffusion is in talks to raise at a valuation up to \$1 billion. Forbes. URL: <https://www.forbes.com/sites/kenrickcai/2022/09/07/stability-ai-funding-round-1-billion-valuation-stable-diffusion-text-to-image/?sh=2333f89024d6> (дата обращения: 15.11.2022).
78. Campaigning update - stop AI stealing the show. Equity. (2022). URL: <https://www.equity.org.uk/news/2022/june/campaigning-update-stop-ai-stealing-the-show/> (дата обращения: 01.11.2022).
79. CBRE (2020) What Will Your Office Look Like in 2030? URL: <https://www.cbre.es/insights/articles/what-will-your-office-look-like-in-2030> (дата обращения: 05.08.2022).
80. CDC Bioterrorism Agents/Diseases URL: <https://emergency.cdc.gov/agent/agentlist-category.asp> (дата обращения: 15.09.2022).

81. Center for global development (2021) The Next Pandemic Could Come Soon and Be Deadlier URL: <https://www.cgdev.org/blog/the-next-pandemic-could-come-soon-and-be-deadlier> (дата обращения: 29.08.2022).
82. Chatham House (2022) The next pandemic – when could it be? URL: <https://www.chathamhouse.org/2022/02/next-pandemic-when-could-it-be> (дата обращения: 10.11.2022).
83. Chen Q. et al. (2022) Bacteriophage and Bacterial Susceptibility, Resistance, and Tolerance to Antibiotic. *Pharmaceutics* URL: <https://web.p.ebscohost.com/ehost/detail/detail?vid=0&sid=9febcc43-a8be-4505-9047-ff38cb4632df%40redis&bdata=Jmxhbmc9cnU%3d#AN=158298941&db=asn> (дата обращения: 15.11.2022).
84. Claudia Zeisberger, David Munro, (2010). Dirty White Swans: Could Unexpected Extreme Events Put You Out of Business? (дата обращения: 15.09.2022).
85. Cornish, E. (2003). “The wild cards in our future,” *The Futurist*, 37(4), 18–22. (дата обращения: 18.07.2022).
86. Council on foreign relations (2022) The U.S. Inequality Debate URL: <https://www.cfr.org/backgrounder/us-inequality-debate> (дата обращения: 13.11.2022).
87. Cox, D. (2017) NASA's ambitious plan to save Earth from a supervolcano. BBC Future. URL: <https://www.bbc.com/future/article/20170817-nasas-ambitious-plan-to-save-earth-from-a-supervolcano> (дата обращения: 15.11.2022).
88. Deloitte. (2018) Supercharged: Challenges and opportunities in global. URL: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/global/Documents/Energy-and-Resources/gx-er-challenges-opportunities-global-battery-storage-markets.pdf> (дата обращения: 25.09.2022).
89. Deloitte Netherlands (2022) Quantum computers and the Bitcoin blockchain. URL: <https://www2.deloitte.com/nl/nl/pages/innovatie/artikelen/quantum-computers-and-the-bitcoin-blockchain.html> (дата обращения: 15.11.2022).
90. Deloitte Netherlands. (2022). Quantum risk to the Ethereum blockchain - a bump in the road or a brick wall? URL: <https://www2.deloitte.com/nl/nl/pages/risk/articles/quantum-risk-to-the-ethereum-blockchain.html> (дата обращения: 15.11.2022).
91. Dewar J. A. 2003. “The Importance of ‘Wild Card’ Scenarios.” URL: http://www.au.af.mil/au/awc/awcgate/cia/nic2020/dewar_nov6.pdf. (дата обращения: 07.06.2022).

92. Gentilini, U. (2020) Exploring Universal Basic Income: A Guide to Navigating Concepts, Evidence, and Practices. Washington, DC: World Bank. URL: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/993911574784667955/pdf/Exploring-Universal-Basic-Income-A-Guide-to-Navigating-Concepts-Evidence-and-Practices.pdf> (дата обращения: 11.08.2022).
93. Gheaus A. (2008) "Basic Income, Gender Justice and the Costs of Gender-Symmetrical Lifestyles", in: Haagh A. and Howard M. (ed.) Basic Income Studies, vol. 3, issue 3, pp. 1–8. (дата обращения: 13.07.2022).
94. Dipayan Ghosh, L. S. (2021) The isolating effects of Iran's proposed "National internet". Centre for International Governance Innovation. URL: <https://www.cigionline.org/articles/isolating-effects-irans-proposed-national-internet/> (дата обращения: 11.09.2022).
95. Discover (2019) George Church Wants to Make Genetic Matchmaking a Reality URL: <https://www.discovermagazine.com/health/george-church-wants-to-make-genetic-matchmaking-a-reality> (дата обращения: 18.09.2022).
96. Drexler, M. (2020) The cancer miracle isn't a cure. It's prevention. Harvard Public Health Magazine. URL: https://www.hsph.harvard.edu/magazine/magazine_article/the-cancer-miracle-isnt-a-cure-its-prevention/ (дата обращения: 15.09.2022).
97. Duckett D. G., McKee A. J., Sutherland L.-A, Kyle C., Boden L. A., Auty H., Bessell P. R., McKendrick I. J., Scenario planning as communicative action: Lessons from participatory exercises conducted for the Scottish livestock industry, Technological Forecasting and Social Change, Volume 114, 2017, Pages 138-151, ISSN 0040-1625, <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2016.07.034>. (дата обращения: 09.09.2022).
98. EDGY (2019) Building An Underwater City: The Future of Humanity URL: <https://edgy.app/underwater-city-challenges> (дата обращения: 13.10.2022).
99. EPRS (2018) Global Trends to 2035 URL: [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2018/627126/EPRS_STU\(2018\)627126_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2018/627126/EPRS_STU(2018)627126_EN.pdf) (дата обращения: 17.09.2022).
100. EPRS | European Parliamentary Research Service (2022) 'Splinternets': Addressing the renewed debate on internet fragmentation URL: [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2022/729530/EPRS_STU\(2022\)729530_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2022/729530/EPRS_STU(2022)729530_EN.pdf) (дата обращения: 15.09.2022).

101. European Commission. CORDIS EU Research results. interconnecting Knowledge for the early identification of issues, events and developments (e.g. wild cards and associated weak signals) shaping and shaking the future of STI in the ERA URL: <https://cordis.europa.eu/project/id/225695/reporting> (дата обращения: 08.07.2022).

102. European Strategy and Policy Analysis System URL: <https://espas.eu/> (дата обращения: 15.07.2022).

103. EY (2022) Metaverse: Could creating a virtual world build a more sustainable one? URL: https://www.ey.com/en_se/digital/metaverse-could-creating-a-virtual-world-build-a-more-sustainable-one (дата обращения: 19.11.2022).

104. EY (2022) The CEO Imperative: Will bold strategies fuel market-leading growth? URL: https://www.ey.com/en_mz/ceo/will-bold-strategies-fuel-market-leading-growth (дата обращения: 15.11.2022).

105. Fatine Ezbakhe, Agustí Pérez-Foguet, Decision analysis for sustainable development: The case of renewable energy planning under uncertainty, European Journal of Operational Research, Volume 291, Issue 2, 2021, Pages 601-613, ISSN 0377-2217, <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2020.02.037>. (дата обращения: 15.07.2022).

106. Fee (2016) Private Cities: A Path to Liberty URL: <https://fee.org/articles/private-cities-a-path-to-liberty/> (дата обращения: 19.10.2022).

107. FESPA (2021) Digital Textile market trends and opportunities 2022 – how does the future look? URL: <https://www.fespa.com/en/news-media/features/digital-textile-market-trends-and-opportunities-2022---how-does-the-future-look> (дата обращения: 11.10.2022).

108. Forbes (2020) Inside The Rise Of Private Cities: ‘Priority Of Management Is Profit, Not The Needs Of Citizens’ URL: <https://www.forbes.com/sites/wadeshepard/2020/01/31/inside-the-rise-of-private-cities-priority-of-management-is-profit-not-the-needs-of-citizens/?sh=17fa576fc9c2> (дата обращения: 15.10.2022).

109. Forbes (2020) The State Of Mass Surveillance URL: <https://www.forbes.com/sites/forbestechcouncil/2020/09/25/the-state-of-mass-surveillance/?sh=7765abc6b62d> (дата обращения: 07.08.2022).

110. Forbes (2020) Одной крови. Как генетик из Гарварда создал приложение для знакомств, которое ищет пары на основе ДНК URL: <https://www.forbes.ru/forbeslife/394413-odnoy-krovi-kak-genetik-iz-garvarda-sozdal-prilozhenie-dlya-znakomstv-kotoroe?ysclid=l8ncq02i43354842730> (дата обращения: 17.08.2022).

111. Forbes (2021) Can Doctors Truly Be Replaced By Technology? URL: <https://www.forbes.com/sites/saibala/2021/09/22/can-doctors-truly-be-replaced-by-technology/?sh=537a65814a83> (дата обращения: 15.08.2022).

112. Forbes (2021) Five Kids From The Future URL: <https://www.forbes.com/sites/cathyhackl/2021/04/18/five-kids-from-the-future/?sh=9868d5e7a379> (дата обращения: 09.11.2022).

113. Forbes (2022) Испытания нейрочипов на людях и массовые увольнения: что происходит в Neuralink Маска URL: <https://www.forbes.ru/tehnologii/454543-ispytaniya-nejrocipov-na-ludah-i-massovye-uvol-nenia-cto-proishodit-v-neuralink-maska> (дата обращения: 15.09.2022).

114. Forbes (2022) Современный Прометей: как китайский ученый Хэ Цзянькуй создавал близнецов будущего URL: <https://www.forbes.ru/forbeslife/461919-sovremennyj-prometej-kak-kitajskij-ucenyj-he-czan-kuj-sozdaval-bliznecov-budusego> (дата обращения: 19.09.2022).

115. Frontiers (2022) Who Wants to Grant Robots Rights? URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/frobt.2021.781985/full> (дата обращения: 15.11.2022).

116. Future Business Tech (2022) The Insane Technology of Digital Immortality URL: <https://www.futurebusinesstech.com/blog/the-insane-technology-of-digital-immortality> (дата обращения: 11.11.2022).

117. Futurist (2017) Бездушные чувства: эмоциональный интеллект робота уже выше человеческого URL: <https://futurist.ru/articles/881-bezdushnie-chuvstva-emotsionalnyiy-intellekt-robota-uzhe-vishe-chelovecheskogo> (дата обращения: 15.06.2022).

118. Global Governance Futures. A World Divided? Envisioning the Future of Global Inequality URL: <https://www.ggfutures.net/analysis/ggf2035-politics-of-inequality> (дата обращения: 15.11.2022).

119. Hachikyan, P. (2022). Countering Air Terrorism. Singapore: Springer, p. 139 (дата обращения: 15.09.2022).

120. Hamilton H., Henry R., Rounsevell M., Moran D., Cossar F., Allen K., Boden L., Alexander P., Exploring global food system shocks, scenarios and outcomes, *Futures*, Volume 123, 2020, 102601, ISSN 0016-3287, <https://doi.org/10.1016/j.futures.2020.102601>. (дата обращения: 17.07.2022).

121. Harvard Business Review (2022) What You Lose with Your New Strategy URL: <https://hbr.org/2022/07/what-you-lose-with-your-new-strategy> (дата обращения: 15.11.2022).
122. Hauptman, A., Hoppe, M. & Raban, Y. Wild cards in transport. *Eur J Futures Res* 3, 7 (2015). <https://doi.org/10.1007/s40309-015-0066-9> (дата обращения: 27.07.2022).
123. Hauptman, A., Steinmüller, K. (2018). Surprising Scenarios. Imagination as a Dimension of Foresight. In: Peperhove, R., Steinmüller, K., Dienel, HL. (eds) *Envisioning Uncertain Futures. Zukunft und Forschung*. Springer VS, Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-658-25074-4_4 (дата обращения: 04.08.2022).
124. Herman, A. (2020) Making America quantum-safe in the post covid-19 ERA. *Forbes*. URL: <https://www.forbes.com/sites/arthurherman/2020/06/03/making-america-quantum-safe-in-the-post-covid-19-era/?sh=72b3434448c8> (дата обращения: 15.09.2022).
125. Hiltunen E., Was It a Wild Card or Just Our Blindness to Gradual Change?, *Journal of Futures Studies*, Volume 11, Issue 2, Pages 61-74, 2006, ISSN 1027-6084. (дата обращения: 23.06.2022).
126. Hill, J.F. (2012) Internet Fragmentation. Highlighting the Major Technical, Governance and Diplomatic Challenges for U.S. Policy Makers. Harvard University. URL: https://www.belfercenter.org/sites/default/files/legacy/files/internet_fragmentation_jonah_hill.pdf (дата обращения: 15.09.2022).
127. Hi-News (2019) Что такое антропоморфный робот и почему их популярностьрастет? URL: <https://hi-news.ru/robots/chto-takoe-antropomorfnyj-robot-i-pochemu-ix-populyarnost-rastet.html> (дата обращения: 15.09.2022).
128. Ho, W., Zheng, T., Yildiz, H., & Talluri, S. (2015). Supply chain risk management: A literature review. *International Journal of Production Research*, 53(16), 5031–5069. <https://doi.org/10.1080/00207543.2015.1030467>. (дата обращения: 23.08.2022).
129. Holopainen M., Toivonen M., Weak signals: Ansoff today, *Futures*, Volume 44, Issue 3, 2012, Pages 198-205, ISSN 0016-3287, <https://doi.org/10.1016/j.futures.2011.10.002>. (дата обращения: 15.08.2022).
130. Hutson, M. (2022) The renewable-energy revolution will need renewable storage. *The New Yorker*. URL: <https://www.newyorker.com/magazine/2022/04/25/the-renewable-energy-revolution-will-need-renewable-storage> (дата обращения: 15.08.2022).

131. Hybrid Rituals (2021) How 3D Printing Can Change Our Process of Making and Consuming Fashion URL: <https://hybrid-rituals.com/the-future-of-3d-printed-fashion/> (дата обращения: 15.08.2022).

132. IBM (2008) 5 in 5 – 5 innovations that could change your life in just 5 years URL: <https://www.ibm.com/blogs/research/2008/12/5-in-5-5-innovations-that-could-change-your-life-in-just-5-years/> (дата обращения: 11.09.2022).

133. Imster, E. (2015). What triggers supervolcano eruptions?: Earth. EarthSky. URL: <https://earthsky.org/earth/what-triggers-supervolcano-eruptions/> (дата обращения: 15.10.2022).

134. Ingrid Glette-Iversen, Terje Aven, (2021) On the meaning of and relationship between dragon-kings, black swans and related concepts, Reliability Engineering & System Safety, Volume 221, 2021, ISSN 09518320, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ress.2021.107625>. (дата обращения: 01.11.2022).

135. Interesting Engineering (2020) 7 Things You Should Know About the Future of Underwater Cities URL: <https://interestingengineering.com/innovation/7-things-you-should-know-about-the-future-of-underwater-cities> (дата обращения: 01.11.2022).

136. INTERPOL Bioterrorism URL: <https://www.interpol.int/Crimes/Terrorism/Bioterrorism> (дата обращения: 11.09.2022).

137. INTERPOL (2020) INTERPOL – Terrorist groups using COVID-19 to reinforce power and influence URL: <https://www.interpol.int/News-and-Events/News/2020/INTERPOL-Terrorist-groups-using-COVID-19-to-reinforce-power-and-influence> (дата обращения: 11.09.2022).

138. ITU (2021) 2.9 billion people still offline URL: <https://www.itu.int/en/mediacentre/Pages/PR-2021-11-29-FactsFigures.aspx> (дата обращения: 11.09.2022).

139. Jyothi S. A. Solar superstorms: planning for an internet apocalypse // Proceedings of the 2021 ACM SIGCOMM 2021 Conference. – 2021. – C. 692-704. <https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/3452296.3472916> (дата обращения: 30.09.2022).

140. Kagan S. (2014) Charter of Transhuman Rights URL: <https://transhumanity.net/charter-of-transhuman-rights/> (дата обращения: 14.09.2022).

141. Kahn, H., & Wiener, A.J. (1967). The use of scenarios. The Hudson Institute. Washington, USA. <https://www.hudson.org/research/2214-the-use-of-scenarios>. (дата обращения: 28.07.2022).

142. Kaminski E. (2021) The Limits of Analytics During Black Swan Events A Case Study of the Covid-19 Global Pandemic – Massachusetts Institute of Technology, 2021. URL: <https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/139124> (дата обращения: 28.07.2022).
143. Kaspersky, E. (2013) What will happen if countries carve up the internet? The Guardian. URL: <https://www.theguardian.com/media-network/media-network-blog/2013/dec/17/internet-fragmentation-eugene-kaspersky> (дата обращения: 13.08.2022).
144. Kaspersky official blog (2020) Reaching the technological singularity: What will happen when machines become smarter than us? URL: <https://www.kaspersky.com/blog/secure-futures-magazine/technological-singularity/32158/> (дата обращения: 10.09.2022).
145. Kathryn Stafford, Sharon M. Danes, George W. Haynes, Long-term family firm survival and growth considering owning family adaptive capacity and federal disaster assistance receipt, Journal of Family Business Strategy, Volume 4, Issue 3, 2013, Pages 188-200, ISSN 1877-8585, <https://doi.org/10.1016/j.jfbs.2013.06.002>. (дата обращения: 11.07.2022).
146. Klein AM, Vaissière BE, Cane JH, Steffan-Dewenter I, Cunningham SA, Kremen C, Tscharntke T. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. Proc Biol Sci. 2007 Feb 7;274(1608):303-13. doi: 10.1098/rspb.2006.3721. PMID: 17164193; PMCID: PMC1702377. (дата обращения: 11.07.2022).
147. Knyazeva H. (2020) Strategies of Dynamic Complexity Management. Foresight and STI Governance, vol. 14, no 4, pp. 34–45. DOI: 10.17323/2500- 2597.2020.4.34.45 (дата обращения: 14.08.2022).
148. Koenig (2022) Top 9 New Technology Trends for 2022 URL: <https://www.koenig-solutions.com/blog/top-new-technology-trends> (дата обращения: 30.10.2022).
149. Kosow H., Gaßner R. Methods of future and scenario analysis: overview, assessment, and selection criteria / Hannah Kosow; Robert Gaßner. DIE Research Project “Development Policy: Questions for the Future”. – Bonn: Dt. Inst. für Entwicklungspolitik, 2007 – (Studies / Deutsches Institut für Entwicklungspolitik; 39) URL: https://www.idos-research.de/uploads/media/Studies_39.2008.pdf (дата обращения: 11.09.2022).
150. Kuosa T. 2010. “Futures Signals Sense-Making Framework (FSSF): A Start-Up Tool to Analyse and Categorise Weak Signals, Wild Cards, Drivers, Trends and Other Types of Information.” Futures 42 (1): 42–48. (дата обращения: 18.09.2022).

151. Lamper D., Howison S. D., Johnson N. F. (2002) Predictability of Large Future Changes in a Competitive Evolving Population // Physical Review Letters DOI: 10.1103/PhysRevLett.88.017902 (дата обращения: 28.06.2022).
152. Laurence B. Siegel, Black Swan or Black Turkey? The State of Economic Knowledge and the Crash of 2007–2009, Financial Analysts Journal, Volume 66, Issue 4, Pages 6-10, 2010, DOI:10.2307/25741280. (дата обращения: 19.09.2022).
153. Lemieux A, Colby GA, Poulain AJ, Aris-Brosou S. 2022 Viral spillover risk increases with climate change in High Arctic lake sediments. Proc. R. Soc. B 289: 20221073. <https://doi.org/10.1098/rspb.2022.1073> (дата обращения: 29.10.2022).
154. Lima, V. and Belk, R. (2022), "Human enhancement technologies and the future of consumer well-being", Journal of Services Marketing, Vol. 36 No. 7, pp. 885-894. <https://doi.org/10.1108/JSM-09-2021-0363> (дата обращения: 11.10.2022).
155. Loghmani M. R., Rovetta S. and Venture G. (2017) Emotional intelligence in robots: Recognizing human emotions from daily-life gestures URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7989198> (дата обращения: 11.09.2022).
156. Loos, T. (2020) Artists explore A.I., with some deep unease. The New York Times. URL: <https://www.nytimes.com/2020/04/08/arts/design/ai-artists-exhibitions.html> (дата обращения: 26.08.2022).
157. Luisa Zhou (2022) Metaverse Statistics 2022: Market Size, Users, and Industry Growth URL: <https://www.luisazhou.com/blog/metaverse-statistics/> (дата обращения: 19.11.2022).
158. Marcus Barber, Wildcards—Signals from a future near you. Journal of Futures Studies, Volume 11, Issue 1, Pages 75-94, 2006, ISSN 1027-6084. (дата обращения: 28.07.2022).
159. Martins NRB, Angelica A, Chakravarthy K, Svidinenko Y, Boehm FJ, Opris I, Lebedev MA, Swan M, Garan SA, Rosenfeld JV, Hogg T and Freitas RA Jr (2019) Human Brain/Cloud Interface. Front. Neurosci. 13:112. doi: 10.3389/fnins.2019.00112 (дата обращения: 11.08.2022).
160. McKinsey & Company (2021) Quantum computing: An emerging ecosystem and industry use cases. URL: <https://www.mckinsey.com/~/media/mckinsey/business%20functions/mckinsey%20digital/our%20insights/quantum%20computing%20use%20cases%20are%20getting%20real%20what%20yo>

u%20need%20to%20know/quantum-computing-an-emerging-ecosystem.pdf (дата обращения: 11.08.2022).

161. McKinsey & Company (2022) Quantum computing use cases are getting real--what you need to know. URL: <https://www.mckinsey.com/capabilities/mckinsey-digital/our-insights/quantum-computing-use-cases-are-getting-real-what-you-need-to-know> (дата обращения: 11.11.2022).

162. Medica Magazine (2022) Digitisation of the sense of smell URL: https://www.medica-tradefair.com/en/News/Archive/Diagnostics_Digitisation_of_the_sense_of_smell (дата обращения: 11.11.2022).

163. Merrill, N., & Komaitis, K. (2020) The consequences of a fragmenting, less global internet. Brookings. URL: <https://www.brookings.edu/techstream/the-consequences-of-a-fragmenting-less-global-internet/> (дата обращения: 11.09.2022).

164. Mencinger J. (2015) The Revenue Side of a Universal Basic Income in the EU and Euro Area, Danube: Law and Economics Review, vol. 6 (3), p. 167. (дата обращения: 11.09.2022).

165. Mendonça, S., Cunha, M., Kaivo-oja, J. and Ruff, R. (2004). “Wild cards, weak signals and organizational improvisation,” Futures, 36, 201–218. (дата обращения: 21.07.2022).

166. Microsoft (2022) Quantum simulators URL: <https://learn.microsoft.com/en-us/azure/quantum/machines/> (дата обращения: 11.11.2022).

167. Microsoft и Fujitsu (2011) Key ICT Trends and Priorities Based on a survey of over 200 Australian CIOs and ICT Managersю Insights Quarterly Volume 1 Q3, 2011 URL: https://download.microsoft.com/documents/Australia/InsightsQuarterly/IQ_IG%20Full%20Report.pdf (дата обращения: 11.08.2022).

168. MIT Sloan (2021) Business Scents: The Rise of Digital Olfaction URL: <https://sloanreview.mit.edu/article/business-scents-the-rise-of-digital-olfaction/> (дата обращения: 11.11.2022).

169. Morgan Stanley (2014) The “Internet of things” is now connecting the real economy URL: <https://www.yumpu.com/en/document/read/42307347/96-pages-2014morgan-stanley-blue-paper-the-internet-of-things-is-now-connecting-the-real-economy> (дата обращения: 11.09.2022).

170. Morgan Stanley (2015) Big shift in risks cloud reshape financial industry URL: <https://www.morganstanley.com/ideas/banking-blue-paper-2015> (дата обращения: 11.09.2022).
171. Morgan, K. K. (2022). How many people die of cancer a year? WebMD. URL: <https://www.webmd.com/cancer/how-many-cancer-deaths-per-year> (дата обращения: 11.09.2022).
172. Mucek, A.E., Danišík, M., de Silva, S.L. et al. Resurgence initiation and subsolidus eruption of cold carapace of warm magma at Toba Caldera, Sumatra. *Commun Earth Environ* 2, 185 (2021). <https://doi.org/10.1038/s43247-021-00260-1> (дата обращения: 11.09.2022).
173. Muhammad Amer, Tugrul U. Daim, Antonie Jetter, A review of scenario planning, *Futures*, Volume 46, 2013, Pages 23-40, ISSN 0016-3287, <https://doi.org/10.1016/j.futures.2012.10.003>. (дата обращения: 02.08.2022).
174. N + 1 (2022) «Создатель» ГМ-детей Хэ Цзянькуй вышел из тюрьмы URL: <https://nplus1.ru/news/2022/04/05/he-unchained> (дата обращения: 11.11.2022).
175. NASA. Is there life on other planets? URL: <https://exoplanets.nasa.gov/faq/5/is-there-life-on-other-planets/> (дата обращения: 10.11.2022).
176. National Library of Medicine (2016) Enhancing Nervous System Recovery through Neurobiologics, Neural Interface Training, and Neurorehabilitation URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5186786/> (дата обращения: 12.08.2022).
177. Naylor R. (2011) Expanding the boundaries of agricultural developmentFood Security, 3 (2), p. 233 <https://doi.org/10.1007/s12571-011-0123-6> (дата обращения: 12.08.2022).
178. New Zealand Herald (2022) NZ's quiet supervolcano explained: What's going on beneath Taupō? URL: <https://www.nzherald.co.nz/nz/nzs-quiet-supervolcano-explained-whats-going-on-beneath-taupo/ENNBLPR6VZZG7Y2PVG4OA6YC3A/> (дата обращения: 12.08.2022).
179. Neurobotics. Робототехника URL: <https://neurobotics.ru/catalog/robotics/> (дата обращения: 12.08.2022).
180. NRDC (2022) A World Without Bees? Here's What Happens If Bees Go Extinct URL: <https://www.nrdc.org/stories/world-without-bees-heres-what-happens-if-bees-go-extinct> (дата обращения: 12.11.2022).
181. OECD (2011) Future Global Shocks. Improving Risk Governance, 2011, ISBN 978-92-64-11458-6. (дата обращения: 12.08.2022).

182. Ocasio W., Joseph J. (2008) Rise and Fall - or Transformation?: The Evolution of Strategic Planning at the General Electric Company, 1940–2006 Long Range Planning 41(3):248–272 DOI:10.1016/j.lrp.2008.02.010 (дата обращения: 12.08.2022).
183. Our world in data (2022) Monkeypox URL: <https://ourworldindata.org/monkeypox> (дата обращения: 12.11.2022).
184. Pavlova D., Milshina Y., Vishnevskiy K., Saritas O. (2018) The Role of Wild Cards Analysis in Foresight Studies, HSE, 34 pp., 2018. (дата обращения: 12.09.2022).
185. PC Guide (2021) Can 3D Printers Make Clothes URL: <https://www.pcguide.com/3d-printer/faq/can-3d-printers-make-clothes/> (дата обращения: 12.11.2022).
186. Per Dannemand Andersen, Meiken Hansen, Cynthia Selin, Stakeholder inclusion in scenario planning—A review of European projects, Technological Forecasting and Social Change, Volume 169, 2021, 120802, ISSN 0040-1625, <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120802>. (дата обращения: 23.09.2022).
187. Petersen J.L., Steinmüller K. (2009) Wild Cards // The Millennium Project: Futures Research Methodology—V3.0. (дата обращения: 12.11.2022).
188. Phys.org (2018) Scientists use a photonic quantum simulator to make virtual movies of molecules vibrating URL: <https://phys.org/news/2018-05-scientists-photonic-quantum-simulator-virtual.html> (дата обращения: 12.09.2022).
189. Ping-Ping Liu, Luca Caricchi et al (2021) Growth and thermal maturation of the Tobamagma reservoir // PNAS2021 Vol. 118 No. 45 e2101695118 DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.2101695118> (дата обращения: 12.08.2022).
190. Preprints (2022) Neural implants: A review of current trends and future perspectives URL:https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjpx4bkqPH6AhVOlosKHXi0C7EQFnoECC4QAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.preprints.org%2Fmanuscript%2F202202.0050%2Fv1%2Fdownload&usg=AOvVaw25MjzqF7_BVxLgl0kQJ8OW (дата обращения: 12.11.2022).
191. Private cities (2019) Flux Trends URL: <https://www.fluxtrends.com/private-cities/> (дата обращения: 10.09.2022).
192. Qi, Y., & Tapio, P. (2018). Weak Signals and Wild Cards Leading to Transformative Disruption: A Consumer Delphi Study on the Future of e-Commerce in China. World Futures Review, 10(1), 54–82. <https://doi.org/10.1177/1946756717752921> (дата обращения: 09.10.2022).

193. Qiong Yue, Ping Guo, Managing agricultural water-energy-food-environment nexus considering water footprint and carbon footprint under uncertainty, Agricultural Water Management, Volume 252, 2021, 106899, ISSN 0378-3774, <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106899>. (дата обращения: 12.10.2022).
194. QUARTZ (2022) Social robots will become family members in the homes of the future URL: <https://qz.com/1383665/social-robots-will-become-family-members-in-the-homes-of-the-future/> (дата обращения: 12.11.2022).
195. Rahwan, I., et al. (2019). Machine Behaviour. Nature, 568(7753), 477–486. (дата обращения: 02.11.2022).
196. Rami'rez R., Selin C. (2014) Plausibility and probability in scenario planning // Foresight, Vol. 16 No. 1 2014, pp. 54-74, Q Emerald Group Publishing Limited, ISSN 1463-6689 (дата обращения: 22.08.2022).
197. Ramírez, Rafael, and Angela Wilkinson, Strategic Reframing: The Oxford Scenario Planning Approach (Oxford, 2016; online edn, Oxford Academic, 19 May 2016), <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780198745693.001.0001> (дата обращения: 01.09.2022).
198. RAND Europe (2015) Mapping Pathways Toolkit URL: https://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/tools/TL100/TL157/RAND_TL157.pdf (дата обращения: 22.06.2022).
199. Ravenscraft E. (2022) What Is the Metaverse, Exactly? Wired URL: <https://www.wired.com/story/what-is-the-metaverse/> (дата обращения: 14.11.2022).
200. Research and Markets (2022) Human Augmentation - Global Market Trajectory & Analytics URL: https://www.researchandmarkets.com/reports/4805541/human-augmentation-global-market-trajectory-and?utm_source=GNOM&utm_medium=PressRelease&utm_code=5qp5pq&utm_campaign=1719204+-+Global+Human+Augmentation+Market+Report+2022-2026+-+Human+Augmentation+Technologies+Sense+Robust+Opportunities+in+Industrial+Sector&utm_exec=chdo54prd (дата обращения: 12.11.2022).
201. Responsible innovation Agenda for Competitive European transport industries up to 2050. European Commission <https://cordis.europa.eu/project/id/314753> (дата обращения: 30.09.2022).

202. Rink D. R., Swan J. E. Product life cycle research: A literature review // Journal of business Research. – 1979. – Т. 7. – №. 3. – С. 219-242. (дата обращения: 12.09.2022).
203. Roose, K. (2022) An A.I.-Generated Picture Won an Art Prize. Artists Aren't Happy. The New York Times. URL: <https://www.nytimes.com/2022/09/02/technology/ai-artificial-intelligence-artists.html> (дата обращения: 12.11.2022).
204. Sandro Mendonça, Miguel Pina e Cunha, Frank Ruff, Jari Kaivo-oja, Venturing into the Wilderness Preparing for Wild Cards in the Civil Aircraft and Asset-Management Industries, Long Range Planning, Volume 42, Issue 1, Pages 23-41, 2009, <https://doi.org/10.1016/j.lrp.2008.11.001>. (дата обращения: 12.09.2022).
205. Saritas O., Smith J. E., (2011) The Big Picture – trends, drivers, wild cards, discontinuities and weak signals, Futures, Volume 43, Issue 3, Pages 292-312, 2011, <https://doi.org/10.1016/j.futures.2010.11.007>. (дата обращения: 13.09.2022).
206. Sarpong, D. and Amankwah-Amoah, J. (2015) ‘Scenario planning: ‘ways of knowing’, methodologies and shifting conceptual landscape’, Int. J. of Foresight and Innovation Policy, Vol. 10, Nos. 2/3/4, pp.75–87. https://www.researchgate.net/profile/David-Sarpong-2/publication/287774424_Scenario_planning_Methodologies_methods_and_shifting_conceptual_landscape/links/56a3e55608ae232fb205a80f/Scenario-planning-Methodologies-methods-and-shifting-conceptual-landscape.pdf (дата обращения: 27.07.2022).
207. Sayburn, A. (2016). What if... we cured cancer? The Bulletin of the Royal College of Surgeons of England, 98(5), 190–193. <https://doi.org/10.1308/rcsbull.2016.190> (дата обращения: 26.09.2022).
208. Scientific American (2020) The Illusion of Genetic Romance. Matchmaking based on “DNA compatibility” may sound intriguing, but the underlying science is hardly convincing URL: <https://blogs.scientificamerican.com/observations/the-illusion-of-genetic-romance/> (дата обращения: 12.09.2022).
209. Scientific American (2021) A New Era of Designer Babies May Be Based on Overhyped Science URL: <https://www.scientificamerican.com/article/a-new-era-of-designer-babies-may-be-based-on-overhyped-science/> (дата обращения: 13.09.2022).
210. Scola, N. (2021) Wait, Cuba has its own internet? The Washington Post. URL: <https://www.washingtonpost.com/news/the-switch/wp/2014/12/19/wait-cuba-has-its-own-internet/> (дата обращения: 18.08.2022).

211. Seager, S., Huang, J., Petkowski, J.J. et al. (2020) Laboratory studies on the viability of life in H₂-dominated exoplanet atmospheres. *Nat Astron* 4, 802–806 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41550-020-1069-4> (дата обращения: 16.09.2022).
212. Seisen International School (2020) Designer Babies, The Key To A Better Developed World URL: <https://www.seisen.com/student-life/seisen-post/features/~board/seisen-post/post/designer-babies-the-key-to-a-better-developed-world> (дата обращения: 16.08.2022).
213. SHERPA (2020) The Rights of Robots URL: <https://www.project-sherpa.eu/the-rights-of-robots/> (дата обращения: 26.09.2022).
214. SOC Arxiv (2020) Posthumous Performance and Digital Resurrection: From Science Fiction to Startups URL: <https://osf.io/preprints/socarxiv/2gkw9/> (дата обращения: 15.08.2022).
215. Soria-Lara, J. A., Ariza-Álvarez, A., Aguilera-Benavente, F., Cascajo, R., Arce-Ruiz, R. M., López, C., & Gómez-Delgado, M. (2021). Participatory visioning for building disruptive future scenarios for transport and land use planning. *Journal of Transport Geography*, 90, 102907. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2020.102907> (дата обращения: 17.07.2022).
216. Springer Link (2021) Human rights for robots? A literature review URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s43681-021-00050-7> (дата обращения: 05.09.2022).
217. Statista (2022) What things would you do in the metaverse but never in real life? URL: <https://www.statista.com/statistics/1288731/things-done-only-metaverse/> (дата обращения: 09.09.2022).
218. Steinmüller K. (2004) The Future as Wild Card – a Short Introduction to a New Concept // Spatial Development Trends – Nordic Countries in a European Context. Nordregio. № 6. Stockholm. (дата обращения: 05.07.2022).
219. Steinmüller K. 2007. “Thinking Out of the Box”: Weak Signals and Wild Cards for European Regions.” *Futura* 26 (2): 22–29. (дата обращения: 10.09.2022).
220. Sustainable (2021) Research Recap: 3D Printing the Clothes You Wear URL: <https://www.sustainablewaterlooregion.ca/2021/06/15/research-recap-3d-printing-the-clothes-you-wear/> (дата обращения: 02.09.2022).
221. Tadasse, G., Algieri, B., Kalkuhl, M., von Braun, J. (2016). Drivers and Triggers of International Food Price Spikes and Volatility. In: Kalkuhl, M., von Braun, J., Torero, M. (eds) *Food Price Volatility and Its Implications for Food Security and Policy*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-28201-5_3 (дата обращения: 03.07.2022).

222. The Actuary (2020) What if: We found A cure for cancer? URL: <https://www.theactuary.com/features/2017/02/2017/02/08/what-if-we-found-cure-cancer> (дата обращения: 17.09.2022).
223. The Economic Times (2021) Digital Reincarnation: What should happen to the data you leave behind after your death? URL: <https://economictimes.indiatimes.com/magazines/panache/digital-reincarnation-what-should-happen-to-the-data-you-leave-behind-after-your-death/articleshow/84707132.cms> (дата обращения: 06.09.2022).
224. Theis, B., Köppe, S. (2018). Peace Operations 2025": From Shaping Factors to Scenarios. In: Peperhove, R., Steinmüller, K., Dienel, HL. (eds) Envisioning Uncertain Futures. Zukunft und Forschung. Springer VS, Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-658-25074-4_10 (дата обращения: 11.08.2022).
225. The Metaverse insider (2022) The Rise of Digital Scent Technology: How the Metaverse is Gaining its Sense of Smell URL: <https://metaverseinsider.tech/2022/07/06/the-rise-of-digital-scent-technology-how-the-metaverse-is-gaining-its-sense-of-smell/> (дата обращения: 29.10.2022).
226. The New York Times (2013) Are We Alone in the Universe? URL: <https://www.nytimes.com/2013/11/19/opinion/are-we-alone-in-the-universe.html> (дата обращения: 13.09.2022).
227. The platform for emerging technology. Internet of senses Institute URL: <https://internetofsenses.com/about-internet-of-senses/> (дата обращения: 12.09.2022).
228. The Royal Society (2019) iHuman Blurring lines between mind and machine URL: <https://royalsociety.org/-/media/policy/projects/ihuman/report-neural-interfaces.pdf> (дата обращения: 12.09.2022).
229. The Washington Post (2022) The twilight of Africa's glaciers URL: <https://www.washingtonpost.com/world/interactive/2022/kenya-glaciers-africa-climate-change/> (дата обращения: 26.10.2022).
230. Tori, S., Pappers, J. & Keserü, I. Developing disruptive mobility scenarios for rural areas. Participatory mobility scenario building in a Belgian village for the year 2050. Eur. Transp. Res. Rev. 14, 33 (2022). <https://doi.org/10.1186/s12544-022-00555-0> (дата обращения: 02.08.2022).

231. Turoff M., Hiltz S., Banuls V., Eede. G. 2013. “Multiple Perspectives on Planning for Emergencies: An Introduction to the Special Issue on Planning and Foresight for Emergency Preparedness and Management.” *Technological Forecasting & Social Change* 80 (9): 1647–56. (дата обращения: 06.08.2022).
232. UCR News (2021) Artificial intelligence is bringing the dead back to “life” – but should it? URL: <https://news.ucr.edu/articles/2021/08/04/artificial-intelligence-bringing-dead-back-life-should-it> (дата обращения: 26.09.2022).
233. UNESCO, IUCN (2022) World heritage glaciers: sentinels of climate change URL: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000383551> (дата обращения: 26.09.2022).
234. University of Oxford. (n.d.). (2022) Art for our sake: Artists cannot be replaced by machines – study URL: <https://www.ox.ac.uk/news/2022-03-03-art-our-sake-artists-cannot-be-replaced-machines-study> (дата обращения: 11.09.2022).
235. van Notten Ph. W.F, Rotmans J., Marjolein B.A van Asselt, Rothman D. S., An updated scenario typology, *Futures*, Volume 35, Issue 5, 2003, Pages 423-443, ISSN 0016-3287, [https://doi.org/10.1016/S0016-3287\(02\)00090-3](https://doi.org/10.1016/S0016-3287(02)00090-3). (дата обращения: 29.07.2022).
236. Venture Beat (2021) 21 ways medical digital twins will transform healthcare URL: <https://venturebeat.com/2021/07/04/21-ways-medical-digital-twins-will-transform-healthcare/> (дата обращения: 26.09.2022).
237. Venture Beat (2022) Bosch’s new partnership aims to explore quantum digital twins URL: <https://venturebeat.com/ai/bosch-building-quantum-digital-twin/> (дата обращения: 04.09.2022).
238. Visage Technologies (2020) Robots with emotional intelligence can improve human-robot interaction URL: <https://visagetechnologies.com/robots-with-emotional-intelligence/> (дата обращения: 30.07.2022).
239. von der Gracht, H. A., & Darkow, I.-L. (2010). Scenarios for the logistics services industry: A Delphi-based analysis for 2025. *International Journal of Production Economics*, 127(1), 46–59. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2010.04.013> (дата обращения: 26.07.2022).
240. Watt Clarity (2022) “Rise of the Machines” – the increasing role of auto-bidding and self-forecasting in the modern-day NEM <https://wattclarity.com.au/articles/2022/03/rise-of-the-machines-the-increasing-role-of-auto-bidding-and-self-forecasting-in-the-modern-day-nem/> (дата обращения: 08.09.2022).

241. WEF (2016) Internet Fragmentation: An Overview URL:
<https://www.weforum.org/reports/internet-fragmentation-an-overview/> (дата обращения: 20.08.2022).

242. What are Shell's scenarios? Shell URL: <https://www.shell.com/energy-and-innovation/the-energy-future/scenarios/what-are-scenarios.html> (дата обращения: 29.07.2022).

243. What Would Happen If All the Bees Died? Britannica URL:
<https://www.britannica.com/story/what-would-happen-if-all-the-bees-died> (дата обращения: 16.09.2022).

244. Why the ‘New Normal’ Might Look Quite Familiar. Materialise URL:
<https://www.materialise.com/en/inspiration/articles/manufacturing-megatrends> (дата обращения: 26.08.2022).

245. William J. Drake (2017) Framing Conversation: What Would Internet Fragmentation Mean for the Digital Economy? URL:
https://www.sipa.columbia.edu/sites/default/files/Drake_GDF_2017_FC1_final.pdf (дата обращения: 03.08.2022).

246. Wilkinson A., Kupers R. (2013) Living in the Futures // Harvard Business Review. Vol. 91. № 5. P. 118–127 (дата обращения: 28.07.2022).

247. World Health Organization (2019) New report calls for urgent action to avert antimicrobial resistance crisis URL: <https://www.who.int/news-room/detail/29-04-2019-new-report-calls-for-urgent-action-to-avert-antimicrobial-resistance-crisis> (дата обращения: 26.09.2022).

248. World Health Organization (2020) Antibiotic resistance URL:
<https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/antibiotic-resistance#:~:text=Antibiotic%20resistance%20occurs%20when%20bacteria,caused%20by%20non%2Dresistant%20bacteria> (дата обращения: 20.09.2022).

249. World Health Organization (2022) Lack of innovation set to undermine antibiotic performance and health gains URL:<https://www.who.int/news-room/detail/22-06-2022-22-06-2022-lack-of-innovation-set-to-undermine-antibiotic-performance-and-health-gains> (дата обращения: 26.09.2022).

250. WTW (2022) Winning through change: Our perspective URL:
<https://www.wtcco.com/en-GB/Insights/2022/02/winning-through-change-our-perspective> (дата обращения: 29.10.2022).

251. Yahoo Finance (2022) Biodefense Market to Reach USD 1746 Million by 2027 at a CAGR of 7.3% URL: <https://finance.yahoo.com/news/biodefense-market-reach-usd-1746-130000808.html> (дата обращения: 02.11.2022).
252. Yahoo Finance (2022) Robo Advisory Market Size Worth \$41.83 Billion by 2030 URL: https://finance.yahoo.com/news/robo-advisory-market-size-worth-120000757.html?guccounter=1&guce_referrer=aHR0cHM6Ly93d3cuZ29vZ2xIbmNvbS8&guce_referrer_sig=AQAAAM09VWz_YSSSt-r35sswjhBmXmXbL9vdd_zGwo5qJ-NeeGcNpleEH7_8EB9U0v_4z8rugzhDU720yHkJgg_sGJjqb32hyvadn2exxn2SZ5JJ7hicYRavqjqkvpzxhnjyHAGbLLnRe_8m-GznauHOy9nmqitq5TRynchUOH5Glcw (дата обращения: 02.11.2022).
253. Serageldin I. Biotechnology and food security in the 21st century // Science. – 1999. – Т. 285. – №. 5426. – С. 387-389.
254. Rosegrant M. W., Cline S. A. Global food security: challenges and policies //Science. – 2003. – Т. 302. – №. 5652. – С. 1917-1919.
255. Newman M. E. J. The structure and function of complex networks // SIAM review. – 2003. – Т. 45. – №. 2. – С. 167-256.
256. Aleskerov F., Shvydun S., Meshcheryakova N. New Centrality Measures in Networks: How to Take Into Account the Parameters of the Nodes and Group Influence of Nodes to Nodes. – Chapman and Hall/CRC, 2021.
257. Aleskerov F., Sergeeva Z., Shvydun S. Assessment of Exporting Economies Influence on the Global Food Network //Optimization Methods and Applications. – Springer, Cham, 2017. – С. 1-10.
258. Crops and livestock products. FAO [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/TCL> (дата обращения 6.11.2022)
259. UNComtrade Database [Электронный ресурс]. – URL: <https://comtrade.un.org/data/> (дата обращения 6.11.2022)
260. Meshcheryakova N. Network analysis of bilateral trade data under asymmetry //2020 IEEE/ACM International Conference on Advances in Social Networks Analysis and Mining (ASONAM). – IEEE, 2020. – С. 379-383.
261. Food and Nutrition Information Center (FNIC). National Agricultural Library,

262. U.S. Department of agriculture [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.nal.usda.gov/programs/fnic#:~:text=Carbohydrates%20provide%204%20calories%20per,provides%209%20calories%20per%20gram> (дата обращения 6.11.2022)
263. The role of carbohydrates in maintenance of health. FAO [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.fao.org/3/w8079e/w8079e08.htm#carbohydrates%20in%20the%20diet> (дата обращения 6.11.2022)
264. Carbohydrates in human nutrition. FAO [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.fao.org/3/x2650T/x2650t02.htm> (дата обращения 6.11.2022)
265. Healthy diet. World Health Organization [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/healthy-diet> (дата обращения 6.11.2022)
266. European Food Safety Authority (EFSA). Dietary reference values for nutrients summary report. – 2017. – Т. 14. – №. 12. – С. <https://doi.org/10.2903/sp.efsa.2017.e15121>
267. Buyken A. E. et al. Dietary carbohydrates: a review of international recommendations and the methods used to derive them //European journal of clinical nutrition. – 2018. – Т. 72. – №. 12. – С. 1625-1643. Doi: 10.1038/s41430-017-0035-4
268. Energy requirements of adults. FAO [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.fao.org/3/y5686e/y5686e07.htm> (дата обращения 6.11.2022)
269. The scientific basis for diet, nutrition and health relationships. FAO [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.fao.org/3/X0243E/x0243e09.htm> (дата обращения 6.11.2022)
270. Drewnowski A. et al. A proposed nutrient density score that includes food groups and nutrients to better align with dietary guidance //Nutrition Reviews. – 2019. – Т. 77. – №. 6. – С. 404-416. Doi: 10.1093/nutrit/nuz002
271. Average requirements for energy intake. EFSA [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.efsa.europa.eu/en/press/news/130110> (дата обращения 6.11.2022)
272. National Research Council. Recommended Dietary Allowances: 10th Edition. Washington, DC: The National Academies Press. – 1989. <https://doi.org/10.17226/1349>.
273. Awika J. M. Major cereal grains production and use around the world //Advances in cereal science: implications to food processing and health promotion. – American Chemical Society, 2011. – С. 1-13.
274. Data Type Documentation. U.S. Department of agriculture, Agricultural Research Service [Электронный ресурс]. – URL: <https://fdc.nal.usda.gov/data-documentation.html> (дата обращения 6.11. 2022)

275. FoodData Central. U.S. Department of agriculture, Agricultural Research Service [Электронный ресурс]. – URL: <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/169756/nutrients> (дата обращения 6.11. 2022)
276. World Health Organization. Diet, nutrition, and the prevention of chronic diseases: report of a joint WHO/FAO expert consultation. – World Health Organization, 2003. – Т. 916.
277. World Health Organization et al. The State of Food Security and Nutrition in the World 2021: Transforming food systems for food security, improved nutrition and affordable healthy diets for all. – Food & Agriculture Org., 2021. – Т. 2021.
278. Put your diet on autopilot. Eat This Much Inc. – URL: <https://www.eatthismuch.com/> (дата обращения 01.11.2022)
279. Luttenberger N., Zedlitz J. Standard International Trade Classification //Business & Information Systems Engineering. – 2018. – Т. 60. – №. 4. – С. 305-316.
280. Classifications on economic statistics. Statistics Division, United Nations. – URL: <https://unstats.un.org/unsd/classifications/econ/> (дата обращения 01.11.2022)
281. UN Population Division Data Portal. – URL: <https://population.un.org/dataportal/home> (дата обращения 01.11.2022)
282. Aleskerov F., Yakuba V. Matrix-vector approach to construct generalized centrality indices in networks // NRU Higher School of Economics. Series WP7 "Mathematical methods for decision making economics, business and politics" – 2020.
283. Aleskerov F. T., Demin S., Richman M., Shvydun S., Trafalis T. B., Yakuba V. I. Constructing an Efficient Machine Learning Model for Tornado Prediction // International Journal of Information Technology and Decision Making. 2020. Vol. 19. No. 5. P. 1177-1187.
284. Aleskerov F., Demin S., Myachin A., Yakuba V. Short-Term Covid-19 Incidence Prediction in Countries Using Clustering and Regression Analysis, in: 9th International Conference on Computers Communications and Control (ICCCCC) 2022 Vol. 1435. Springer, 2022. doi P. 333-342.
285. Myachin A. L. Pattern analysis in parallel coordinates based on pairwise comparison of parameters //Automation and Remote Control. – 2019. – Т. 80. – №. 1. – С. 112-123.
286. Niemann H. Pattern analysis and understanding. – Springer Science & Business Media, 2013. – Т. 4.

287. Алескеров Ф. Т., Белоусова В. Ю., Егорова Л. Г., Миркин Б. Г. Анализ паттернов в статике и динамике, часть 1: обзор литературы и уточнение понятия // Бизнес-информатика. 2013. № 3(25). С. 3-18.
288. Алескеров Ф. Т., Солодков В. М., Челнокова Д. С. Динамический анализ паттернов поведения коммерческих банков России // Экономический журнал Высшей школы экономики. 2006. Т. 10. № 1. С. 48-62.
289. Ахременко А. С., Мячин А. Л. Паттерн-анализ и кластеризация в исследовании государственной состоятельности: «Адаптивная оптика» для политической науки // Политическая наука. – 2019. – №. 3. – С. 112-139.
290. Демин С. С. Проект системы раннего реагирования для устранения последствий разливов нефти в Северном Ледовитом океане // УПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЕМ КРУПНОМАСШТАБНЫХ СИСТЕМ MLSD'2019. – 2019. – С. 977-979.
291. Мячин А. Л. Анализ паттернов: диффузионно-инвариантная паттерн-кластеризация // Проблемы управления. – 2016. – №. 4. – С. 2-9.
292. Мячин А. Л. Анализ паттернов: порядково-инвариантная паттерн-кластеризация // Управление большими системами: сборник трудов. – 2016. – №. 61. – С. 41-59.
293. Прокофьев В. Н., Акимова К. В., Мячин А. Л. Исследование показателей стратегии развития спорта в регионах РФ // Проблемы управления. – 2021. – №. 3. – С. 50-57.
294. Almetova, Z., Shepelev, V., & Shepelev, S. (2017) Optimization of delivery lot volumes in terminal complexes. Transportation Research Procedia, 27, 396–403. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.12.020>
295. Belenky, A. (2014) Two classes of games on polyhedral sets in systems economics studies. In Kalyagin, Valery A., Pardalos, Panos, Rassias, Themistocles M. (Eds.), Network models in economics and finance (pp. 35–84). Springer. <https://www.springer.com/gp/book/9783319096827Belenky>
296. Bandara, Y. M., & Nguyen, H.-O. (2016) Influential factors in port infrastructure tariff formulation, implementation and revision. Transportation Research Part A, 85, 220–232. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2016.01.011>

297. Kulak, O., Genç, A., & Taner, M. E. (2018) A decision making tool considering risk assessment of sub-contracting agents for an air cargo shipment planning problem. *Journal of Air Transport Management*, 69, 123–136. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2018.02.005>
298. Azadian, F., & Murat, A. (2018) Service location grouping and pricing in transportation: Application in air cargo. *European Journal of Operational Research*, 267(3), 933–943. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.12.031>
299. Oktal, H., & Ozger, A. (2013) Hub location in air cargo transportation: A case study. *Journal of Air Transport Management*, 129(3), 1–4. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2012.10.009>
300. Mokhtar, H., Redi, A. A. N. P., Krishnamoorthy, M., & Ernst, A. T. (2019) An intermodal hub location problem for container distribution in Indonesia. *Computers & Operations Research*, 104, 415–432. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2018.08.012>,
301. Mokhtar, H., Krishnamoorthy, M., & Ernst, A. T. (2019) The 2-allocation p-hub median problem and a modified Benders decomposition method for solving hub location problems. *Computers & Operations Research*, 104, 375–393. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2018.09.006>
302. Belenky, A. (1981) Minimax planning problems with linear constraints and methods of their solutions. *Automation and Remote Control*, 42(10), 1409–1419. <https://www.researchgate.net/publication/265948434> Minimax planning problems with linear constraints and methods of their solution
303. Belenky, A. (1978) A planning problem in a class of linear models. *Automation and Remote Control*, 39(11), 1667–1673. <https://www.researchgate.net/publication/284048559>
304. Belenky, A., Fedin, G., & Kornhauser, A. (2021) An Approach to Estimating the Economic Expediency of Developing a New Cargo Transport Hub by a Regional Public Administration. *International Journal of Public Administration*, 44(13), 1076-1089. <https://doi.org/10.1080/01900692.2020.1815052>
305. Kahneman D. Thinking, fast and slow. - N.Y.: Penguin, 2011
306. Hawkes A. G. Spectra of Some Self-Exciting and Mutually Exciting Point Processes // *Biometrika*. -1971. - Vol. 58. - No. 1. - p. 83-90.
307. Aït-Sahalia Y., Cacho-Diaz J., Laeven R. J. A. Modeling financial contagion using mutually exciting jump processes // *Journal of Financial Economics*. – 2015. - 117 (3). - p. 585-606.

308. Hewlett P. Clustering of order arrivals, price impact and trade path optimisation // Workshop on Financial Modeling with Jump processes, Ecole Polytechnique. - 2006. – p. 6-8.
309. Toke I.M. "Market making" in an order book model and its impact on the bid-ask spread, in F. Abergel, B. Chakrabarti, A. Chakraborti & M. Mitra, eds, 'Econophysics of Order-Driven Markets', New Economic Windows, Springer-Verlag Milan, 2011, p. 49–64.
310. Egorova L., Klimyuk I. Hawkes processes for forecasting currency crashes: Evidence from Russia, in: Procedia Computer Science Vol. 122: 5th International Conference on Information Technology and Quantitative Management, ITQM 2017. Elsevier, 2017. P. 1182-1188.
311. Ogata Y. On Lewis' simulation method for point processes // IEEE Transactions on Information Theory. – 1981. - No. 27(1). - pp. 23–31.
312. Lewis P. A. W., Shedler G. S. Simulation of Nonhomogeneous Poisson processes by thinning // Naval Research Logistics Quarterly. – 1979. - No. 26(3). - pp. 403–413.
313. Toke I.M. An Introduction to Hawkes Processes with Applications to Finance, http://lamp.ecp.fr/MAS/fiQuant/ioane_files/HawkesCourseSlides.pdf
314. Егорова Л.Г. Процессы Хоукса с переменной базовой интенсивностью, моделируемой марковской цепью, 2022 (готовится к публикации).
315. Serageldin I. Biotechnology and food security in the 21st century //Science. – 1999. – T. 285. – №. 5426. – C. 387-389.
316. Rosegrant M. W., Cline S. A. Global food security: challenges and policies //Science. – 2003. – T. 302. – №. 5652. – C. 1917-1919.
317. Newman M. E. J. The structure and function of complex networks //SIAM review. – 2003. – T. 45. – №. 2. – C. 167-256.
318. Aleskerov F., Shvydun S., Meshcheryakova N. New Centrality Measures in Networks: How to Take Into Account the Parameters of the Nodes and Group Influence of Nodes to Nodes. – Chapman and Hall/CRC, 2021.
319. Aleskerov F., Sergeeva Z., Shvydun S. Assessment of Exporting Economies Influence on the Global Food Network //Optimization Methods and Applications. – Springer, Cham, 2017. – C. 1-10.
320. Crops and livestock products. FAO [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/TCL> (дата обращения 6.11.2022).

321. UNComtrade Database [Электронный ресурс]. – URL:
<https://comtrade.un.org/data/> (дата обращения 6.11.2022)

322. Meshcheryakova N. Network analysis of bilateral trade data under asymmetry //2020 IEEE/ACM International Conference on Advances in Social Networks Analysis and Mining (ASONAM). – IEEE, 2020. – С. 379-383.

323. Food and Nutrition Information Center (FNIC). National Agricultural Library, U.S. Department of agriculture [Электронный ресурс]. – URL:
<https://www.nal.usda.gov/programs/fnic#:~:text=Carbohydrates%20provide%204%20calories%20per,provides%209%20calories%20per%20gram> (дата обращения 6.11.2022).

324. The role of carbohydrates in maintenance of health. FAO [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.fao.org/3/w8079e/w8079e08.htm#carbohydrates%20in%20the%20diet> (дата обращения 6.11.2022).

325. Carbohydrates in human nutrition. FAO [Электронный ресурс]. – URL:
<https://www.fao.org/3/x2650T/x2650t02.htm> (дата обращения 6.11.2022).

326. Healthy diet. World Health Organization [Электронный ресурс]. – URL:
<https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/healthy-diet> (дата обращения 6.11.2022).

327. European Food Safety Authority (EFSA). Dietary reference values for nutrients summary report. – 2017. – Т. 14. – №. 12. – С. <https://doi.org/10.2903/sp.efsa.2017.e15121>.

328. Buyken A. E. et al. Dietary carbohydrates: a review of international recommendations and the methods used to derive them //European journal of clinical nutrition. – 2018. – Т. 72. – №. 12. – С. 1625-1643. Doi: 10.1038/s41430-017-0035-4.

329. Energy requirements of adults. FAO [Электронный ресурс]. – URL:
<https://www.fao.org/3/y5686e/y5686e07.htm> (дата обращения 6.11.2022).

330. The scientific basis for diet, nutrition and health relationships. FAO [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.fao.org/3/X0243E/x0243e09.htm> (дата обращения 6.11.2022).

331. Drewnowski A. et al. A proposed nutrient density score that includes food groups and nutrients to better align with dietary guidance //Nutrition Reviews. – 2019. – Т. 77. – №. 6. – С. 404-416. Doi: 10.1093/nutrit/nuz002.

332. Average requirements for energy intake. EFSA [Электронный ресурс]. – URL:
<https://www.efsa.europa.eu/en/press/news/130110> (дата обращения 6.11.2022).

333. National Research Council. Recommended Dietary Allowances: 10th Edition. Washington, DC: The National Academies Press. – 1989. <https://doi.org/10.17226/1349>.

334. Awika J. M. Major cereal grains production and use around the world //Advances in cereal science: implications to food processing and health promotion. – American Chemical Society, 2011. – C. 1-13.
335. Data Type Documentation. U.S. Department of agriculture, Agricultural Research Service [Электронный ресурс]. – URL: <https://fdc.nal.usda.gov/data-documentation.html> (дата обращения 6.11. 2022).
336. FoodData Central. U.S. Department of agriculture, Agricultural Research Service [Электронный ресурс]. – URL: <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/169756/nutrients> (дата обращения 6.11. 2022).
337. World Health Organization. Diet, nutrition, and the prevention of chronic diseases: report of a joint WHO/FAO expert consultation. – World Health Organization, 2003. – T. 916.
338. World Health Organization et al. The State of Food Security and Nutrition in the World 2021: Transforming food systems for food security, improved nutrition and affordable healthy diets for all. – Food & Agriculture Org., 2021. – T. 2021.
339. Put your diet on autopilot. Eat This Much Inc. – URL: <https://www.eatthismuch.com/> (дата обращения 01.11.2022).
340. Luttenberger N., Zedlitz J. Standard International Trade Classification //Business & Information Systems Engineering. – 2018. – T. 60. – №. 4. – C. 305-316.
341. Classifications on economic statistics. Statistics Division, United Nations. – URL: <https://unstats.un.org/unsd/classifications/econ/> (дата обращения 01.11.2022).
342. UN Population Division Data Portal. – URL: <https://population.un.org/dataportal/home> (дата обращения 01.11.2022).
343. Aleskerov F., Yakuba V. Matrix-vector approach to construct generalized centrality indices in networks // NRU Higher School of Economics. Series WP7 "Mathematical methods for decision making economics, business and politics" – 2020.
344. Kermanshah A., Derrible S. A geographical and multi-criteria vulnerability assessment of transportation networks against extreme earthquakes // Reliability Engineering & System Safety, V.53, 2016, p.39-49.
345. Bíl M., Vodák R., Kubeček J., Bílová M., Sedoník J. Evaluating road network damage caused by natural disasters in the Czech Republic between 1997 and 2010 // Transportation Research Part A: Policy and Practice, V.80, 2015, p.90-103.

346. Sohn J. Evaluating the significance of highway network links under the flood damage: An accessibility approach // *Transportation Research Part A: Policy and Practice* V.40, Iss.6, 2006, p.491-506.
347. Almetova, Z., Shepelev, V., & Shepelev, S. (2017) Optimization of delivery lot volumes in terminal complexes. *Transportation Research Procedia*, 27, 396–403. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.12.020>.
348. Belenky, A. (2014) Two classes of games on polyhedral sets in systems economics studies. In Kalyagin, Valery A., Pardalos, Panos, Rassias, Themistocles M. (Eds.), *Network models in economics and finance* (pp. 35–84). Springer. <https://www.springer.com/gp/book/9783319096827Belenky>.
349. Bandara, Y. M., & Nguyen, H.-O. (2016) Influential factors in port infrastructure tariff formulation, implementation and revision. *Transportation Research Part A*, 85, 220–232. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2016.01.011>.
350. Kulak, O., Genç, A., & Taner, M. E. (2018) A decision making tool considering risk assessment of sub-contracting agents for an air cargo shipment planning problem. *Journal of Air Transport Management*, 69, 123–136. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2018.02.005>.
351. Azadian, F., & Murat, A. (2018) Service location grouping and pricing in transportation: Application in air cargo. *European Journal of Operational Research*, 267(3), 933–943. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.12.031>.
352. Oktal, H., & Ozger, A. (2013) Hub location in air cargo transportation: A case study. *Journal of Air Transport Management*, 129(3), 1–4. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2012.10.009>.
353. Mokhtar, H., Redi, A. A. N. P., Krishnamoorthy, M., & Ernst, A. T. (2019) An intermodal hub location problem for container distribution in Indonesia. *Computers & Operations Research*, 104, 415–432. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2018.08.012>.
354. Mokhtar, H., Krishnamoorthy, M., & Ernst, A. T. (2019) The 2-allocation p-hub median problem and a modified Benders decomposition method for solving hub location problems. *Computers & Operations Research*, 104, 375–393. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2018.09.006>.
355. Belenky, A. (1981) Minimax planning problems with linear constraints and methods of their solutions. *Automation and Remote Control*, 42(10), 1409–1419. <https://www.research>

gate.net/publication/265948434 Minimax planning problems with linear constraints and methods of their solution.

356. Belenky, A. (1978) A planning problem in a class of linear models. Automation and Remote Control, 39(11), 1667–1673. <https://www.researchgate.net/publication/284048559>.

357. Belenky, A., Fedin, G., & Kornhauser, A. (2021) An Approach to Estimating the Economic Expediency of Developing a New Cargo Transport Hub by a Regional Public Administration. International Journal of Public Administration, 44(13), 1076-1089. <https://doi.org/10.1080/01900692.2020.1815052>.

358. Зубков Б. В. Безопасность полётов: учебник / Б. В. Зубков, С. Е. Прозоров; под ред. Б. В. Зубкова. – Ульяновск: УВАУ ГА(И), 2012. – 451 с.

359. Куклев Е.А. Модели рисков катастроф, как маловероятных событий в системах с дискретными состояниями // Сб. трудов международной конференции «Системный анализ и системное моделирование». — СПб.: ЛЭТИ, 2003.

360. Елисов Л.Н., Овченков Н. И. Интегральная безопасность воздушного транспорта // Научный вестник МГТУ ГА. - 2017. - №6.

361. Сакач Р.В., Буряков В.М., Кофман В.Д. Вопросы расследования и анализа авиационных происшествий: учеб. пособие для вузов гражд. авиации / Р.В. Сакач, В.М. Буряков, В.Д. Кофман. - Москва: Б., - 1979. - 92 с.

362. Прозоров, С.Е. Авиационная безопасность: учебное пособие / С.Е. Прозоров, Б.В. Зубков; Министерство транспорта РФ; МГТУ ГА. - М.: МГТУ ГА, 2004. – 144 с.

363. Балаяников, В.В. Конспект лекций дисциплины «Безопасность транспортных систем» [Электронный ресурс]: Официальный веб-сайт ФГБОУ ВО «СпбГУ ГА» // СПбГУ ГА. 2022. URL: https://spbguga.ru/wp-content/uploads/2016/01/konspekt_lekcii.pdf (дата обращения: 27.09.2022).

364. Huang J., Mian G.M. Sankaraguruswamy S. The value of combining the information content of analyst recommendations and target prices// Journal of Financial Markets. – 2009. – 12. – P. 754–777.

365. Freund Y., Schapire R. E. A Decision-Theoretic Generalization of On-Line Learning and an Application to Boosting// Journal of computer and system sciences. – 1997. – 55. – P. 119–139.

366. Kim O., Lim S.C., Shaw K.W. The inefficiency of the mean forecast as a summary forecast of earnings// Journal of Accounting Research. – 2001. – 39. – P. 329–336.

367. Dempster A.P. Upper and lower probabilities induced by multivalued mapping// Ann. Math. Statist. – 1967. – 38. – P. 325–339.
368. Shafer G. A mathematical theory of evidence. – Princeton Univ. Press. – 1976.
369. Xu Y., Wu L., Wu X., Xu Z. Belief Fusion of Predictions of Industries in China's Stock Market// In: Cuzzolin, F. (ed.): BELIEF 2014. – 2014. – LNAI 8764. – P. 348–355.
370. Kutynina E., Lepskiy A. Aggregation of Forecasts and Recommendations of Financial Analysts in the Framework of Evidence Theory// In: Kacprzyk, J. et al. (eds.) Advances in Intelligent Systems and Computing. – 2018. – V. 642. – Springer, Cham. – P. 370–381.
371. Bronevich A., Lepskiy A., Penikas H. The Application of Conflict Measure to Estimating Incoherence of Analyst's Forecasts about the Cost of Shares of Russian Companies// Procedia Computer Science. – 2015. – 55, P. 1113–1122.
372. Lepskiy A. Analysis of Information Inconsistency in Belief Function Theory. Part I External Conflict// Control Sciences. – 2021. – 5. – P. 2–16.
373. Zhang L. Representation, independence and combination of evidence in the Dempster-Shafer theory// In: Yager, R.R. et al. (eds.) Adv. in the Dempster-Shafer Theory of Evidence. – 1994. – P. 51–69. – John Wiley & Sons, NY.
374. Drucker H., Burges C.J.C., Kaufman L., Smola A., Vapnik V. Support Vector Regression Machines// Advances in Neural Information Processing Systems. – 1997. – 9. – P. 155–161.
375. Bronevich A., Lepskiy A. Imprecision indices: axiomatic, properties and applications// Intern. J. of General Systems. – 2015. – 44(7-8). – P. 812–832.
376. Dubois D., Prade H. Consonant approximations of belief measures// International Journal of Approximate Reasoning. – 1990. – 4. – P. 419–449.
377. Bulletin of macroeconomic forecasts of the HSE Centre of Development Institute.
378. \url{https://dcenter.hse.ru/consensus_forecast_archive}. Last accessed 1 August 2022.
379. Smets P., Kennes R. The Transferable Belief Model// Artificial Intelligence. – 1994. – 66. – P. 191–243.
380. Lepskiy A. On Optimal Blurring of Point Expert Estimates and their Aggregation in the Framework of Evidence Theory// Procedia Computer Science. – 2022. (in print).

381. Ahmad J., Sadia H. Natural Disasters Assessment, Risk Management, and Global Health Impact, Handbook of Global Health. – 2020.
382. Aleskerov F. T., Demin S. DEA for the Assessment of Regions' Ability to Cope with Disasters, Dynamics of Disasters. Impact, Risk, Resilience, and Solutions. – 2021. – N. 2. – C. 31-37.
383. Bagheri M., Ebrahimnejad A., Razavyan S., Lotfi F.H., Malekmohammadi N. Solving fuzzy multi-objective shortest path problem based on data envelopment analysis approach, Complex & Intelligent Systems. – 2021. – N. 7(4).
384. Charnes A., Cooper W.W., Rhodes E. Measuring the Efficiency of Decision Making Units, European Journal of Operational Research. – 1978. – N. 2. – C. 429-444.
385. Chen J.-L. Business Efficiency Evaluation of Machine Tool Manufacturers by Data Envelopment Analysis (DEA): A Case Study of Taiwanese Listed Machine Tool Companies, International Business Research. – 2021. – N. 14(12). – C. 125-134.
386. Farrell M.J. The Measurement of Productive Efficiency, Journal of the Royal Statistical Society. – 1957. – N. 120(3). – C. 253-290.
387. Huang J., Liu Y., Ma L. Assessment of regional vulnerability to natural hazards in China using a DEA model, Int. Journal Disaster Risk Science. – 2011. – N. 2(2). – C. 41-48.
388. Namakin A., Najafi S.E., Fallh M., Javadi M. A New Evaluation for Solving the Fully Fuzzy Data Envelopment Analysis with Z-Numbers, Symmetry. – 2018. – N. 10. – C. 384.
389. Saljooghi F.H., Rayeni M.M. Network Data Envelopment Analysis Model for Estimating Efficiency and Productivity in Universities, Journal of Computer Science. – 2010. – N. 6(11). – C. 1252-1257.
390. Segota A. Evaluating shops efficiency using data envelopment analysis: Categorical approach, Proceedings of Rijeka School of Economics. – 2008. – N. 26(2). – C. 325-343.
391. Vrabková I., Bečica J. The Technical and Allocative Efficiency of the Regional Public Galleries in the Czech Republic, SAGE Open. – 2021. – N. 11(2). – C. 1-15.
392. Алексеров Ф.Т., Белоусова В.Ю., Егорова Л.В., Миркин Б.Г. Анализ паттернов в статике и динамике, часть 1: Обзор литературы и уточнение понятия // Бизнес-информатика. – 2013. – N 3 (25). – C. 3 – 19
393. Алексеров Ф.Т., Белоусова В.Ю., Егорова Л.В., Миркин Б.Г. Анализ паттернов в статике и динамике, часть 2: Примеры применения к анализу социально-экономических процессов. – 2013. – N 4 (26). – C. 3 – 20

394. Алескеров Ф.Т., Белоусова В.Ю., Сердюк М.Ю., Солодков В.М. Стереотипы поведения российских банков. – 2008. – № 7.

395. Доклад «Социально-экономическое положение России» [Электронный ресурс] / Федеральная служба государственной статистики – электрон. текст. дан. – URL: <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/50801> (дата обращения 05.06.22).

396. Sigurdsson, H., Houghton, B., McNutt, S., Rymer, H., Stix, J., 2015. The encyclopedia of volcanoes. Elsevier.

397. Вулкан Ключевской [WWW Document], n.d. URL <https://volcano.si.edu/volcano.cfm?vn=300260>.

398. Вулкан Мауна-Лоа [WWW Document], n.d. URL <https://volcano.si.edu/volcano.cfm?vn=332020>.

399. Вулкан Безымянный [WWW Document], n.d. URL <https://volcano.si.edu/volcano.cfm?vn=300250>.

400. Kling, G.W., Clark, M.A., Wagner, G.N., Compton, H.R., Humphrey, A.M., Devine, J.D., Evans, W.C., Lockwood, J.P., Tuttle, M.L., Koenigsberg, E.J., 1987. The 1986 lake nyos gas disaster in cameroon, west Africa. Science 236, 169–175.

401. Rosi, M., Bertagnini, A., Landi, P., 2000. Onset of the persistent activity at Stromboli volcano (Italy). Bulletin of volcanology 62, 294–300.

402. Luterbacher, J., Pfister, C., 2015. The year without a summer. Nature Geoscience 8, 246–248.

403. Künzler, M., Huggel, C., Ramírez, J.M., 2012. A risk analysis for floods and lahars: case study in the Cordillera Central of Colombia. Natural hazards 64, 767–796.

404. Вулкан Толима [WWW Document], n.d. URL <https://volcano.si.edu/volcano.cfm?vn=351030>.

405. SRTM [WWW Document], n.d. URL <https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-digital-elevation-shuttle-radar-topography-mission-srtm-1>.

406. Schilling, S.P., 1998. LAHARZ; GIS programs for automated mapping of lahar-inundation hazard zones. US Geological Survey; Information Services [distributor].

407. HEC RAS [WWW Document], n.d. URL <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>.

408. Nurmawati, A., Konstantinou, K., 2018. Hazard assessment of volcanic ballistic impacts at Mt Chihshin, Tatun Volcano Group, northern Taiwan. *Natural hazards* 92, 77–92.
409. Вулкан Татун [WWW Document], n.d. URL <https://volcano.si.edu/volcano.cfm?vn=281032>.
410. Alatorre-Ibargüengoitia, M.A., Scheu, B., Dingwell, D.B., Delgado-Granados, H., Taddeucci, J., 2010. Energy consumption by magmatic fragmentation and pyroclast ejection during Vulcanian eruptions. *Earth and Planetary Science Letters* 291, 60–69.
411. Searcy, C., Dean, K., Stringer, W., 1998. Puff: A high-resolution volcanic ash tracking model. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 80, 1–16. [https://doi.org/10.1016/S0377-0273\(97\)00037-1](https://doi.org/10.1016/S0377-0273(97)00037-1).
412. Costa, A., Macedonio, G., Folch, A., 2006. A three-dimensional Eulerian model for transport and deposition of volcanic ashes. *Earth and Planetary Science Letters* 241, 634–647.
413. Davies, T., 2014. Lateral boundary conditions for limited area models. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 140, 185–196.
414. Morton, B., Taylor, G.I., Turner, J.S., 1956. Turbulent gravitational convection from maintained and instantaneous sources. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A. Mathematical and Physical Sciences* 234, 1–23.
415. Вулкан Этна [WWW Document], n.d. URL <https://volcano.si.edu/volcano.cfm?vn=211060>.
416. Warwick, R., Williams-Jones, G., Kelman, M., Witter, J., 2022. A scenario-based volcanic hazard assessment for the Mount Meager Volcanic Complex, British Columbia. *Journal of applied volcanology* 11, 1–22.
417. Вулкан Миджер [WWW Document], n.d. URL <https://volcano.si.edu/volcano.cfm?vn=320180>.
418. Sheridan, M.F., 1979. Emplacement of pyroclastic flows: A review. *Ash flow tuffs: Geological Society of America Special Paper* 180, 125–136.
419. Barca, D., Crisci, G., Di Gregorio, S., Nicoletta, F., 1993. Cellular automata methods for modeling lava flows: simulation of the 1986–1987 eruption, Mount Etna, Sicily. *Active lavas: monitoring and modelling* 291–303.
420. Massaro, S., Dioguardi, F., Sandri, L., Tamburello, G., Selva, J., Moune, S., Jessop, D.E., Moretti, R., Komorowski, J.-C., Costa, A., 2021. Testing gas dispersion modelling: A case

study at La Soufrière volcano (Guadeloupe, Lesser Antilles). Journal of Volcanology and Geothermal Research 417, 107312.

421. Costa, A., Macedonio, G., 2016. DISGAS: a model for passive DISpersion of GAS. Rapporti tecnici INGV, Istituto Nazionale Di Geofisica e Vulcanologia, Italy 332.

422. Вулкан Суфриер [WWW Document], n.d. URL <https://volcano.si.edu/volcano.cfm?vn=360150>.

423. Hayward, M.W., Whittaker, C.N., Lane, E.M., Power, W.L., Popinet, S., White, J.D., 2022. Multilayer modelling of waves generated by explosive subaqueous volcanism. Natural Hazards and Earth System Sciences 22, 617–637.

424. Вулкан Таупо [WWW Document], n.d. URL <https://volcano.si.edu/volcano.cfm?vn=241070>.

425. Landsat 5 [WWW Document], n.d. URL <https://www.ncei.noaa.gov/archive/archive-management-system/OAS/bin/prd/jquery/platform/details/12449>.

426. GRIB [WWW Document], n.d. URL <https://www.nco.ncep.noaa.gov/pmb/docs/on388/>.

427. Гидрометцентр России [WWW Document], n.d. URL <https://meteoinfo.ru/grib>.

428. National Center for Atmospheric Research [WWW Document], n.d. URL <https://rda.ucar.edu/>.

429. European Centre for Medium-Range Weather Forecasts [WWW Document], n.d. URL <https://www.ecmwf.int/>.

430. United States Geological Survey [WWW Document], n.d. URL <https://www.usgs.gov/>.

431. OpenStreetMap [WWW Document], n.d. URL <https://www.openstreetmap.org/>.

432. Osm2pgsql [WWW Document], n.d. URL <https://osm2pgsql.org/>.

433. PostgreSQL [WWW Document], n.d. URL <https://www.postgresql.org/>.

434. Барталев, С.А., Егоров, В.А., Ершов, Д.В., Исаев, А., Лупян, Е.А., Плотников, Д., Уваров, И.А., 2011. Спутниковое картографирование растительного покрова России по данным спектрорадиометра MODIS. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса 8, 285–302.

435. Marchau, V.A., Walker, W.E., Bloemen, P.J., Popper, S.W., 2019. Decision making under deep uncertainty: from theory to practice. Springer Nature.
436. Lempert, R.J., Popper, S.W., Bankes, S.C., 2003. Shaping the next one hundred years: new methods for quantitative. Long-Term Policy Analysis 208.
437. Kahneman D. Thinking, fast and slow. - N.Y.: Penguin, 2011.
438. Hawkes A. G. Spectra of Some Self-Exciting and Mutually Exciting Point Processes // Biometrika. -1971. - Vol. 58. - No. 1. - p. 83-90.
439. Aït-Sahalia Y., Cacho-Diaz J., Laeven R. J. A. Modeling financial contagion using mutually exciting jump processes // Journal of Financial Economics. – 2015. - 117 (3). - p. 585-606.
440. Hewlett P. Clustering of order arrivals, price impact and trade path optimisation // Workshop on Financial Modeling with Jump processes, Ecole Polytechnique. - 2006. – p. 6-8.
441. Toke I.M. "Market making" in an order book model and its impact on the bid-ask spread, in F. Abergel, B. Chakrabarti, A. Chakraborti & M. Mitra, eds, 'Econophysics of Order-Driven Markets', New Economic Windows, Springer-Verlag Milan, 2011, p. 49–64.
442. Egorova L., Klimyuk I. Hawkes processes for forecasting currency crashes: Evidence from Russia, in: Procedia Computer Science Vol. 122: 5th International Conference on Information Technology and Quantitative Management, ITQM 2017. Elsevier, 2017. P. 1182-1188.
443. Ogata Y. On Lewis' simulation method for point processes // IEEE Transactions on Information Theory. – 1981. - No. 27(1). - pp. 23–31.
444. Lewis P. A. W., Shedler G. S. Simulation of Nonhomogeneous Poisson processes by thinning // Naval Research Logistics Quarterly. – 1979. - No. 26(3). - pp. 403–413.
445. Toke I.M. An Introduction to Hawkes Processes with Applications to Finance, http://lamp.ecp.fr/MAS/fiQuant/ioane_files/HawkesCourseSlides.pdf.
446. Егорова Л.Г. Процессы Хоукса с переменной базовой интенсивностью, моделируемой марковской цепью, 2022 (готовится к публикации).
447. Aleskerov, F., Shvydun, S., & Meshcheryakova, N. (2021). New Centrality Measures in Networks: How to Take into Account the Parameters of the Nodes and Group Influence of Nodes to Nodes (1st ed.). Chapman and Hall/CRC. <https://doi.org/10.1201/9781003203421>.

448. Brin S., Page, L. The anatomy of a largescale hypertextual Web search engine// *Comput. Netw.*, 30, 1998, pp.107117.
449. Freeman L.C. A set of measures of centrality based upon betweenness// *Sociometry*, 40, 1977, pp.3541.
450. Freeman L.C. Centrality in social networks: conceptual clarification// *Social Networks*, 1, 1979, pp.215239.
451. Katz L. A New Status Index Derived from Sociometric Index// *Psychometrika*, 1953, pp.3943.
452. Rochat Y. Closeness Centrality Extended to Unconnected Graphs: The Harmonic Centrality Index// *ASNA*, 2009.
453. WITS – About WITS 2022. – URL: https://wits.worldbank.org/about_wits.html. (дата обращения 2022-11-10).
454. D.G. Groves, R.J. Lempert, A new analytic method for finding policy-relevant scenarios, *Glob. Environ. Change* 17 (1) (2007) 73–85.
455. R.J. Lempert, D.G. Groves, S.W. Popper, S.C. Bankes, A general, analytic method for generating robust strategies and narrative scenarios, *Manage. Sci.* 52 (4) (2006) 514–528.
456. E.A. Parson, V. Burkett, K. Fischer-Vanden, D. Keith, L. Mearns, H. Pitcher, C. Rosenweig, M. Webster, Global-change scenarios: their development and use, synthesis, and assessment product 2.1b., US climate change science program, Washington, DC, 2007.
457. European Environmental Agency, Looking back on looking forward: A review of evaluative scenario literature, Technical Report No 3/2009., European Environment Agency, Luxembourg, 2009.
458. P. Bishop, A. Hines, T. Collins, The current state of scenario development: an overview of techniques, *Foresight* 9 (1) (2007) 5–25.
459. L. Börjeson, M. Hojer, K.-H. Dreborg, T. Ekvall, G. Finnveden, Scenario types and techniques: Towards a user's guide, *Futures* 38 (7) (2006) 723–739.
460. R. Bradfield, G. Wright, G. Burt, G. Cairns, K. van der Heijden, The origins and evolution of scenario techniques in long range business planning, *Futures* 37 (8) (2005) 795–812.
461. K. Van der Heijden, *Scenarios: The Art of Strategic Conversation*, John Wiley and Sons, Chichester, UK, 1996.

462. R.J. Lempert, M.T. Collins, Managing the risk of uncertain threshold response: Comparison of robust, optimum, and precautionary approaches, *Risk Anal.* 27 (4) (2007) 1009–1026.
463. R.J. Lempert, S.W. Popper, S.C. Bankes, Shaping the next one hundred years: New methods for quantitative, long-term policy analysis, MR-1626-RPC, RAND Corporation, Santa Monica, California, 2003.
464. P.J.H. Schoemaker, Multiple scenario development: Its conceptual and behavioral foundation, *Strateg. Manage. J.* 14 (3) (1993) 193–213.
465. S.A. Van 't Klooster, M.B.A. van Asselt, Practicing the scenario-axis technique, *Futures* 38 (1) (2006) 15–30.
466. T.J.B.M. Postma, F. Liebl, How to improve scenario analysis as a strategic management tool? *Technol. Forecast Soc. Change* 72 (2) (2005) 161–173.
467. P. van Notten, A.M. Sleegers, M.B.A. van Asselt, The future shocks: on discontinuity and scenario development, *Technol. Forecast Soc. Change* 72 (2) (2005) 175–194.
468. E. Best (Ed.), Probabilities. Help or hindrance in scenario planning? Deeper news: exploring future business environments, 2(4) (Summer 1991) Topic 154.
469. P. Schwartz, *The Art of the Long View*, Doubleday, New York, New York, 1996.
470. L. Dixon, R.J. Lempert, T. LaTourrette, R.T. Reville, The federal role in terrorism insurance: evaluating alternatives in an uncertain world, MG-679-CTRMP, RAND Corporation, Santa Monica, California, 2007.
471. H. Jenkins, Terror insurance is here to stay, *Wall St. J.* Aug 8, 2007 A12.
472. D.G. Groves, D. Knopman, R.J. Lempert, S.H. Berry, L. Wainfan, Presenting uncertainty about climate change to water resource managers, TR-505-NSF, RAND Corporation, Santa Monica, California, 2007.
473. D.G. Groves, R.J. Lempert, D. Knopman, S.H. Berry, Preparing for an uncertain future climate in the Inland Empire: identifying robust water-management strategies, DB-550-NSF, RAND Corporation, Santa Monica, California, 2008.
474. J. Coates, From My Perspective: Scenario Planning, *Technol. Forecast Soc. Change* 65 (1) (2000) 115–123.
475. S.C. Bankes, Exploratory Modeling for Policy Analysis, *Oper. Res.* 41 (1993) 435–449 no. 3.

476. A. Saltelli, K. Chan, E.M. Scott, *Sensitivity analysis*, Wiley, New York, NY, 2000.
477. J.H. Friedman, N.I. Fisher, Bump hunting in high-dimensional data, *Stat. Comput.* 9 (1999) 123–143.
478. R.J. Lempert, B.P. Bryant, S.C. Bankes, *Comparing Algorithms for Scenario Discovery*, WR-557-NSF, RAND Corporation, Santa Monica, California, 2008.
479. M. Toman, J. Griffin, R.tJ. Lempert, Impacts on U.S. Energy Expenditures and Greenhouse-Gas Emissions of Increasing Renewable-Energy Use, TR-384-1-EFC, RAND Corporation, Santa Monica, California, 2008.
480. J. Griffin, Improving cost-effectiveness and mitigating risks of renewable energy requirements, RGSD-236, Pardee RAND Graduate School Dissertation, Santa Monica, California, 2008, pp. 266.
481. A. Aden, M. Ruth, K. Ibsen, J. Jechura, K. Neeves, J. Sheehan, B. Wallace, L. Montague, A. Slayton, J. Lukas, Lignocellulosic biomass to ethanol process design and economics utilizing co-current dilute acid prehydrolysis and enzymatic hydrolysis for corn stover, NREL/TP-510-32438, National Renewable Energy Laboratory, Golden, Colorado, (June) 2002, As of May 12, 2008: <http://www.nrel.gov/docs/fy02osti/32438.pdf>.
482. B.D. Solomon, J.R. Barnes, K.E. Halvorsen, Grain and cellulosic ethanol: history, economics, and energy policy, *Biomass Bioenergy* 31 (6) (2007) 416–425.
483. R.J. Lempert, Can scenarios help policymakers be both bold and careful? in: Fukuyama Francis (Ed.), *Blindside: How to anticipate forcing events and wild cards in global politics*, Brookings Institution Press, Washington, DC, 2007.
484. M.G. Morgan, D.W. Keith, Improving the way we think about projecting future energy use and emissions of carbon dioxide, *Clim. Change* 90 (3) 2008 189–215.
485. O. Tietje, Identification of a small reliable and efficient set of consistent scenarios, *Eur. J. Oper. Res.* 162 (2) (2005) 418–432.
486. F. Zwicky, *Discovery, invention, research-through the morphological approach*, MacMillan, Toronto, Canada, 1969.
487. T. Ritchey, *Morphological analysis, Futures Research Methodology-V3.0*, The Millenium Project, 2009.
488. M. Godet, *Creating Futures: Scenario Planning as a Strategic Management Tool*, Economica, Paris, France, 2006.

489. M. Godet, The Art of Scenarios and Strategic Planning: Tools and Pitfalls, Technol. Forecast Soc. Change 65 (1) (2000) 3–22.