

Ископаемая энергетика в рамках устойчивого развития: анализ перспектив и разработка прогнозных сценариев

Ю.Л. ЖУКОВСКИЙ¹, Д.Е. БАТУЕВА¹, А.Д. БУЛДЫСКО¹, Бернар ЖИЛЬ², В.В. СТАРШАЯ¹ ✉

¹ Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия

² Лаборатория Шарля Кулона, Университет Монпелье, Монпелье, Франция

✉ lerastarshaya@gmail.com

Ссылка для цитирования оригинальной статьи: Zhukovskiy, Y.L.; Batueva, D.E.; Buldysko, A.D.; Gil, B.; Starshaia, V.V. Fossil Energy in the Framework of Sustainable Development: Analysis of Prospects and Development of Forecast Scenarios. *Energies* 2021, 14, 5268. <https://doi.org/10.3390/en14175268>

Аннотация: В ближайшие 20 лет ископаемая энергетика должна стать гарантом устойчивого развития энергетического сектора для будущих поколений. Препятствиями на пути этого перехода являются значительные угрозы. В данном исследовании определены современные глобальные тенденции в энергетическом секторе и перспективы развития энергетике до 2035 года. Доказана важность оценки рисков при сценарном прогнозировании на основе экспертных оценок. На основе комплексного анализа глобальных рисков методом экспертного опроса и факторного анализа были разработаны три контрастных сценария развития ископаемой энергетике – #StayHome, #StayAlone и #StayEffective. Сделан вывод о том, что ископаемая энергетика обязательна при интеграции передовых технологий на каждом этапе производства традиционной энергии и возобновляемой энергетике как неотъемлемой части современной энергетике. По результатам исследования представлены девять амбициозных программ развития устойчивой энергетике. Они предполагают создание и использование единой интерактивной цифровой платформы, адаптированной для этих целей. Она является обязательным паспортом для гибкого взаимодействия производства, передачи и потребления энергии в перспективе создания устойчивой, надежной и безопасной энергетике.

Ключевые слова: устойчивое энергетическое развитие; ископаемые источники энергии; возобновляемые источники энергии; цифровые технологии; энергетический переход; факторный анализ; анализ сценария.

Fossil Energy in the Framework of Sustainable Development: Analysis of Prospects and Development of Forecast Scenarios

Yuriy L. ZHUKOVSKIY¹, Daria E. BATUEVA¹, Alexandra D. BULDYSKO¹, Bernard GIL² and Valeriia V. STARSHAIA¹ ✉

¹ Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russia

² Laboratoire Charles Coulomb UMR 5221, CNRS-Université de Montpellier, Montpellier, France

✉ lerastarshaya@gmail.com

Abstract: In the next 20 years, the fossil energy must become a guarantor of the sustainable development of the energy sector for future generations. Significant threats represent hurdles in this transition. This study identified current global trends in the energy sector and the prospects for the development of energy until 2035. The importance of risk assessment in scenario forecasting based on expert judgments was proven. Three contrasting scenarios, #StayHome, #StayAlone, and #StayEffective, for the development of fossil energy, all based on comprehensive analysis of global risks by expert survey and factor analysis, were developed. It was concluded that fossil energy is mandatory with integration of advanced technologies at every stage of the production of traditional energy and of renewable energy as an integral part of the modern energy sector. Based on the results of the study, nine ambitious programs for the development of sustainable energy are presented. They require the creation and the utilization of a single interactive digital platform adapted to this purpose. It is a passport mandatory for the flexible interaction of energy production, its transmission, and its consumption in the perspective of having a future sustainable, reliable, and secured energy sector.

Keywords: sustainable energy development; fossil energy; renewable energy sources; digital technologies; energy transition; factor analysis; analysis of the scenario.

* Перевод подготовлен для повышения интереса русскоязычной аудитории к данной статье.

© 2021 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

© Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II (перевод), 2024.

1. Введение

Развивающиеся страны, богатые природными ресурсами, сталкиваются с жизненно важными проблемами экологической диверсификации, восполнения ресурсов [1], поддержания качества воздуха, здоровья населения, а также с растущими потребностями [2, 3] в дешевой энергии и водных ресурсах. Все вышеперечисленное можно обобщить как критические факторы для энергетики и окружающей среды [2]. Вся энергетика должна стать гарантом «устойчивого развития» для наших будущих поколений как базовой основы для удовлетворения их потребностей. Достижение этой цели может быть затруднено, если государства не будут в достаточной мере поддерживать некоторые конкретные цели устойчивого развития (ЦУР) [4, 5]. Повестка дня на период до 2030 г. впервые в истории человечества знаменует собой необходимость достижения согласия между странами мира в отношении всеобъемлющего видения с четкими целями и задачами развития нашей цивилизации на планете Земля. Семнадцать целей устойчивого развития (ЦУР) были приняты правительствами всех стран мира в Организации Объединенных Наций в 2015 году. Их цель – направить глобальное развитие до 2030 года. Развитие топливной энергетики в рамках этих ЦУР рассматривается в силу того, что энергетический сектор является одной из основ экономического прогресса для устойчивого развития мира. Для достижения этих ЦУР и безопасного использования ископаемых энергоносителей необходимо поощрять и поддерживать развитие и интеграцию современных технологий [6, 7] на всех этапах производства. Энергетический сектор прямо упоминается только в ЦУР «Доступная и чистая энергия». Однако устойчивое развитие ископаемой энергетики до 2035 года требует непосредственной реализации этих девяти из семнадцати ЦУР, принятых всеми странами-членами ООН в 2015 году [8, 9]. Выбор и обоснование девяти из семнадцати ЦУР для традиционной энергетики базируется на некоторых конкретных и выявленных современных тенденциях развития традиционной ископаемой энергетики. Тенденции, соотнесенные с ЦУР, представлены на рис. 1.

	1. Текучесть кадров, нехватка высококвалифицированных специалистов. 2. Низкая профессиональная мобильность. 3. Высокая аварийность и травмоопасность труда. 4. Отставание системы образования от тенденций развития отрасли.
	1. Рост себестоимости добычи углеводородов. 2. Переход энергетического баланса стран на возобновляемые источники энергии (доля тепловых мощностей в энергобалансе по-прежнему высока).
	1. Нестабильная экономическая ситуация на рынке. 2. Рост стандартов потребления, социальная нестабильность, распространение эпидемий. 3. Межтопливная конкуренция.
	1. Потребность в новых технологиях и инвестициях в НИОКР Износ инфраструктуры и оборудования. 2. Создание транспортной и социальной инфраструктуры для развития удаленных районов. 3. Усиление глобальной конкуренции между странами-экспортерами углеводородов.
	
	1. Усиление глобальной конкуренции между странами-экспортерами углеводородов. 2. Долгосрочное планирование и новые системы стратегического планирования. 3. Демонполизация рынка углеводородов. 4. Принятие международных и социальных обязательств.
	1. Массовая приверженность политике декарбонизации. 2. Использование сжиженного природного газа в качестве альтернативы нефтяному топливу для снижения суммарных выбросов в атмосферу. 3. Внедрение экологических стандартов. 4. Организация оперативной ликвидации и предотвращения разливов нефти. 5. Инфильтрация загрязненных сточных вод в водоносные горизонты и последующее загрязнение промышленных водоемов.
	
	

Рис. 1. Обоснование выбора девяти из 17 ЦУР в соответствии с современными тенденциями в ископаемой энергетике [4-9]

Чтобы не оказаться в уязвимом положении, государствам необходимо предпринять целый ряд политических и практических мер, направленных на обеспечение глобального устойчивого развития [10]. Для достижения ЦУР 4, 8, 9, 11 и 12 были предприняты шаги, способствующие росту потребления и эффективности использования ископаемой энергии, что стимулирует спрос

на ее преобразование в рамках курса на развитие устойчивой энергетики. При этом ограничения, направленные на достижение ЦУР 7, 13, 14 и 15, сдерживают рост объемов и ускоряют темпы перехода энергетики к устойчивому развитию.

В последние годы рост роли возобновляемых источников в мировой энергетике привел к снижению относительной значимости традиционных энергоресурсов. Возобновляемая энергия становится одним из ключевых факторов устойчивости общества [11]. Однако эта энергия еще далека от повсеместного использования. Большинство видов возобновляемой энергии претерпевают резкие изменения из-за своей зависимости от климатических и экономических условий [12]. В связи с этим роль и возможности энергетического перехода за счет роста возобновляемой энергетики во многих странах, в том числе и в странах с переходной экономикой, остаются неясными и требуют дополнительных исследований.

В 2019 году на долю ископаемого топлива по-прежнему приходилось 84 % потребления первичной энергии в мире [11]. В связи с этим и в ближайшие десятилетия переход к развитию устойчивой энергетики будет определяться в первую очередь целесообразным использованием традиционных видов энергии. По данным Мирового энергетического прогноза Бритиш Петролеум (British Petroleum World Energy Outlook), опубликованным в 2019 году, и «Глобальной энергетической перспективе 2019», представленной компанией МакКинзи (McKinsey Energy Insights Global Energy Perspective 2019), мировой спрос на углеводороды будет продолжать расти в течение следующих 20 лет примерно до 2040 года, но более медленными темпами, а природный газ является самым быстрорастущим источником энергии наряду с возобновляемыми источниками энергии [13, 14].

Таким образом, решение проблемы восстановления энергетического сектора отчасти основано на переходе к системам возобновляемой энергетики [11-14]. Более того, большая часть оставшегося потенциала возобновляемой энергетики находится в развивающихся странах [15]. Во многих развивающихся странах и странах с переходной экономикой отрасль возобновляемой энергетики сталкивается с серьезными проблемами: (i) недостаток инвестиций [10] и (ii) низкий уровень исследований и разработок в энергетическом секторе [16]. Это приводит к тому, что отрасль все еще находится в стадии становления, сильно зависит от политики и обладает низкой чувствительностью к внешней макросреде [17]. Кроме того, специфическая отрасль возобновляемой энергетики требует больших стартовых инвестиций в сочетании с долгосрочной окупаемостью, что приводит к еще более высоким рискам по сравнению с отраслью традиционной энергетики.

В данном исследовании основное внимание было уделено технологиям, которые являются обязательными для устойчивого развития ископаемой энергетики. Появление цифровых индустрий и высокотехнологичных пространств позволяет трансформировать подход к обеспечению потребителей энергией [18]. Достижение стабильности и надежности энергоснабжения, повышение пропускной способности электрических сетей, автоматизация управления электропотреблением – все это возможно только при использовании принципиально новых подходов, материалов и технологий. Цифровизация энергетики является одним из ключевых факторов устойчивого социально-экономического развития в мире [19-21]. Технологическое развитие в области цифровых и информационных технологий создаст принципиально новые возможности для повышения эффективности использования ископаемой энергии, поскольку влияние таких технологий на гибкость систем управления технологическими процессами весьма ощутимо уже сегодня в современном мире. Повсеместное внедрение цифровых технологий позволит существенно сократить время реакции на актуальные экономические вызовы и запросы, а также насущные проблемы потребителей. Однако основная трудность цифровой трансформации заключается в недостаточно развитой цифровой культуре [22]. Для этого необходимы работники нового типа, обладающие компетенциями в области новых технологий, способные быстро реагировать и адаптироваться к цифровой реальности [23, 24].

Таким образом, целью исследования являлось прогнозирование текущих глобальных тенденций в энергетическом секторе, технологических трендов в отрасли ископаемой энергетики и перспектив развития до 2035 года. Анализ политических, социокультурных, экономических, правовых, технологических, экологических и коммерческих рисков развития ископаемой энергетики лег в основу сценарного анализа. В работе представлена роль развивающихся стран и стран с переходной экономикой в устойчивом развитии топливной энергетики. В ходе исследования на основе комплексного анализа глобальных рисков, предложенных в результате экспертного опроса

с использованием факторного анализа, были разработаны негативный, позитивный и инновационный сценарии развития ископаемой энергетики.

В настоящее время практически вся литература в области сценарного прогнозирования посвящена рассмотрению вариантов реагирования на каждый конкретный сценарий [8, 25-28]. В данной работе мы предлагаем инновационную обобщенную модель оценки сценарного риска для выбора программ развития вне зависимости от возникающих сценариев.

Она представляет научный интерес для реализации ЦУР и может быть полезной для заинтересованных сторон, создающих программы и принимающих решения по их реализации в области устойчивого развития энергетики.

На основании наших выводов, полученных после анализа прогнозных сценариев, были сформулированы рекомендации (стратегии) для каждого из трех сценариев, касающихся реализации политики ископаемой энергетики. Эти программы были объединены в цифровую платформу, в которой выделены ограничения, системные и сквозные эффекты для топливной энергетики и экономики в целом.

1.1. Ключевая роль развивающихся стран в устойчивом развитии энергетического сектора

В настоящее время ископаемая энергетика переживает сложный переходный период, и для повышения уровня ее производства требуется использование дорогостоящих технологий [29-31]. Энергетические системы должны стать более совершенными и технологичными с точки зрения удовлетворения растущих потребностей потребителей в надежности энергоснабжения и качестве энергоресурсов [32]. На рис. 2 [13, 14] представлен сравнительный анализ ведущих энергопроизводящих стран на 2019 год, основанный на прогнозе Бритиш Петролеум на 2020 год и «Глобальной энергетической перспективы 2019 года» компании МакКинзи

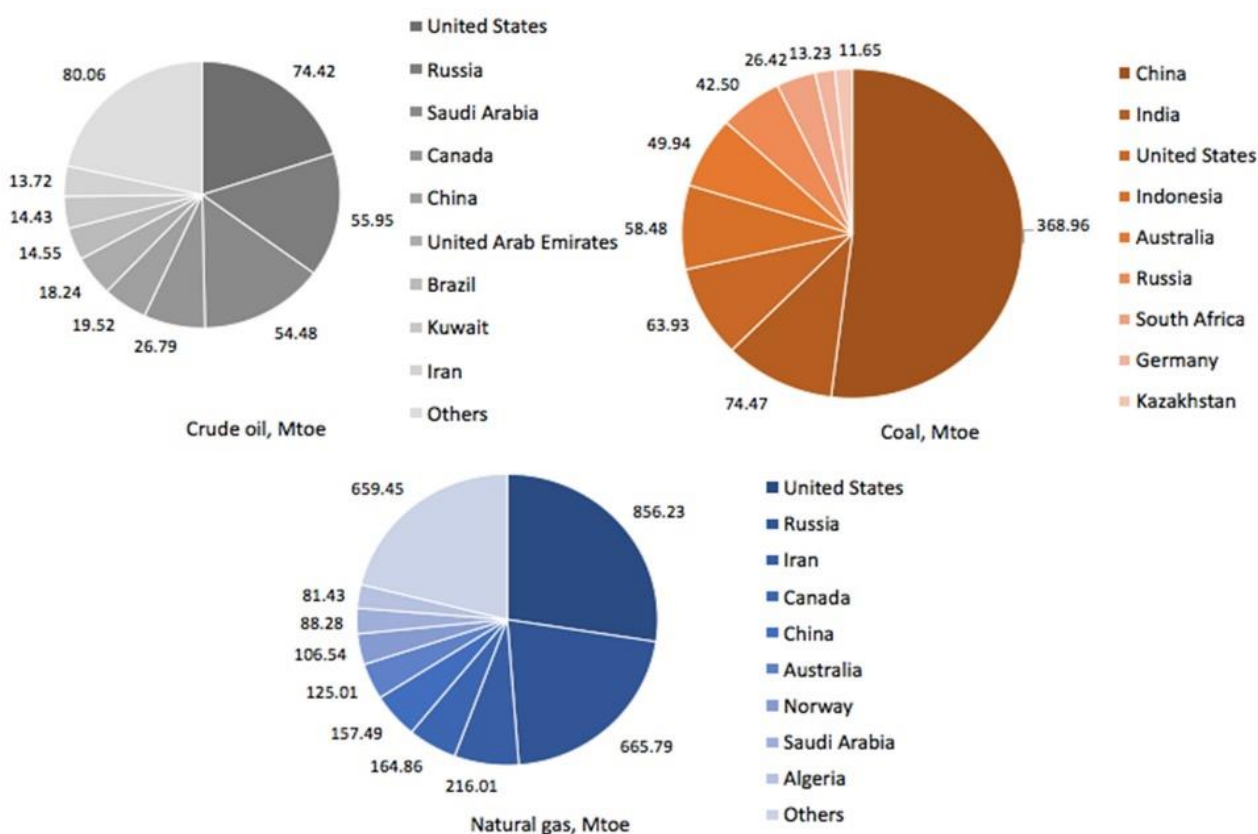


Рис. 2. Страны-лидеры по производству первичных энергоресурсов на 2019 год.

Сырая нефть: на графике представлены 9 стран-лидеров и еще 21 страна из 30 стран-лидеров, объединенных в «прочие»: Нигерия, Мексика, Казахстан, Норвегия, Алжир, Венесуэла, Великобритания, Колумбия, Индонезия, Индия, Египет, Аргентина, Малайзия, Таиланд, Австралия, ЮАР, Германия, Украина, Узбекистан, Польша, Нидерланды.

Уголь: на диаграмме представлены 9 ведущих стран. Природный газ: на диаграмме представлены 9 стран-лидеров и еще 21 страна из 30 лидеров, сгруппированных в группу «прочие»: Египет, Малайзия, Индонезия, Объединенные Арабские Эмираты, Узбекистан, Аргентина, Казахстан, Нигерия, Великобритания, Нидерланды, Индия, Таиланд, Бразилия, Мексика, Украина, Кувейт, Венесуэла, Колумбия, Германия, Польша, ЮАР. Все страны представлены в соответствии с их рангом в порядке убывания объемов производства [13, 14]

В ходе данного исследования были проанализированы объемы производства первичных энергоресурсов в 30 ведущих странах мира. Это подтвердило ключевую роль, которую могут сыграть развивающиеся страны в устойчивом развитии энергетического сектора (табл. 1). В таблице приведен параметр ВВП по ППС (валовой внутренний продукт по паритету покупательной способности) с 1990 по 2019 год в текущих ценах в долларах. Этот параметр использовался для определения типа экономического развития стран мира.

Таблица 1

Роль стран с развивающейся экономикой в мировом производстве энергии [33-35]

Страны	Производство				ВВП по ППС			Тип экономики		
	Нефть	ГГаз	Уголь	Всего	млрд долларов США, 2020 г.	Темпы роста 1990-2019 (%)	Темпы прироста 1990-2019 (%)	I	II	III
	Мтнэ	Мтнэ	Мтнэ	Мтнэ						
США	74,42	856,23	63,93	994,59	21 433,23	27,82	259,43			
Российская Федерация	55,95	665,79	42,5	764,24	4315,44	27,53	263,29			
Китай	19,52	157,49	368,96	545,97	23 547,03	4,74	2011,23			
Иран	13,72	216,01	0,1	229,83	1070,68	37,91	163,76			
Канада	26,79	164,86	5,18	196,83	1898,87	29,39	240,31			
Австралия	1,61	125,01	49,94	176,57	1324,17	22,34	347,72			
Саудовская Аравия	54,48	88,28	0	142,76	1677,38	31,05	222,01			
Индонезия	3,90	59,11	58,48	121,49	3332,1	16,78	495,94			
Норвегия	7,90	106,54	0,02	114,46	363,54	21,49	365,41			
Индия	3,84	27,68	74,47	106	9556,76	10,98	810,7			
Алжир	6,42	81,43	0	87,85	516,52	34,49	189,92			
ОАЭ	18,24	56,39	0	74,64	683,52	23,33	328,57			
Египет	3,14	62,69	0	65,83	1230,88	16,94	490,48			
Малайзия	2,92	59,77	0,35	63,04	944,56	13,01	668,35			
Казахстан	9,01	40,26	11,65	60,92	508,5	26,59	276,08			
Узбекистан	0,24	53,67	0,4	54,31	246,33	20,76	381,67			
Нигерия	9,91	40,22	0	50,14	1075,69	18,23	448,67			
Аргентина	3,04	42,66	0	45,7	1033,45	22,71	340,3			
Великобритания	5,15	35,89	0,22	41,25	3237,46	36,75*	172,13*			
Бразилия	14,55	23,63	0,61	38,79	3181,87	31,38	218,66			
Мексика	9,38	23,41	1,01	33,79	2608,65	26,01	284,52			
Кувейт	14,43	17,98	0	32,41	216,09	27,39**	265,16**			
Нидерланды	0,11	30,3	0	30,42	1031,48	27,73	260,65			
Таиланд	1,81	26,86	1,41	30,09	1337,41	18,23	448,43			
ЮАР	0,51	0,9	26,42	27,83	761,82	31,02	222,41			
Колумбия	4,60	12,58	8,25	25,43	786,81	21,09	374,22			
Украина	0,26	19,08	2,65	22	560,55	67,63	47,87			
Венесуэла	5,84	15,37	0,07	21,28	506,34***	37,23***	168,63***			
Германия	0,32	5,83	13,23	19,38	4644,17	33,21	201,13			
Польша	0,16	5,16	11,23	16,55	1296,59	18,14	451,38			

Стадии экономического развития: I-развитая. II-развивающаяся. III-переходная. *Данные по ВВП доступны с 1995 года. **Данные по ВВП доступны с 1992 г. ***Данные по ВВП доступны до 2011 г.

Лидером по добыче традиционных углеводородных ресурсов остаются США [35, 36]. Однако 63 % стран-лидеров по производству первичных энергоресурсов – сырой нефти и природного газа – относятся к странам с развивающейся и переходной экономикой [35, 37]. Эта доля распределена между 22 странами. Второе место по добыче традиционных ресурсов занимает Российская Федерация, которая относится к странам с переходной экономикой (табл. 1). Доля этой страны в мировом

энергетическом балансе составляет 26 %. Очевидно, что развитие ископаемой энергетики этой страны будет играть ключевую роль в трансформации энергетического сектора в мире [38].

Таким образом, подход данного исследования был применен к случаю Российской Федерации. Целью развития российской энергетики на ископаемом топливе является, с одной стороны, укрепление и сохранение своих позиций в мировом социально-экономическом развитии, а с другой стороны, укрепление и сохранение своих позиций в мировой энергетике наряду с поддержанием надежного качества и экономически обоснованного обеспечения энергоносителями и сырьем с учетом принципов энергосбережения и энергоэффективности.

Таким образом, актуальность перехода к устойчивому развитию энергетики ископаемого топлива в Российской Федерации обусловлена не только внутренними вызовами, но и необходимостью обеспечить основу устойчивого развития для всего мира. Основные показатели экспорта энергоресурсов в контексте мировых тенденций были представлены для Российской Федерации в работах [18, 39-44].

1.2. Свойства преобразований ископаемой энергии

Переосмысление энергетического перехода в 2017 году ознаменовалось формированием трех тенденций, определяющих будущее энергетики и получивших название «три «Д» [45]:

- Дигитализация (цифровизация) меняет принцип работы энергосистемы; появляется новое понимание того, как используется электроэнергия, как она генерируется и поставляется, как строятся установки и системы для выработки, транспортировки, распределения и хранения энергии.
- Декарбонизация связана как с климатом, так и с обеспечением первичным топливом и электрификацией. Она может принести как экономические, так и природоохранные выгоды.

- Децентрализация связана с изменениями в отраслях промышленности и тенденциями в распределении энергопотребления в сторону увеличения числа небольших экономических центров. Она стимулирует инновации, например, от накопителей энергии до интеллектуальных счетчиков.

В энергетическом секторе существуют предпосылки для всех этих трех тенденций, которые в значительной степени зависят от государственной политики, связанной с проблемой трех «Д». В нашем исследовании концепция трех «Д» была рассмотрена для понимания влияния глобальных тенденций на потребность в технологиях (технологических трендах), адаптированных для достижения ЦУР в секторе энергетики, работающем на ископаемом топливе.

1. Технологический тренд «цифровой трансформации»

Этап цифровой трансформации характеризуется развитием технологий, средств телекоммуникаций, высокоточной навигации, вычислительной техники, робототехники. Внедрение цифровых технологий обеспечит полную автоматизацию большинства процессов для оптимизации производственных циклов. Это приведет к росту производительности труда, повышению конкурентоспособности отрасли, снижению аварийности и травматизма на предприятиях. Создание технологии «цифрового двойника» подземных хранилищ газа позволит повысить безопасность и энергоэффективность. Цифровой двойник – это виртуальное представление объекта или системы, охватывающее весь ее жизненный цикл, которое обновляется на основе данных в реальном времени и использует моделирование, машинное обучение и рассуждения для принятия решений. Это означает создание очень сложной виртуальной модели, которая является точным аналогом (или двойником) физического объекта. Существующая эффективность нефтегазовых месторождений может быть повышена путем всестороннего анализа существующего потока данных [46].

2. Технологическое направление «устойчивости»

На каждом технологическом этапе геологоразведки, транспортировки углеводородов и использования энергии необходимо внедрять наилучшие доступные технологии с целью снижения экологического ущерба [47]. Внедрение высокоэффективных технологий с низким уровнем выбросов является ключевым шагом на пути к реализации технологии улавливания и хранения углерода. Повышение эффективности угольных электростанций всего на 1 % позволяет снизить выбросы CO₂ примерно на 2-3 % [48]. В результате роста энергопотребления выбросы CO₂ в 2019 году увеличились с 1 % до 1,5 %, в том числе и за счет глобального увеличения потребления природного газа (ПГ) [49]. В Российской Федерации, Ираке, Иране и США более половины мирового объема газа сжигается на факелах [50]. Исходя из этого, очевидна необходимость комплексного подхода к снижению выбросов парниковых газов. Кроме того, необходимо адаптироваться к постоянно растущим колебаниям потребления ископаемой энергии, которые будут продиктованы возобновляемыми источниками энергии.

3. Технологический тренд «импортозамещения»

В условиях нестабильной геополитической ситуации необходимо развивать собственное производство. Это позволит снизить зависимость стран от зарубежных разработок [51]. В то же время ведущие разработчики инновационного зарубежного оборудования, как правило, не продают наиболее конкурентоспособные из свежих технологий собственного производства в другие страны, тем самым искусственно усиливая зависимость от поставок зарубежного оборудования и технологическое отставание местных компаний в разных странах.

4. Технологический тренд «твердых запасов»

Проблема истощения текущих запасов «легкой нефти» побудила компании перейти к разработке трудноизвлекаемых запасов: сланцевой нефти, шельфовых месторождений, месторождений высоковязкой нефти. Сложные условия эксплуатации действующих и новых месторождений, рост цен на материалы, оборудование, электроэнергию в совокупности способствуют увеличению себестоимости добычи нефти. В таких условиях нефтедобывающие компании могут жестко сохранять конкурентоспособность за счет широкого использования инновационных технологий [18].

5. Технологический тренд «электрификации транспорта»

В настоящее время широкое распространение электромобильности и производство аккумуляторных батарей приводят к росту спроса на новые материалы и редкоземельные металлы.

Согласно сценарию EV30@30, доля электромобилей (без учета двухколесного транспорта) составит 30 % (около 43 млн.) от общего числа транспортных средств [52]. В соответствии со сценарием, описанным в работе О'Салливана, спрос на кобальт увеличится на 170 килотонн/год, на литий и марганец – на 155 килотонн/год, и, наконец, на никель 1-го сорта – на 850 килотонн/год [3]. Такой рост спроса на редкоземельные металлы приводит к повышению значимости сырьевого сектора в электротранспорте и порождает новые проблемы, связанные с расширением рынка, надежностью поставок и природоохранным контролем. Кроме того, все более актуальным становится вопрос о продлении срока службы батарей с использованием трех «R»: сокращение, повторное использование и переработка. Ведущие страны представлены в [53, 54].

Эти глобальные тенденции оказывают сильное влияние на технологическое развитие развивающихся стран [55]. В контексте меняющихся реалий мира и глобальных вызовов технологические тренды должны стать не только инструментами достижения ЦУР, но и факторами качественной трансформации энергетического сектора, в основе которой лежат свойства, обобщенные на рис. 3.

СВОЙСТВА УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ УГЛЕВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

	ГИБКОСТЬ	выбор куда и какие объемы поставлять, ориентация на запросы «сейчас», гибкость в отношении волатильности цен на рынке
	БЕЗОПАСНОСТЬ ПОСТАВОК	относительная стойкость к терактам, информационным атакам, стихийным бедствиям и т.д.
	СКОРОСТЬ	маршруты, вид транспорта, скорость восстановления законсервированных мощностей, скорость исполнения заказов и реакция на запросы потребителей
	КАЧЕСТВО И ЭКОЛОГИЯ	стремление к конкурентному преимуществу среди УГВ и перед ВИЭ
	ЭФФЕКТИВНОСТЬ	основной фактор, определяющий конкурентное преимущество

Рис. 3. Свойства устойчивого развития ископаемой энергетики [18, 56]

Ископаемая энергия в развивающихся странах и странах с переходной экономикой, включая Российскую Федерацию, может укрепить и сохранить свои позиции в мировом энергетическом секторе за счет изменения подхода к использованию ее преимуществ на каждом этапе производства

(добыча, хранение, транспортировка, переработка, преобразование и сохранение) с целью достижения пяти свойств, необходимых для сдвига энергетического сектора в соответствии с предписаниями ЦУР.

2. Материалы и методы

Методологический подход нашего исследования основывался на сценарном прогнозировании [25-28,57]. В наших сценариях обязательно учитывались:

- 1) технологии и направления их развития, представляющие основной интерес;
- 2) анализ состояния и перспектив развития ископаемой энергетики;
- 3) комплексный анализ глобальных рисков [28];
- 4) факторный анализ на основе экспертных оценок, полученных в результате опроса сотрудников энергетических компаний и выпускников профильных вузов.

В предыдущих исследованиях авторов работы была доказана актуальность оценки рисков при сценарном прогнозировании на основе экспертных оценок [56, 58]. В них предлагалось использовать опрос по методу Дельфи [56, 59, 60]. Различные этапы методики проведения данного исследования по методу Дельфи представлены на рис. 4.

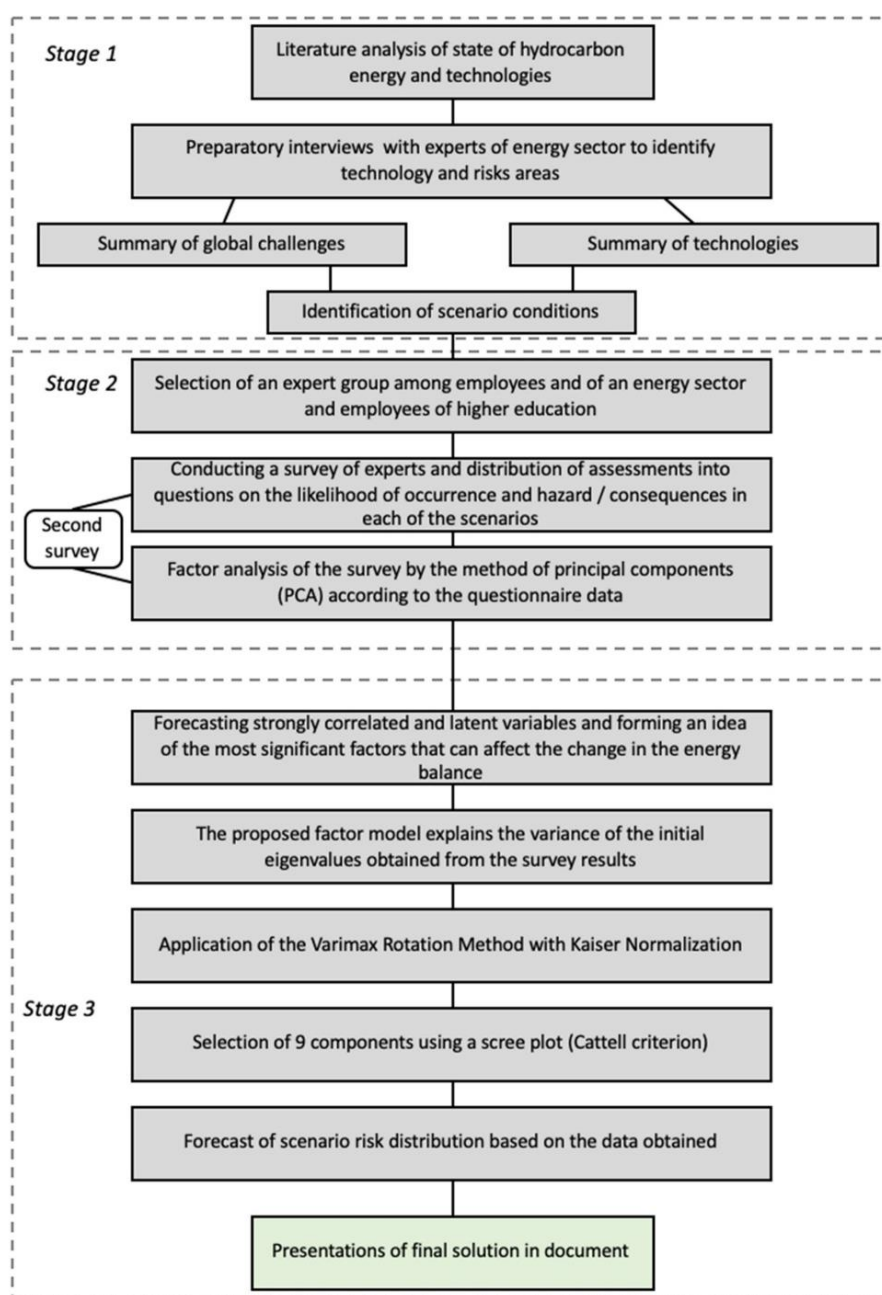


Рис. 4. Этапы исследования

Этот метод широко используется для планирования сценариев в энергетике. Он предполагает обобщение всех индивидуальных экспертных оценок относительно одной конкретной ситуации.

В данном случае он был организован следующим образом: на первом этапе исследования была собрана небольшая рабочая группа экспертов из числа профессиональных работников и преподавателей профильных вузов. Затем этой рабочей группой была составлена анкета на основе метода «мозгового штурма», эффективно примененного в предыдущем исследовании [56]. На втором этапе исследования группа была расширена, и был проведен экспертный опрос. Ответы на вопросы были обобщены с целью получения глобального видения. Экспертная группа состояла из 70 специалистов соответствующей области исследований. По результатам опроса были определены ключевые риски для устойчивого развития энергетического сектора. На третьем этапе были сформированы факторная модель и окончательные решения.

Перед формированием сценариев было выделено 7 типов рисков в политической, социокультурной, экономической, правовой, технологической, экологической и коммерческой сферах [28, 61]. Сначала были проанализированы риски и установлены степени их влияния на объемы добычи ископаемого топлива на заданный период (2020 год). В компактном виде они представлены в табл. 2.

Таблица 2

Глобальные риски для ископаемой энергетики [45, 52-55, 62]

Типы рисков		Название риска	Тип влияния	Вероятность события: высокая (> 60 %), средняя (20-60 %), низкая (<20 %)	Степень влияния: слабое (<0,2), среднее (0,2-0,6), сильное (>0,6)
R1. Политические	P1	Санкции	Косвенный	Высокая	0.5
	P2	Национализация отрасли	Прямой	Средний	0.8
	P3	Ослабление системы глобализации	Прямой	Высокий	0.7
R2. Социокультурные	S4	Нехватка трудовых ресурсов	Прямой	Высокий	0.9
	S5	Недостаточная популяризация энергосберегающего производства и потребления	Прямой	Высокий	0.8
	S6	Чрезвычайные ситуации (распространение эпидемий, вирусов и т.д.)	Косвенный	Высокий	0.95
	S7	Рост и старение населения	Косвенный	Средний	0.8
	S8	Кризис градообразующих угольных предприятий	Прямой	Высокий	0.7
R3. Экономические	E9	Нестабильность цен на энергоносители	Прямой	Высокий	0.9
	E10	Демпинг цен	Прямой	Средний	0.6
	E11	Энергопотребление	Прямой	Высокий	0.9
	E12	Финансовые кризисы	Прямой	Высокий	0.9
R4. Юридические	L13	Изменения в налоговом законодательстве	Косвенный	Средний	0.7
	L14	Экологическое регулирование	Прямой	Высокий	0.8
R5. Технологические	T15	Отсутствие развитой энергетической инфраструктуры	Прямой	Высокий	0.8
	T16	Ухудшение качественных характеристик углеводородов	Прямой	Высокий	0.9
	T17	Прирост трудноизвлекаемых запасов	Прямой	Высокий	0.9
R6. Экологические	E18	Рост углеродного следа	Прямой	Высокий	0.8
	E19	Загрязнение окружающей среды	Прямой	Высокий	0.9
R7. Коммерческие	K20	Доступ к кредитам	Прямой	Высокий	0.8
	K21	Инвестиции	Прямой	Высокий	0.8

Создание сценариев развития ископаемой энергетики основывалось на всестороннем анализе глобальных рисков, поскольку многие факторы, сопровождающие кризисные явления, могут влиять на принятие решений и реализацию программ. Для проведения последующей оценки рисков [63, 64] в зависимости от вероятности их возникновения в каждом из сценариев по степени опасности каждого риска и с учетом последствий и времени, необходимого для их устранения, была составлена анкета. Интересующие нас вопросы выделены в табл. 3. Кроме того, ответы на вопросы R1-7 взвешивались по шкале вероятности наступления рисков (маловероятно, средне-вероятно, очень вероятно) и степени их влияния (не влияет, влияет средне, влияет сильно). Каждый из вариантов ответов, в зависимости от вопроса, относился к одному из сценариев развития энергетики. Соответственно, в зависимости от того, сколько респондентов выбрали тот или иной вариант ответа, формировалось значение вероятности наступления данного риска в конкретном сценарии.

Таблица 3

Вопросы анкеты

Тип рисков	Вопросы
R1	1. Какова вероятность того, что в ближайшие 10-15 лет будут введены санкции, связанные с доступом к иностранным технологиям? 2. Какое влияние оказывают санкции на рост потребления углеводородов? 3. Какова вероятность стагнации в развитии нефтегазового сектора в связи с разгосударствлением отрасли? 4. Насколько сильно влияние национализации отрасли на развитие ископаемого топлива в российском энергетическом секторе? 5. Какова будет доля операционных расходов на нефтяном рынке до 2035 года?
R2	1. Каким будет дефицит кадров в энергетическом секторе до 2035 года? 2. Как отставание системы образования от тенденций развития производства влияет на компетенции выпускников вузов? 3. Как связан растущий спрос на энергию с популяризацией энергоэффективного производства и потребления? 4. Как влияет распространение эпидемий, вирусов и т.д. на долгосрочные планы экологических программ? 5. Как влияет распространение эпидемий, вирусов и т.д. на переход на электромобили? 6. Как влияет распространение эпидемий, вирусов и т.д. на переход к возобновляемым источникам энергии? 7. Какова вероятность увеличения доли населения трудоспособного возраста к 2035 году? 8. Какова вероятность снижения экспорта угля в Азиатско-Тихоокеанский регион к 2035 году? 9. Как медленное повышение степени природоохранной безопасности и эффективности угольной промышленности влияет на сокращение рабочих мест в моногородах России?
R3	1. Сохранится ли до 2035 года тенденция опережения предложения на рынке углеводородов над спросом? 2. Каково влияние волатильности цен на энергоносители на капитальные и операционные затраты крупнейших производителей энергии? 3. Как использование демпинга цен на энергоносители влияет на геополитическую ситуацию в мире? 4. Достигнет ли мировой спрос на нефть пика к 2035 году? 5. Как изменится спрос на нефть, если потребление первичной энергии продолжит расти? 6. Как эпидемии, вирусы и т.п. повлияют на инвестиции в крупные долгосрочные проекты с высокими эксплуатационными расходами? 7. Следует ли ожидать, что государство будет инвестировать в краткосрочные и долгосрочные проекты с помощью государственных экономических стимулов/программ?
R4	1. Стоит ли ожидать государственной поддержки новых нефтехимических проектов в России? 2. Следует ли ожидать новых программ/налоговых льгот для стимулирования отечественных производителей оборудования и технологий? 3. Следует ли ожидать развития рынка СПГ в России? 4. Какова взаимосвязь между общедоступной отчетностью крупных промышленных компаний о выбросах парниковых газов и инвестиционной привлекательностью этих компаний?
R5	1. Как влияет ухудшение состояния энергетической инфраструктуры на скорость внедрения информационных и цифровых технологий? 2. Как ухудшение состояния энергетической инфраструктуры влияет на тарифы на электроэнергию? 3. Какое влияние окажет формирование нефтехимических кластеров на развитие рынка нефтехимии? 4. Какие новые риски возникнут в связи с ростом себестоимости добычи углеводородов?
R6	1. Как необходимость снижения «углеродного следа» влияет на рост доли рынка СПГ? 2. Как возможные импортные пошлины для компаний с высоким «углеродным следом» повлияют на российский экспорт? 3. Стоит ли ожидать инновационных государственных программ по утилизации промышленных отходов до 2035 года?
R7	1. Повлияет ли воздействие коронавируса на ухудшение качества кредитных портфелей крупных промышленных компаний-экспортеров в России? 2. Какова будет инвестиционная активность иностранного капитала на российских рынках в долгосрочной перспективе до 2035 года?

На основе собранной информации был проведен факторный анализ методом главных компонент с целью определения сильно коррелированных и латентных переменных для формирования представления о наиболее значимых факторах, способных повлиять на развитие ископаемой энергетики в Российской Федерации и в масштабах всего мира. В качестве критериев использовались риски, которые были сгруппированы в 9 компонентов. Эти 9 компонентов были выделены методом вращения варимакс с нормализацией Кайзера [65, 66] на основе графа scree и жизнеспособности теорий, каждой из которых было присвоено название. Критерий scree заключался в нахождении точки, в которой спад собственных значений замедляется в наибольшей степени. Этот критерий был предложен Кайзером (1960) и является, пожалуй, самым распространенным в статистике [66]. Результаты анализа рисков были объединены для всех трех сценариев вместе с проведенным факторным анализом. Полученная обобщенная факторная модель сценарных рисков дала предпосылки для понимания возможных направлений формирования программ поддержки. Так, программы, согласно обобщенной модели, могут оказать положительное влияние на экономику при любом сценарном развитии. Это важно, поскольку показатели развития сценариев не всегда доступны. Таким образом, на данном этапе развития определенного сценарного пути пропущенные превентивные действия привели к увеличению объема необходимых контрмер и поддержки.

2.1. Анализ глобальных рисков

Помимо вопросов волатильности цен на энергоресурсы и в соответствии с геополитической ситуацией, существует еще ряд рисков и ограничений, обусловленных концентрацией технологического развития в промышленности, ограниченной традиционными базовыми технологиями. Это приводит к необходимости модернизации энергетического сектора для достижения устойчивого развития ископаемой энергетики.

В ходе анализа собранных данных были изучены прогнозные состояния энергетического сектора при учете влияния каждого из 21 риска из табл. 2 в контексте негативного, позитивного и консервативного сценариев соответственно. Результаты анализа влияния рисков представлены в табл. 4.

Таблица 4

Прогнозные состояния ископаемой энергетики с учетом влияния рисков [45, 52-55, 61, 67]

	Негативный	Позитивный	Консервативный
P1	1. Снижение добычи сырой нефти на 4 % (с 83 млн. баррелей в сутки до 80 млн. баррелей в сутки) 2. Отсутствие доступа к зарубежным технологиям для реализации новых проектов 3. Отсутствие технологических возможностей для стимулирования добычи на действующих месторождениях	1. Адаптация к новым условиям 2. Поиск новых партнеров (прогнозируемый рост добычи нефти на 2 %) (с 83 до 84,66 млн. баррелей в сутки) 3. Развитие собственных технологий	1. Перерывы в поставках энергоресурсов 2. Поддержание существующих объемов производства за счет уже подготовленных месторождений 3. Возможное снижение добычи сырой нефти до 2 % до 81,34 млн барр./сут.
P2	1. Дисбаланс в собственности (100 % находится либо в частных руках, либо в руках государства) 2. Принятие субъективных решений, направленных на удовлетворение потребностей исключительно конкретного правообладателя 3. Вероятна стагнация или регресс нефтегазового сектора как в технологическом, так и в экономическом плане	1. Баланс собственности (45 % в руках государства) 2. Большинство решений принимается частными компаниями под частичным контролем государства. 3. Высокие темпы развития промышленности нефти и газа	1. Незначительный дисбаланс в собственности (60 % в руках государства) 2. Большинство решений принимается частными компаниями под жестким частичным контролем государства 3. Незначительные потери в экономическом и технологическом развитии отрасли

	Негативный	Позитивный	Консервативный
P3	1. Снижение доли ОПЕК: менее 45 % на рынке 2. Колебания рыночной волатильности цен на нефть (от отрицательных значений до USD 5,00/барр.) и газа (менее USD 1,6 млн. BTU) 3. Демпинг цен – субсидированное потребление нефти	1. Доля ОПЕК на рынке до 65 % 2. Консолидация интересов компаний топливно-энергетического комплекса 3. Удержание цен на нефть на уровне USD 45,00/барр.	1. Доля ОПЕК на рынке достигает 60 % 2. На рынок выходит все больше новых игроков (США, Бразилия, Канада, Норвегия) 3. Насыщение рынка дешевыми энергоносителями (сланцевая нефть, канадская битуминозная нефть) 4. Сдерживание цен на нефть на уровне USD 25,00-35,00 за баррель
S4	1. Отсталая система образования 2. Снижение производительности труда 3. Исчезновение старых профессий (до 60 специальностей) 4. Переобучение 10 % работников предприятия (до 31 % из тысячи человек уходят на новую работу из-за нежелания меняться)	1. Переподготовка более 60 % сотрудников нефтегазовых компаний 2. Сотрудничество предприятий и вузов 3. Широкая доступность информации 4. Рост производительности труда 5. Исчезновение до 200 старых профессий и появление новых	1. Повышение привлекательности рабочих мест за счет внедрения центра дополнительного профессионального образования 2. Переобучение до 35 % работников 3. Рост производительности труда при значительном увеличении операционных затрат на производство сырья
S5	1. Рост энергопотерь до 30 % из-за отсутствия современной системы организационно-правового механизма управления 2. Снижение производительности труда 3. Рост риска травматизма на производстве 4. Рост спроса на энергоресурсы (необоснованное потребление)	1. Снижение зависимости от импортного оборудования и технологий 2. Рост инвестиций в энерго-сбережение на 2 % ВРП ежегодно 3. Прогресс во внедрении энергоэффективного мышления в обществе 4. Снижение спроса на энергетические ресурсы	1. Стагнация энергоемкости ВВП (за последние 10 лет энергоемкость ВВП РФ снизилась всего на 9 %. За последние 4 года энергоемкость ВВП не снижалась) 2. Разработка систем стимулирования персонала к эффективному потреблению на основе цифровых технологий
S6	1. Резкое снижение спроса на углеводороды на 20 %. 2. Аномальное падение цен на нефть до отрицательных значений впервые за 30 лет 3. Серьезная угроза долгосрочным мерам по борьбе с изменением климата 4. Резкое снижение спроса на возобновляемые источники энергии 5. Прекращение существования мегаполисов, консервация производственных процессов	1. Временное снижение глобальных выбросов углекислого газа (250 млн. т CO₂, на 18 % ниже обычного уровня) 2. Снижение нагрузки на транспортную инфраструктуру 3. Введение государственных пакетов мер экономического стимулирования, которые позволят инвестировать в технологии чистой энергетики и сдерживать экономический кризис 4. Сохранение спроса на возобновляемые источники энергии на уровне 2020 года	1. Снижение спроса на возобновляемые источники энергии до 55 %. 2. Временная ориентация на краткосрочные экономические стимулы вместо долгосрочных чистых технологий 3. Экономический кризис замедляет темпы роста 4. Устойчивость газовой промышленности по сравнению с другими видами топлива
S7	1. Снижение уровня рождаемости с 2,5 ребенка на одну женщину в 2019 году до 1,5 в 2050 году. 2. Трудоспособное население к 2050 году будет составлять менее 78 %. 3. Региональная и трансконтинентальная миграция 4,5 % квалифицированных инженеров выйдут на пенсию в ближайшие 10 лет	1. Устойчивый рост мирового уровня жизни 2. Рост численности населения трудоспособного возраста до 85 % 3. Рост средней продолжительности жизни в мире примерно на 15 % - Рост потенциала для внедрения и освоения новых технологий	1. Незначительное снижение рождаемости с 2,5 ребенка на одну женщину в 2019 году до 2,2 в 2050 году 2. Рост численности населения трудоспособного возраста до 80 % 3. Рост средней продолжительности жизни на 10 % (в среднем по миру – 77 лет)
S8	1. Сокращение рабочих мест в более чем 30 моногородах с населением до 110 тыс. человек 2. Падение спроса и волатильность цен при снижении экспорта угля в Европу и Китай (50 % от объема экспорта 2019 г.) 3. Ограничение экспорта в страны Азиатско-Тихоокеанского региона	1. Рост экспорта в Азиатско-Тихоокеанский регион в среднем на 0,65 %/год (13 % к 2040 г.) 2. Развитие смежных отраслей (углехимия, машиностроение, металлургия) 3. Объем инвестиций к 2035 году составит 2,5-3,5 трлн. руб. 4. Налоговые поступления вырастут в 2,6 раза	1. Рост экспорта в Азиатско-Тихоокеанский регион в среднем на 0,4 %/год (8 % к 2040 г.) 2. Модернизация объектов угольной генерации 3. Повышение уровня промышленной безопасности и улучшение условий труда, создание центров цифровых компетенций 4. Повышение экологичности и эффективности угольной промышленности

	Негативный	Позитивный	Консервативный
E9	1. Снижение мгновенных значений цен на нефть ниже 5,00 долл. За баррель 2. Снижение цены на газ ниже USD 1,6/миллион BTU 3. Снижение мирового спроса на нефть на 10-11 млн. баррелей в сутки при увеличении предложения на 5-6 млн. баррелей в сутки 4. Снижение среднегодовых темпов роста мирового ВВП на 2,4 %. 5. Капитальные и операционные затраты в 6-7 раз превышают цены на нефть для крупнейших производителей	1. Сохранение цены на уровне USD 40,00/баррель 2. Снижение мирового спроса на нефть на 10-11 млн. баррелей в сутки при взаимном снижении предложения на 5-6 баррелей в сутки при взаимном снижении предложения на 5-6 баррелей в сутки, превышении предложения над спросом не более чем на 10 % 3. Снижение среднегодовых темпов роста мирового ВВП на 0,5 %. 4. Затраты на капитальные и операционные расходы соизмеримы с ценами на нефть для крупнейших производителей	1. Снижение цен на нефть ниже 22,00 долл. за баррель 2. Превышение предложения над спросом не более чем на 25 % 3. Экономический и промышленный дисбаланс в краткосрочной перспективе 4. Снижение среднегодовых темпов роста мирового ВВП с 0,5 % до 2,5 % 5. Затраты на капитальные и операционные расходы в 2-3 раза превышают цены на нефть для крупнейших производителей
E10	1. Конкуренты Российской Федерации и США предлагают нефть по цене около 25,00 долл. За баррель, что является огромной скидкой по сравнению с ценами других производителей 2. Увеличение добычи нефти на 25 % (на 12,3 млн. баррелей в сутки) Саудовской Аравией – усиление конкуренции и обеспечение искусственной монополизации нефтяных рынков 3. Потеря экспорта Саудовской Аравией 4. Вытеснение не субсидируемых источников энергии	1. Проведение единой политики ценового регулирования цен на нефть 2. Сокращение резкого роста добычи нефти до 3 % в сутки с целью поддержания антикризисных цен на нефть 3. Без субсидий экспортеры нефти и газа по-прежнему будут иметь сравнительные преимущества в энергетическом секторе, поскольку низкозатратная база может обеспечить стабильно низкие внутренние цены	1. Резкое сокращение добычи нефти до 7 %/сутки для поддержания антикризисных цен на нефть 2. Воздействие реформы ценообразования на потребителей энергии может быть существенно смягчено, если реформа будет сочетаться с мерами по повышению энергоэффективности, дающими значительный финансовый и экологический эффект 3. Снижение цены на бизнес крупнейших нефтяных компаний РФ: USD 20,00/барр.
E11	1. Потребление первичной энергии к 2040 году увеличится на 30 % 2. Рост спроса на нефть составит 17 % и достигнет 4,9-5 млрд. т к 2040 году 3. Потребление природного газа к 2040 году увеличится на 40-55 % 4. Спрос на электроэнергию увеличится на 60 % к 2040 году 5. Снижение спроса на возобновляемые источники энергии. Доля новой генерации увеличится в 1,5 раза 6. Спрос на уголь достигнет своего пика до 2025 года	1. Потребление первичной энергии увеличится не более чем на 10 % к 2040 2. Снижение спроса на нефть до 20 %, который к 2040 году составит 3,2 млрд. т. 3. Производство энергии из возобновляемых источников к 2040 году увеличится в 5-6 раз 4. Энергетическая стратегия РФ прогнозирует производство СПГ до 120-140 млн. тонн в 2035 году	1. Рост потребления первичной энергии к 2040 году не более чем на 25 % 2. Рост потребления электроэнергии к 2035 году в 1,18-1,25 раза до 1380 млрд. кВтч 3. Выработка электроэнергии за счет возобновляемых источников энергии увеличится в 2,5 раза 4. Рост потребления природного газа, доля которого в мировом энергопотреблении в период до 2040 г. вырастет с 22 до 27 %
E12	1. Снижение среднегодовых темпов прироста мирового ВВП на 2,4 % 2. Гиперинфляция (темпы роста более 50 %) 3. Замедление добычи на крупных месторождениях с дорогостоящим обслуживанием 4. Сокращение инвестиций в краткосрочные и долгосрочные проекты	1. Увеличение среднегодовых темпов роста мирового ВВП на 3,3 % 2. Умеренная инфляция (8 %-10 %) 3. Сохранение инвестиций в краткосрочные и долгосрочные проекты за счет государственного экономического стимулирования	1. Снижение среднегодовых темпов прироста мирового ВВП с 0,5 до 2,5 % 2. Умеренная инфляция (10 %-15 %) 3. Сокращение инвестиций в долгосрочные проекты

	Негативный	Позитивный	Консервативный
L13	1. Ужесточение форматных полей налогового режима 2. Введение налога на добавленную стоимость (НДС), который зависит от финансового результата проекта. Если он докажет свою жизнеспособность, то будет введен для большего числа зрелых месторождений	1. Предоставление кредитов под низкие проценты нефтегазодобывающим компаниям, столкнувшимся со снижением цен на нефть в связи с эпидемиологической обстановкой 2. Целевая система налогового стимулирования в виде возврата НДС (5 %-13 %), налоговых каникул, таможенных субсидий, отрицательных акцизов на сырье 3. Субсидирование закупок нового оборудования и технологий, поддержка инвестиционных проектов	1. Государственная поддержка новых проектов в нефтехимической отрасли, стимулирование производителей оборудования и технологий, стимулирование производства крупнотоннажной продукции 2. Налоговые льготы для новых месторождений с высокой обводненностью
L14	1. В результате отсутствия четких значений ПДК (предельно допустимой концентрации) нефти и нефтепродуктов в почве, процесс принятия корректирующих мер по рекультивации поврежденных участков затруднен 2. Ужесточение политики принудительной декарбонизации для сокращения выбросов парниковых газов	1. Мониторинг и отчетность крупных промышленных и энергетических предприятий с годовым объемом выбросов 2. парниковых газов в размере 150 тыс. т в пересчете на углекислый газ (CO₂-эквивалент) и более. 3. Экономическое стимулирование использования попутного нефтяного газа путем постепенного увеличения платы за негативное воздействие на окружающую среду	1. Политика декарбонизации путем удержания роста средней глобальной температуры в пределах 1,5-2 °C 2. В период с 2020 по 2025 год будет введено государственное регулирование выбросов парниковых газов 3. Созданы условия для стимулирования реализации проектов, направленных на сокращение выбросов парниковых газов и их поглощение
T15	1. Износ энергетической инфраструктуры приблизится к 75 % к 2040 2. Требуемые инвестиции превышают существующие на 42 тыс. млрд. рублей (21 %) 3. Снижение надежности процесса транспортировки углеводородов 4. В Российской Федерации ежегодно происходит до 19 тыс. аварий из-за использования устаревшего малоэффективного оборудования	1. Амортизация энергетической инфраструктуры может достигать 35 % 2. Необходимые инвестиции превышают существующие на 13 трлн. рублей (7 %). 3. Снижение количества несчастных случаев при использовании изношенного оборудования в 2-3 раза 4. Внедрение виртуальных электростанций: долгосрочные тарифные соглашения. Начало обучения нового персонала, готового к работе в цифровом электросетевом комплексе	1. Амортизация энергетической инфраструктуры может составить 48 % 2. Требуемые инвестиции превышают существующие на 28 трлн. рублей (17 %) 3. Тарифная нагрузка будет продолжать увеличиваться. с учетом инфляции на 12 % в год
T16	1. Снижение качества продукции 2. Износ производственных фондов – риск невозможности обновления (большая доля технологического импорта) 3. Низкая пропускная способность углеводородных транспортных средств	1. Формирование нефтехимических кластеров (от добычи до производства конечных продуктов с высокой добавленной стоимостью) 2. Развитие рынка этилена и олефинов (создание транспортной инфраструктуры – полиэтиленопроводов и железнодорожной транспортно-инфраструктурной ипотеки) 3. Использование циклических технологий на рынке газа	1. Увеличение глубины переработки нефти (до 90 %). Увеличение выхода светлых нефтепродуктов (до 74 %) 2. Завершение программы модернизации нефтеперерабатывающих заводов 3. Снижение операционных затрат на НПЗ за счет использования цифровых технологий 4. Расширение производства и потребления газомоторного топлива 5. Развитие единой системы газоснабжения, строительство вспомогательной инфраструктуры СПГ 6. Увеличение производства СПГ в 5 и более раз 7. Создание СПГ-кластеров 8. Незначительный рост спроса на метанол до 2 % в год

	Негативный	Позитивный	Консервативный
T17	1. Увеличение стоимости добычи углеводородов 2. Значительное увеличение затрат на разведку и добычу 3. Повышение рисков, связанных с необходимостью дополнительных капитальных вложений	1. Рост новейших технологий добычи (российские запасы тяжелых и высоковязких нефтей оцениваются в 5-7 млрд. тонн) 2. Углубленная разработка существующих традиционных нефтяных месторождений с использованием методов интенсификации добычи	1. Пик производства традиционных легких масел будет достигнут уже в 2030 году 2. Стагнация технологий добычи тяжелых и битуминозных типов нефти с огромными запасами
E18	1. К 2030 году количество выбросов углекислого газа в мире может достичь 40 гигатонн 2. Глобальное потепление на 3,5 °C. 3. В Российской Федерации рост выбросов парниковых газов с 1,6 млрд. тонн CO₂ экв. до 2,4 млрд. тонн CO₂ экв. к 2030 году	1. Снижение интенсивности выбросов углекислого газа за счет повышения энергоэффективности и увеличения доли возобновляемых источников энергии 2. Увеличение доли СПГ как альтернативы мазуту на 5 % в год к 2035 году (снижение выбросов SO_x, NO_x и выбросов твердых частиц) 3. В Российской Федерации увеличение интенсивности роста выбросов с 1,6 млрд. т у.т. до 1,9 млрд. т у.т. к 2030 г. и снижение до 1,6 млрд. т у.т. к 2050 г.	1. Продолжается расширение рынка газа и СПГ, и ожидается, что до 2035 года спрос на СПГ будет расти на 3,6 % в год 2. В Российской Федерации рост выбросов парниковых газов с 1,6 млрд. т экв. CO₂ до 2,07 млрд. т экв. CO₂ к 2030 году
E19	1. Инфильтрация сточных вод До40 % нефти, попавшей в водосмы, оседает на дно в виде донных отложений 2. Значительное снижение биоразнообразия и, что более важно, плодородия почв 3. Лесные пожары 4. Повышение сорбционной способности угля	1. Внедрение энергосберегающих технологий, снижение потерь энергии 2. Увеличение объемов переработки отходов, рекультивация крупнейших полигонов, утилизация метана 3. Производство и использование продукции с высоким классом энергоэффективности 4. Охрана лесов от пожаров и вредителей, сокращение сплошных рубок	1. Предотвращение аварий и их последствий 2. Фильтрация загрязненных сточных вод на этапе буровых работ 3. Рекультивация загрязненных земель в северных регионах 4. Внедрение современных технологий добычи нефти
K20	1. В 2020 году ожидается замедление роста потребительского спроса (до 0,6 % после 1,0 % в 2019 году), обусловленное замедлением роста потребительского кредитования 2. На фоне пандемии COVID-19 банковский сектор сталкивается с ухудшением качества кредитных портфелей как корпоративных, так и розничных заемщиков	1. Приостановка цикла снижения ключевой ставки 2. Развитие кредитования в рамках государственных программ, ставки по которым находятся в диапазоне 2 %-5 %	1. Значительное сокращение объемов валютного кредитования (86,2 % от общего объема капитала на начало 2020 г. против 113 % на сентябрь 2008 г.) 2. Замедление темпов роста портфеля потребительских кредитов. 3. Быстрое снижение ключевой процентной ставки
K21	1. Инвестиции в основной капитал могут сократиться на 5 %-8 %	1. К 2024 году увеличение инвестиций на 7,5 трлн. рублей. То есть фактически увеличение объема на 50 % по сравнению с текущей ситуацией 2. Реализация крупных инвестиционных проектов за счет инструментов (государственно-частное партнерство, территории опережающего социально-экономического развития, специальные инвестиционные контракты, защищенные инвестиционные программы и т.д.	1. Перерыв в активности, но основные игроки продолжат инвестиционную деятельность, ориентируясь на «безопасные» рынки 2. Помимо волатильности валютных курсов во втором и третьем кварталах 2020 года, на инвестиционную активность также повлияет невозможность физического посещения активов 3. Рынки, зависящие от иностранного капитала, могут столкнуться со снижением инвестиционной активности

На основе проанализированных рисков были разработаны три сценария развития мировой энергетики. Эти сценарии могут стать основой для стратегического планирования при формировании программ развития.

2.2. Описание сценариев

На основе комплексного анализа глобальных рисков путем экспертного опроса и факторного анализа были разработаны три контрастирующих сценария развития ископаемой энергетики – #StayHome, #StayAlone и #StayEffective.

2.2.1. Негативный сценарий: #StayHome

Этот сценарий характеризуется следующими особенностями:

- сохранение изоляции отдельных групп граждан, предприятий и стран;
- снижение потребления энергии, товаров и услуг до минимума в 2022-2023 гг. с перспективой сохранения его на низком уровне до конца горизонта нашего прогнозирования;
- рост безработицы;
- высокая волатильность цен на энергоносители;
- отток инвестиций;
- ускоренный износ инфраструктуры;
- ухудшение экологической ситуации;
- риск энергетического голода, а также дефицита воды и продовольствия для отдельных категорий стран;
- рост социальной напряженности в энергобедных странах и странах со значительным внешнеторговым дефицитом;
- сокращение мировой торговли товарами и услугами в натуральном и денежном выражении;
- переориентация продукции на внутренние рынки
- ускорение импортозамещения.

2.2.2. Умеренный сценарий: #StayAlone

Этот сценарий характеризуется следующими особенностями:

- частичное восстановление цепочек международных поставок товаров, энергии и материалов и нестабильность в поставках минерального сырья и энергии;
- возобновление разработки нерентабельных месторождений;
- сохраняется дефицит инвестиций в инфраструктуру;
- инвестиции в возобновляемые источники энергии;
- растущая потребность в квалифицированных кадрах;
- возвращение мирового энергопотребления на прежний уровень;
- продолжение ухудшения экологической ситуации;
- увеличение инвестиций в исследования, оборудование и персонал для энергетического сектора.

2.2.3. Позитивный сценарий: #StayEffective

Этот сценарий характеризуется следующими особенностями:

- полное восстановление временно разрушенных глобальных цепочек поставок энергоносителей, материалов и товаров с целью снижения затрат и исключения политического влияния.
- создание предпосылок для устойчивого развития глобальной энергетической инфраструктуры на основе международного планирования и финансирования;
- внедрение цифровых технологий во все жизненные циклы углеводородов, сдерживание роста их потребления;
- создание надежной международной системы отслеживания происхождения и восполнения энергии и ресурсов, подтверждающей уровень эффективности поставляемых энергии и товаров и их безуглеродность.

2.3. Анализ результатов экспертного опроса

Анкета была составлена на основе проведенного анализа рисков. Оно проводилось в период с зимы 2019 года по осень 2020 года среди 70 респондентов из числа работников топливно-энергетических компаний (57 %) и сотрудников с высшим образованием, работающих в профильных вузах (43 %). В первую группу вошли: сотрудники электросетевых компаний (42 %), нефтегазовых (29 %) и угольных (29 %) компаний. Варианты ответов отражают вероятность наступления рисков (маловероятно, средневременно, очень вероятно) или степень их влияния (не влияет, влияет средне, влияет сильно) на результаты.

Ответы этих экспертов были проанализированы и разбиты по каждому из трех сценариев, что позволило определить, какие риски наиболее ожидаемы, степень их опасности (с последующим устранением последствий), а также определить время, необходимое для устранения рисков или последствий (показано на графиках размером кружков) для каждого сценария (рис. 5).

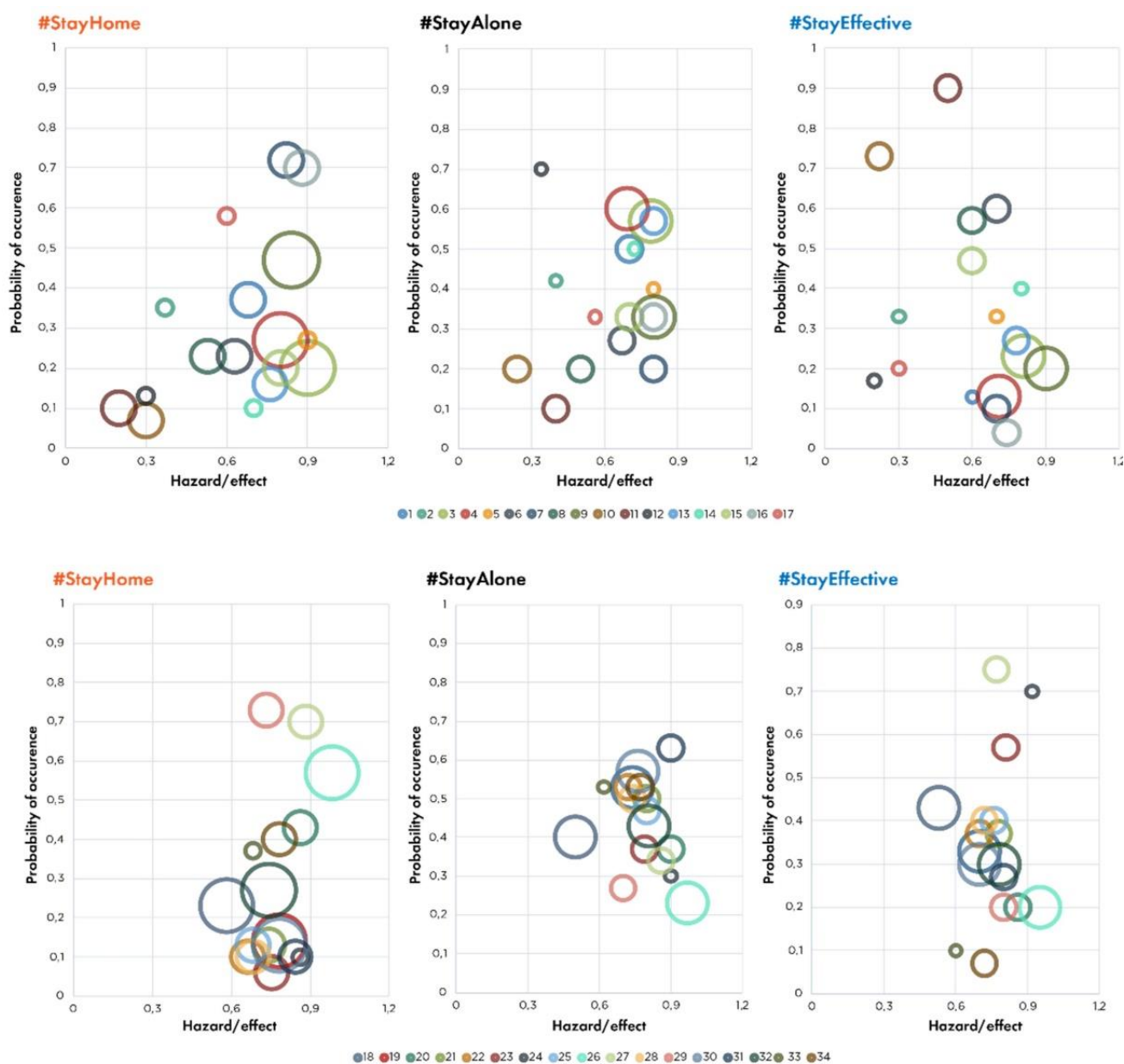


Рис. 5. Оценка рисков для трех сценариев: #StayHome, #StayAlone, #StayEffective

3. Результаты и обсуждение

На основании данных, полученных в ходе исследования, риски были сгруппированы в девять составляющих. Каждый риск в трех сценариях оценивался по двум критериям: вероятности возникновения и опасности последствий. Это отражено на рисунке в виде набора из шести окружностей. Для всестороннего прочтения рисунка необходимо, в качестве предварительного условия, владение определенной грамматикой, основанной на правилах, определенных здесь и далее. На обобщенной оси для каждого риска откладываются три сценария. Время, необходимое для устранения риска или его последствий, задается третьим параметром. Этот третий параметр – диаметр окружности. Наименьший диаметр – срок устранения от 1 до 5 лет, средний – 5-10 лет, наибольший – 10-15 лет и более. Если вдоль одной оси в диапазоне от 0,6 до 1 расположены три и более окружностей среднего и большого диаметра, то это выделяется оранжевым цветом. Следовательно, эти риски проявляются независимо от сценария, что требует незамедлительных превентивных мер по снижению риска их развития и последствий. Компоненты от одного до четырех обобщенной факторной модели сценарных рисков представлены на рис. 6.

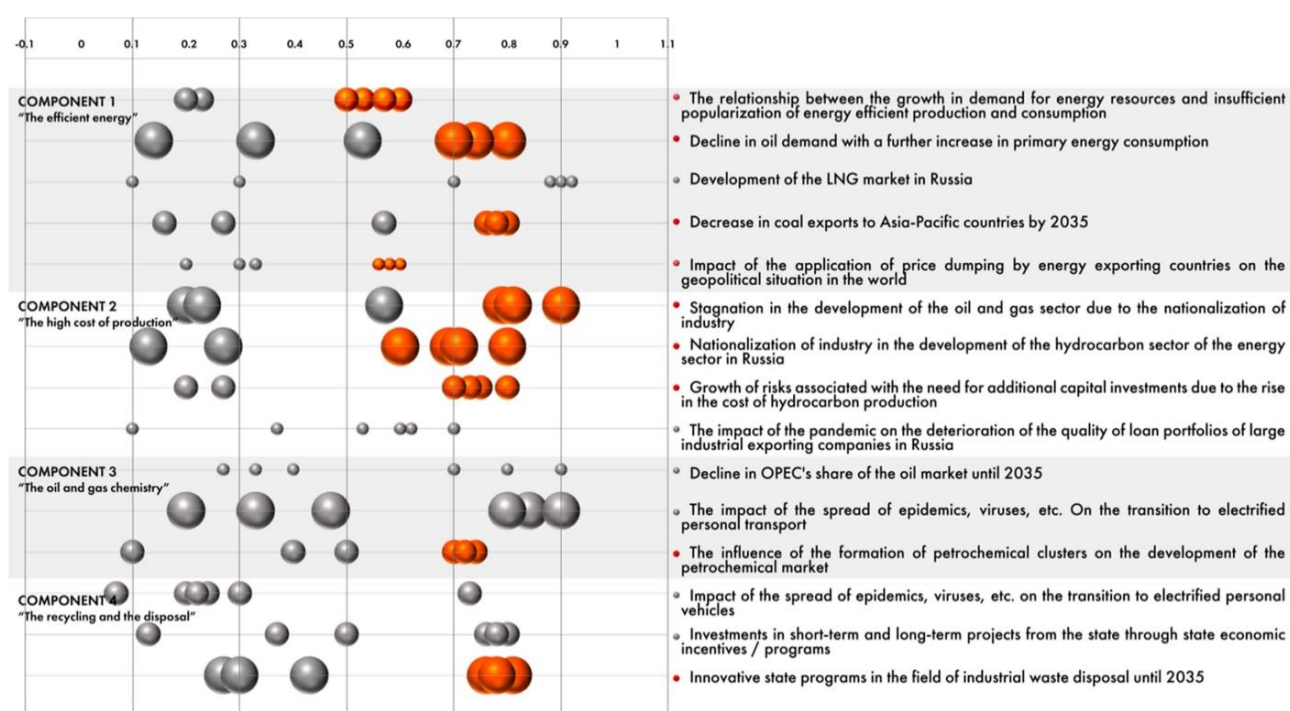


Рис. 6. Обобщенная факторная модель сценарных рисков (компоненты с первой по четвертую) [56]

Компонент 1 – «эффективная энергетика»: в любом из трех сценариев спрос на нефть будет снижаться; высока вероятность сокращения экспорта угля, что может существенно повлиять на экспортные доходы. Взаимосвязь с развитием рынка сжиженного природного газа (СПГ) и популяризацией энергосбережения подчеркивает необходимость технологического развития, а также инвестиций в направлении популяризации энергоэффективности.

Компонент 2 – «высокая себестоимость продукции»: наибольший вес имеет риск национализации отрасли. Он будет сопровождаться ростом себестоимости производства ископаемого топлива. При любом из трех сценариев это создает угрозу стагнации развития нефтегазового сектора, даже несмотря на маловероятность возникновения новых очагов заболеваний, вспышек, эпидемий и пандемий.

Компонент 3 – «нефтегазовая химия»: наибольший вес имеет риск снижения доли ОПЕК на рынке до 2035 года. Возникновение этого риска напрямую связано с развитием некоторых нефтехимических кластеров. В рамках сценария #StayHome очевидно влияние на долгосрочные планы программ по сдерживанию изменения климата, что может увеличить долю ОПЕК и оказать фактическое положительное влияние на развитие кластеров.

Компонент 4 – «переработка и утилизация»: это зависимость совершенствования переработки отходов и развития электрифицированного транспорта от налоговых льгот для производителей оборудования и технологий. Угроза замедления развития государственных программ проявляется в сценариях #StayHome и #StayAlone.

Компоненты с пятого по девятый обобщенной факторной модели сценарных рисков представлены на рис. 7.

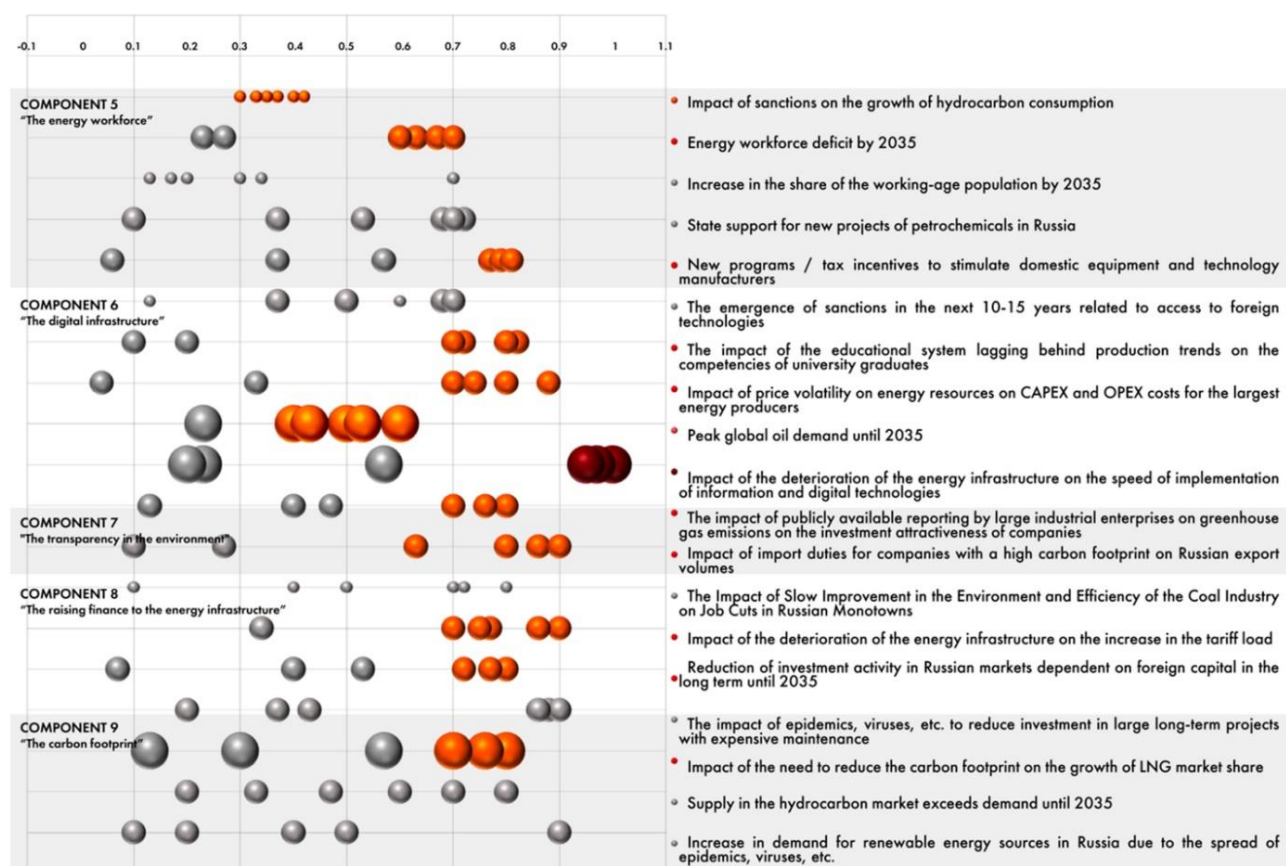


Рис. 7. Обобщенная факторная модель сценарных рисков (компоненты с пятой по девятую) [56]

Компонент 5 – «энергетическая рабочая сила»: это риск нехватки трудовых ресурсов, который сильно связан с долгосрочными государственными проектами и программами, а также с влиянием санкций на потребление ископаемого топлива. Концентрация вероятности и тяжести последствий в области средних значений подчеркивает, что санкции будут сохраняться в той или иной степени для всех сценариев. Долгосрочные программы обучения относятся к числу мер, которые необходимо запускать, не ориентируясь на какой-либо конкретный сценарий.

Компонент 6 – «цифровая инфраструктура»: это риск негативного влияния волатильности цен на нефть на издержки добывающих компаний, что может либо вытеснить нефть с рынков, либо подтолкнуть производителей к модернизации производства с целью повышения его эффективности, гибкости и устойчивости на основе использования цифровых технологий. Однако в сценарии #StayHome существуют значительные риски недофинансирования инфраструктуры, что сильно повлияет на развитие цифровых технологий. Учитывая значительное время, необходимое для снижения этих рисков, связку «инфраструктура – цифровые технологии» необходимо рассматривать сразу в комплексе. Этот компонент оказывает наибольшее влияние на сектор ископаемой энергетики при любом сценарии (темно-красные сферы на рис. 7).

Компонент 7 – «прозрачность среды»: это взаимосвязь между работой компаний в области снижения негативного воздействия на окружающую среду и повышением инвестиционной привлекательности, причем необходимость такой работы проявляется в любом из рассматриваемых сценариев.

Компонент 8 – «повышение финансирования энергетической инфраструктуры»: это риск снижения инвестиционной активности, что приведет к увеличению износа энергетической инфраструктуры. Это приведет к увеличению нагрузки на тариф. Данный риск проявляется даже в сценарии #StayEffective, что подчеркивает необходимость принятия упреждающих мер для поддержания активной инвестиционной деятельности и недопущения недофинансирования инфраструктурных проектов. Поскольку время реакции на эти риски значительно, требуются незамедлительные действия.

Компонент 9 – «углеродный след»: речь идет о необходимости снижения «углеродного следа» вне зависимости от текущего сценария. Негативное влияние новых пандемий на крупные проекты в области возобновляемой энергетики и СПГ приведет к увеличению времени реагирования на риски, связанные с увеличением выбросов.

Как видно из результатов факторного анализа, все риски взаимосвязаны, и они проявляются в каждом из сценариев. Группировка рисков позволила нам понять, на какие направления следует обратить комплексное внимание при разработке программ развития сектора ископаемой энергетики.

На основе проведенного факторного анализа были сформированы программы развития энергетического сектора, объединяющие девять составляющих рисков в одну, соотношенную с технологическими направлениями, которые необходимо развивать для принятия превентивных мер, чтобы избежать негативных последствий в одном из возможных сценариев.

3.1. Программы развития энергетического сектора

Каждая из девяти предлагаемых ниже программ была названа в соответствии с соответствующей составляющей. Программы рассматривались как единое целое с общей целью перехода к устойчивому развитию ископаемой энергетики с усилением пяти характеристик: гибкости, надежности поставок, скорости, качества и экологической эффективности. Программы развития энергетического сектора представлены в табл. 5

Таблица 5

Программы развития энергетического сектора

	Название программы	Превентивные меры
1	Эффективная энергетика	- Развитие малотоннажного производства СПГ на газораспределительных станциях (ГРС) и виртуальных трубопроводных системах [68, 69]. - Цифровые платформы для персонализированных менеджеров в сфере энергетики на основе искусственного интеллекта для управления энергопотреблением и стимулирования энергосбережения
2	Высокая себестоимость продукции	- Центр мониторинга и прогнозирования безопасной и эффективной разработки месторождений полезных ископаемых на основе искусственного интеллекта - Решение задач прогнозирования рисков любых нарушений условий безопасной эксплуатации энергетических объектов
3	Нефтегазовая химия	- Формирование нефтегазохимических кластеров на территориях существующих нефтегазохимических комплексов - Водородная программа как часть стратегии низкоуглеродного развития [70]. - Правовое регулирование в соответствии с международными стандартами, развитие водородных кластеров, образование в области водородных технологий
4	Переработка и утилизация	- Информационная база данных о наилучших доступных технологиях переработки отходов на основе технологии больших данных - Правовое регулирование переработки вторичных ресурсов - Поддержка развития исследований в области углехимии (технологии улавливания, хранения и использования углерода, контроль выбросов метана) - Управление развитием и интеграция электрифицированного транспорта в энергосистему городов на базе интеллектуальной платформы Интернета вещей - Программа налогового стимулирования импорта электромобилей

	Название программы	Превентивные меры
5	Энергетическая рабочая сила	- Цифровые лабораторные пространства DiLAB, объединяющие инфраструктуру, процессы и людей для освоения цифровых компетенций - Проведение международных конференций по искусственному интеллекту в энергетике, нефтегазовой и горнодобывающей отраслях - Привлечение иностранных ученых на основе грантовой поддержки исследований в области повышения эффективности добычи ископаемого топлива - Экспорт образования: программы международных летних школ для студентов по передовым технологиям для энергетической, нефтегазовой и горнодобывающей отраслей
6	Цифровая инфраструктура	- Формирование единой базы данных цифровых моделей энергетической инфраструктуры - Развитие вычислительных мощностей и центра обработки данных для моделирования поведения инфраструктуры и прогнозирования ее состояния - Стимулирование технологий, обеспечивающих гибкость цепочек добычи, транспортировки, хранения и сбыта нефти, газа и угля - Создание фабрики научных данных для минерально-сырьевого комплекса на основе технологий больших данных «Цифровая энергетическая фабрика данных» - Создание цифровой платформы «EnergyRF» [56]. Это система взаимовыгодных алгоритмических взаимоотношений между большим количеством независимых участников горнодобывающей, нефтегазовой и электроэнергетической отраслей, осуществляемых в единой информационной среде [56]. - Создание цифровой платформы «Genesis Drive». Это интеллектуальная платформа жизненного цикла энергетического и электромеханического оборудования, основанная на цифровых технологиях
7	Прозрачность окружающей среды	- Погашение процентной ставки по инвестиционному кредиту за счет налога на прибыль - Ускоренная амортизация оборудования, созданного на основе наилучших доступных технологий - Снижение затрат на воздействие после внедрения наилучших доступных технологий - Создание экологических фондов для финансирования, международное сотрудничество
8	Повышение финансирования энергетической инфраструктуры	- Внедрение технологии смарт-контрактов. Это позволит заключать и сопровождать коммерческие контракты, а также осуществлять процесс инвестиционных исследований с использованием технологии блокчейн между тремя контурами: процессами (включая оборудование) и пользователями, рынками и данными. - Смарт-контракты могут существовать только в среде цифровой платформы с беспрепятственным доступом исполняемого кода к объектам смарт-контракта (эту задачу поддерживает алгоритм, отслеживающий при заданных условиях выполнение или невыполнение пунктов и принимающий самостоятельные решения на основе запрограммированных условий) - Формирование программ снижения рисков для компаний - Локализация услуг и производства оборудования
9	Углеродный след	- Применение технологии блокчейн для контроля и фиксации выбросов при производстве, транспортировке и использовании энергии - Точно-рейтинговые системы оценки углеродного следа и интеграция с цифровыми платформами - Создание государственного фонда целевого инвестирования в технологии с низким уровнем выбросов парниковых газов

Девять программ изучались как единое целое с общей целью устойчивого развития энергетического сектора.

3.2. Развитие цифровых платформ

Программы развития энергетического сектора объединены использованием цифровых технологий в рамках цифровой платформы «трансформация энергетики для устойчивого развития».

Концепция такой цифровой платформы подразумевает внедрение цифровых технологий для создания новых бизнес-моделей, услуг и рынков на основе возможностей цифровой экономики:

Большие данные (БД). Впервые понятие «большие данные» появилось в работе Клиффорда Линча в 2008 году в специальном материале журнала *«Природа»* [71]. В своей статье он взял любой массив разнородных данных объемом более 150 ГБ в день. Принцип работы технологии больших данных основан на максимальном информировании пользователя о любом явлении. Цель – помочь принять правильное решение. В интеллектуальных машинах на основе массива информации строится модель будущего, затем моделируются различные варианты и отслеживаются результаты. Это позволяет прогнозировать отказы оборудования, оптимизировать динамическое ценообразование, снижать пиковые нагрузки, оптимизировать интеграцию распределенной генерации в систему энергоснабжения.

Искусственный интеллект (ИИ). ИИ является фундаментальной наукой в том же смысле, в каком физика является фундаментальной наукой [72, 73]. Системы ИИ способны анализировать и повышать качество управления. ИИ имеет следующие принципы работы в энергетике:

- определяет вероятность пикового потребления энергии;
- позволяет более эффективно использовать энергию при минимальном спросе;
- побуждает пользователей активно использовать периоды низкого спроса;
- повышает эффективность работы;
- анализирует неструктурированные данные, которые сегодня составляют 80 % информации в компаниях;
- прогнозирует техническое состояние оборудования;
- выявляет сбои в работе инфраструктуры;
- осуществляет техническое обслуживание, обработку данных, обучение и планирование задач оптимизации.

Распределенная система бухгалтерского учета (PCY). Она представляет собой новую парадигму сбора и передачи информации. Блокчейн – это децентрализованная база данных, внутри которой данные проверяются участниками сети. Преимущество использования технологии блокчейн (смарт-контрактов) заключается в устранении посредников. Использование криптовалют в пиринговой торговле стимулирует рост децентрализации генерации, а смарт-контракты упрощают управление распределением электроэнергии [74-76].

Квантовые технологии (КТ). При автоматизации сбора информации система анализирует поток поступающих данных из большого количества отдельных источников, выявляет последовательность событий и определяет взаимосвязь между ними. Прогностическая модель позволяет предсказать состояние электрооборудования, а также исключить вторичные повреждения, поскольку заранее прогнозируются отказы смежных элементов. Это повышает эффективность работы энергосистем за счет планирования ремонтов, обеспечивает оптимальное распределение ресурсов, а также сокращает время реагирования и устранения аварийных режимов [77].

Нейротехнологии, технологии виртуальной и дополненной реальности (НТВДТ). Целью данного направления является разработка продуктов в области коммуникации «человек-машина» и «человек-человек» в дополненной и виртуальной реальностях. В его основе лежат нейроинтерфейсы, повышающие производительность человеко-машинных систем. Это подразумевает кадровую и инфраструктурную поддержку сложных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, реализацию образовательных программ по подготовке научных и инженерных кадров, а также персонала в области продвижения новых товаров и услуг.

Помимо этих групп цифровых технологий, выделяются дополнительные блоки, которые также относятся к технологиям, используемым в энергетике: новые производственные технологии, компоненты сенсорики и робототехники, беспроводные технологии, технологии управления свойствами биологических объектов.

Представленные выше технологии были объединены в цифровую платформу «трансформация энергетического сектора для устойчивого развития», представленную на рис. 8. Формирование «умного» потребителя с помощью цифровых технологий является одной из ключевых задач. Потребитель является ключевым партнером платформы [56]. Взаимодействие между участниками рынка могут обеспечить Интернет энергии (IoE) и Интернет вещей (IoT).



Рис. 8. Цифровая платформа «Трансформация энергетического сектора для устойчивого развития»

IoT и ИТ дополняют интеллектуальную сеть. Интеллектуальная сеть должна быть оснащена датчиками, позволяющими обмениваться большим объемом информации, включая погодные условия, цены на электроэнергию и ее потребление в разное время. Это позволяет более эффективно производить, хранить и использовать электроэнергию, а также дает возможность регулировать спрос.

Другими словами, IoT – это производство, передача и распределение энергии, дополненные цифровыми возможностями управления, мониторинга и телекоммуникаций [78].

В 2017 году количество онлайн-устройств увеличилось до 8,4 млрд. По оценкам, к 2020 году оно будет насчитывать около 30 млрд объектов [79]. К таким устройствам относятся физические объекты, транспортные средства, бытовая техника и другие предметы, в которые встроены электроника, программное обеспечение, датчики и исполнительные механизмы. Кроме того, для нее характерно подключение к Интернету. IoT представляет собой сеть таких устройств, через которую они могут обмениваться данными и командами [80].

Аналитика энергопотребления, предоставляемая пользователем предприятию, потенциально может значительно повысить эффективность и снизить перегрузки в интеллектуальной сети, что способствует повышению надежности энергетического сектора.

IoT может быть использована для надежной передачи данных следующим образом:

1. В области производства электроэнергии IoT может использоваться для мониторинга выработки электроэнергии различными типами электростанций (ископаемое топливо, ветер, солнечная энергия, биомасса), выбросов газа, хранения энергии, энергопотребления и прогнозирования необходимой мощности для снабжения потребителей.

2. IoT может использоваться для определения энергопотребления, диспетчеризации, мониторинга и защиты линий электропередачи, подстанций и вышек, управления и мониторинга оборудования.

3. IoT может использоваться на стороне потребителя на уровне интеллектуальных счетчиков для измерения различных типов параметров, потребления энергии, взаимодействия между различными сетями, зарядки и разрядки электромобилей, управления потреблением.

Происходит многократный обмен информацией в контуре данных, контуре рынка и контуре процессов в любом направлении и между любыми сферами. Цифровая платформа включает в себя следующие программы:

- Смарт-контракт – это полная автоматизация и надежность исполнения договорных отношений [57, 70]. Он представляет собой совокупность электронных алгоритмов, описывающих набор условий, выполнение которых влечет за собой некоторые события в реальном мире и/или цифровых системах, как это было представлено в предыдущем исследовании [56]. Благодаря протоколам консенсуса, заложенным в блокчейн-платформу, станет возможным совместное использование ресурсов несколькими пользователями в формате обмена энергоресурсами между инфраструктурами, данными или с использованием общего централизованного хранилища. Блокчейн и смарт-контракты могут обеспечить совместное использование единого источника на основе соглашений, подписанных в цифровой форме.
- Рынок данных является основой для использования искусственного интеллекта при прогнозировании нарушений безопасной эксплуатации энергообъектов [71].
- Рынки исследований и разработок и кадровые рынки, как представляется, повышают качество образования и науки. Они являются основой для развития связей между блоками платформы.
- Рынок энергетических услуг – это энергосбережение, управление спросом, интеграция распределенных источников энергии и другие цифровые энергетические технологии.
- Энергетический рынок и рынок инфраструктуры обеспечивают доступ к инвестициям и владению энергетическими объектами любого уровня, что позволит влиять на стоимость потребления энергии и получать доход.

Цифровая платформа способна стать в период до 2040 года драйвером усиления конкуренции развивающихся стран, смены парадигмы на системы, ориентированные на пользователя, и прямое взаимодействие в экономических, политических и социальных структурах, а также усиления роли экологической повестки дня.

Это будет способствовать достижению ЦУР, чтобы ископаемое топливо стало надежной и устойчивой опорой мира в контексте любого из возможных сценариев.

4. Заключение

Проведенное исследование показало важность анализа рисков, существующих в энергетическом секторе, для проведения сценарного прогнозирования. В статье были подробно рассмотрены политические, социокультурные, экономические, правовые, технологические, экологические и коммерческие риски, влияющие на энергетический сектор. По результатам обобщенной факторной модели сценарных рисков количественно определены технологический риск № T15 (отсутствие развитой энергетической инфраструктуры), политический риск № P2 (национализация отрасли) и социокультурный риск № S4 (дефицит трудовых ресурсов), которые имеют прямое влияние, высокую вероятность возникновения и сильную степень влияния. Эти базовые риски и их возможные последствия, вытекающие из сценариев, могут не только замедлить, но и полностью остановить реализацию международных программ, связанных с ЦУР № 4 (качественное образование), № 7 (доступная и чистая энергия), № 8 (достойная работа и экономический рост), № 9 (промышленность, инновации

и инфраструктура), № 11 (устойчивые города и сообщества), № 12 (ответственное потребление и производство), № 13 (действия в области климата), № 14 (жизнь под водой) и № 15 (жизнь на суше), а значит, могут представлять существенную угрозу для будущего энергетического перехода. На основе анализа рисков были определены три контрастных сценария развития ископаемой энергетики под названиями #StayHome, #StayAlone и #StayEffective. Обобщенная факторная модель сценарных рисков позволила не только рассмотреть каждый из сценариев в отдельности, но и определить главный компонент развития энергетики, независимо от сценариев. Этим компонентом является цифровая инфраструктура. По результатам исследования для каждого из трех сценариев реализации ископаемой энергетической политики на примере Российской Федерации были сформированы девять программ устойчивого развития энергетического сектора. Также были предложены и разработаны меры по ее реализации.

Эти программы могут быть применены к любой стране, особенно к развивающимся странам и странам с переходной экономикой. Программы были интегрированы в интерактивную цифровую платформу «Трансформация энергетического сектора для устойчивого развития».

Технологии Интернета энергии и Интернета вещей обеспечат эффективное взаимодействие между участниками энергетического сектора. Благодаря использованию этих технологий изменятся традиционные роли участников энергетического рынка. В частности, один участник сможет совмещать роли потребителя электрической энергии и производителя электрической энергии, например, на собственных солнечных батареях. Компании будут экономить время и деньги благодаря технологиям цифровых двойников, которая является основой цифровой платформы. Использование этой технологии дает возможность сократить расходы на техническое обслуживание и время реагирования на аварийные ситуации, а также плановые простои. Это позволит повысить производительность за счет оптимизации режимов работы. Еще одним эффектом от применения этой технологии является возможность регулирования уровня выбросов, что позволит улучшить экологическую обстановку. Используя все эти решения, мы сможем обеспечить и оптимизировать сочетание возобновляемой и ископаемой энергии, поскольку их совместное использование необходимо в ближайшем будущем. Было подтверждено, что энергетический сектор нуждается в полной цифровой трансформации, чтобы объединить все источники энергии и эффективно «поддерживать свет».

Таким образом, цифровая трансформация становится ключевым фактором инновационного развития всей энергетики. В основе такого развития энергетики лежит синергетический эффект от глубокой интеграции различных видов энергии, приведенной в тесное партнерство с цифровыми технологиями. Цифровая платформа должна стать не только инструментом для достижения ЦУР, но и главным действующим лицом в трансформации ископаемой энергетики. Интеграция цифровых и информационных технологий требует ежедневного подведения итогов с точки зрения гибкости, надежности поставок, скорости, качества, экологии и эффективности. Таким образом, достижение ЦУР требует глубокой интеграции всех видов ресурсов с масштабными проектами, объединяющими страны как в направлении развития технологий, так и в подготовке рабочей силы, обладающей высокой квалификацией для работы на любом уровне энергетического сектора.

Авторский вклад: Ю.Л.Ж.: Методология; Д.Е.Б.: формальный анализ, исследование; А.Д.Б.: концептуализация, визуализация; Б.Ж.: наблюдение, написание и редактирование; В.В.С.: Курирование данных, написание первоначального варианта, администрирование проекта. Все авторы прочитали и согласились с опубликованной версией рукописи.

Финансирование: Данное исследование не получало внешнего финансирования.

Конфликты интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Cantarero, M.M.V. Of renewable energy, energy democracy, and sustainable development: A roadmap to accelerate the energy transition in developing countries. *Energy Res. Soc. Sci.* 2020, 70, 101716. <http://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101716>
2. Bucci, A.; Eraydin, L.; Muller, M. Dilution effects, population growth and economic growth under human capital accumulation and endogenous technological change. *J. Macroecon.* 2019, 62, 103050. <http://doi.org/10.1016/j.jmacro.2018.08.003>
3. O'Sullivan, J.N. The social and environmental influences of population growth rate and demographic pressure deserve greater attention in ecological economics. *Ecol. Econ.* 2020, 172, 106648. <http://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2020.106648>

4. Xu, Z.; Li, Y.; Chau, S.N.; Dietz, T.; Li, C.; Wan, L.; Zhang, J.; Zhang, L.; Li, Y.; Chung, M.G.; et al. Impacts of international trade on global sustainable development. *Nat. Sustain.* 2020, 3, 964–971. <http://doi.org/10.1038/s41893-020-0572-z>
5. Scown, M.W. The Sustainable Development Goals need geoscience. *Nat. Geosci.* 2020, 13, 714–715. <http://doi.org/10.1038/s41561-020-00652-6>
6. Rogelj, J.; McCollum, D.; Riahi, K. The UN's 'Sustainable Energy for All' initiative is compatible with a warming limit of 2 °C. *Nat. Clim. Chang.* 2013, 3, 545–551. <http://doi.org/10.1038/nclimate1806>
7. Balogun, A.-L.; Marks, D.; Sharma, R.; Shekhar, H.; Balmes, C.; Maheng, D.; Arshad, A.; Salehi, P. Assessing the Potentials of Digitalization as a Tool for Climate Change Adaptation and Sustainable Development in Urban Centres. *Sustain. Cities Soc.* 2019, 53, 101888. <http://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101888>
8. Simsek, Y.; Santik, W.G.; Anisuzzaman, M.; Urmee, T.; Bahri, P.A.; Escobara, R. An analysis of additional energy requirement to meet the sustainable development goals. *J. Clean. Prod.* 2020, 272, 122646. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122646>
9. UN. Sustainable Energy Goals. 2020. Available online: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/> (accessed on 20 February 2021).
10. Reyers, B.; Selig, E.R. Global targets that reveal the social-ecological interdependencies of sustainable development. *Nat. Ecol. Evol.* 2020, 4, 1011–1019. <http://doi.org/10.1038/s41559-020-1230-6>
11. Buonocore, J.J.; Choma, E.; Villavicencio, A.H.; Spengler, J.D.; Koehler, D.A.; Evans, J.S.; Lelieveld, J.; Klop, P.; Sanchez-Pina, R. Metrics for the sustainable development goals: Renewable energy and transportation. *Palgrave Commun.* 2019, 5, 136. <http://doi.org/10.1057/s41599-019-0336-4>
12. Iakovleva, E.; Lavrik, A.; Leskov, A. Assessing Solar Power Plant Efficiency Degradation Resulting from Heating. *J. Ecol. Eng.* 2018, 19, 115–119. <http://doi.org/10.12911/22998993/86149>
13. BP. Energy Outlook 2020. Available online: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/energy-outlook/bp-energy-outlook-2020.pdf> (accessed on 2 February 2021).
14. McKinsey Energy Insight of Global Energy Perspective 2020. Available online: https://www.mckinsey.com/~{}media/McKinsey/Industries/Oil%20and%20Gas/Our%20Insights/Global%20Energy%20Perspective%202019/McKinsey-Energy-Insights-Global-Energy-Perspective-2019_Reference-Case-Summary.ashx (accessed on 10 February 2021).
15. Spillias, S.; Kareiva, P.; Ruckelshaus, M.; McDonald-Madden, E. Renewable energy targets may undermine their sustainability. *Nat. Clim. Chang.* 2020, 10, 974–976. <http://doi.org/10.1038/s41558-020-00939-x>
16. Sonter, L.J.; Dade, M.C.; Watson, J.E.M.; Valenta, R.K. Renewable energy production will exacerbate mining threats to biodiversity. *Nat. Commun.* 2020, 11, 1–6. <http://doi.org/10.1038/s41467-020-17928-5> <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/32873789>
17. World Economic Forum. Which Countries Could Gain the Most from Renewable Energy? 2018. Available online: <https://www.weforum.org/agenda/2018/05/these-20-water-stressed-countries-have-the-most-solar-and-wind-potential> (accessed on 1 March 2021).
18. Litvinenko, V. Digital Economy as a Factor in the Technological Development of the Mineral Sector. *Nat. Resour. Res.* 2019, 29, 1521–1541. <http://doi.org/10.1007/s11053-019-09568-4>
19. Zeppini, P.; Jeroen, C.J.M.; van den Bergh, J. Global competition dynamics of fossil fuels and renewable energy under climate policies and peak oil: A behavioral model. *Energy Policy* 2020, 136, 110907. <http://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.110907>
20. Wang, Q.; Li, S.; Pisarenko, Z. Heterogeneous effects of energy efficiency, oil price, environmental pressure, R&D investment, and policy on renewable energy – Evidence from the G20 countries. *Energy* 2020, 209, 118322. <http://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118322>
21. Brockway, P.E.; Owen, A.; Brand-Correa, L.I.; Hardt, L. Estimation of global final-stage energy-return-on-investment for fossil fuels with comparison to renewable energy sources. *Nat. Energy* 2019, 4, 612–621. <http://doi.org/10.1038/s41560-019-0425-z>
22. Bazhin, V.Y.; Nikitina, L.N.; Savchenkov, S.A. Experience of mining specialists training at the chair of process and production automation of the mining university. *Eur. Min.* 2017, 1, 42–44. <http://doi.org/10.17580/em.2017.01.11>
23. Dvoynikov, M.; Nutskova, M.; Blinov, P.A. Developments Made in the Field of Drilling Fluids by Saint Petersburg Mining University. *Int. J. Eng.* 2020, 33, 702–711. <http://doi.org/10.5829/ije.2020.33.04a.22>
24. Huynh, T.L.D.; Hille, E.; Nasir, M.A. Diversification in the age of the 4th industrial revolution: The role of artificial intelligence, green bonds and cryptocurrencies. *Technol. Forecast. Soc. Chang.* 2020, 159, 120188. <http://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120188>
25. Kishita, Y.; Mizuno, Y.; Fukushige, S.; Umeda, Y. Scenario structuring methodology for computer-aided scenario design: An application to envisioning sustainable futures. *Technol. Forecast. Soc. Chang.* 2020, 160, 120207. <http://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120207>
26. Worku, G.; Teferi, E.; Bantider, A.; Dile, Y.T. Prioritization of watershed management scenarios under climate change in the Jemma sub-basin of the Upper Blue Nile Basin, Ethiopia. *J. Hydrol. Reg. Stud.* 2020, 31, 100714. <http://doi.org/10.1016/j.ejrh.2020.100714>
27. Jefferson, M. Scenario planning: Evidence to counter 'Black box' claims. *Technol. Forecast. Soc. Chang.* 2020, 158, 120156. <http://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120156>
28. Linzenich, A.; Zaunbrecher, B.; Ziefle, M. "Risky transitions?" Risk perceptions, public concerns, and energy infrastructure in Germany. *Energy Res. Soc. Sci.* 2020, 68, 101554. <http://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101554>
29. Zhong, Q.-C. Synchronized and Democratized Smart Grids To Underpin The Third Industrial Revolution. *IFAC-PapersOnLine* 2017, 50, 3592–3597. <http://doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.08.699>
30. Soares, N.; Martins, A.; Carvalho, A.; Caldeira, C.; Du, C.; Castanheira, E.; Rodrigues, E.; Oliveira, G.; Pereira, G.I.; Bastos, J.; et al. The challenging paradigm of interrelated energy systems towards a more sustainable future. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2018, 95, 171–193. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2018.07.023>
31. Oil and Gas Industry Expansions Could Add as Much Greenhouse Gas Pollution as 50 Coal Plants by 2025; Environmental Integrity Project: Washington, DC, USA, 2020.

32. Liu, Z.; Ciais, P.; Deng, Z.; Davis, S.J.; Zheng, B.; Wang, Y.; Cui, D.; Zhu, B.; Dou, X.; Ke, P.; et al. Carbon Monitor, a near-real-time daily dataset of global CO₂ emission from fossil fuel and cement production. *Sci. Data* 2020, 7, 1–12. <http://doi.org/10.1038/s41597-020-00708-7> <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/33168822>
33. World Development Indicators Database, World Bank 2021. Available online: <https://databank.worldbank.org/source/worlddevelopment-indicators> (accessed on 12 February 2021).
34. UN. Data Sources, Country Classifications, and Aggregation Methodology. United Nations. 2020. Available online: <https://www.un.org> (accessed on 11 February 2021).
35. EIA. International Energy Outlook 2019 with Projections to 2050. U.S. Energy Information Administration. 2019. Available online: <https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/ieo2019.pdf> (accessed on 2 February 2021).
36. Umar, M.; Ji, X.; Kirikkaleli, D.; Alola, A.A. The imperativeness of environmental quality in the United States transportation sector amidst biomass-fossil energy consumption and growth. *J. Clean. Prod.* 2020, 285, 124863. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124863>
37. Pashke, M. Legal Aspects of Germany's New Energy Policy. *J. Min. Inst.* 2017, 226, 487.
38. Frenzy, F. How the Fracking Industry is Threatening the Planet 2014/Friends of the Earth Europe. 2014. Available online: http://www.foeeurope.org/sites/default/files/publications/fracking_frenzy_0.pdf (accessed on 25 February 2021).
39. EIA. Natural Gas Explained. 2020. Available online: <https://www.eia.gov/energyexplained/natural-gas/data-and-statistics.php> (accessed on 2 February 2021).
40. Nevskaya, M.; Seleznev, S.G.; Masloboev, V.A.; Klyuchnikova, E.M.; Makarov, D.V. Environmental and Business Challenges Presented by Mining and Mineral Processing Waste in the Russian Federation. *Minerals* 2019, 9, 445. <http://doi.org/10.3390/min9070445>
41. Tarazanov, I.G.; Gubanov, D.A. Results of the work of the coal industry in Russia for January–December 2020. *Coal* 2020, 3, 27–43. (In Russian).
42. FORTUM – For a Cleaner World. Fortum Investor Relations and Financial Communications. 2020. Available online: <https://www.fortum.com> (accessed on 12 February 2021).
43. Russian Export of the Most Important Goods. Federal Customs Service of the Russian Federation. 2019. Available online: <http://customs.ru> (accessed on 23 February 2021). (In Russian).
44. Statistical Yearbook of World Energy. Enerdata. 2019. Available online: <https://yearbook.enerdata.ru> (accessed on 4 February 2021). (In Russian).
45. Di Silvestre, M.L.; Favuzza, S.; Sanseverino, E.R.; Zizzo, G. How Decarbonization, Digitalization and Decentralization are changing key power infrastructures. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2018, 93, 483–498. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2018.05.068>
46. BloombergNEF. New Energy Forecast 2020. Available online: <https://about.bnef.com/new-energy-outlook/> (accessed on 25 February 2021).
47. Risse, M.; Rentyuk, V. Several steps to effective data processing from oil and gas fields. *Control Eng.* 2019, 81, 20–24.
48. High-Efficiency, Low-Emissions Coal Plants: Come HELE or HighWater/Transform. Energy Outlook. 2018. Available online: <https://www.ge.com> (accessed on 2 February 2021).
49. Sustainability Report 2018. Royal Dutch Shell. 2018. Available online: <https://reports.shell.com/sustainability-report/2018/> (accessed on 2 December 2020).
50. Global Energy Highlights 2019. Enerdata. 2020. Available online: <https://yearbook.enerdata.net> (accessed on 27 February 2021).
51. Bardanov, A.I.; Vasilkov, O.S.; Pudkova, T.V. Modeling the process of redistributing power consumption using energy storage system with various configurations to align the electrical loads schedule. In Proceedings of the International Conference on Innovations, Physical Studies and Digitalization in Mining Engineering 2020, IPDME 2020, St. Petersburg, Russia, 23–24 April 2020; Volume 1753, pp. 1–9.
52. IRENA. *Scenarios for the Energy Transition: Global Experience and Best Practices*; IRENA: Abu Dhabi, United Arab Emirates, 2020.
53. *The Global Electric Vehicle Market in 2020: Statistics & Forecasts*; Virta: Helsinki, Finland, 2020.
54. IEA. *Global EV Outlook 2019*; International Energy Agency: Paris, France, 2020.
55. IEA. World Energy Outlook 2019. Available online: <https://webstore.iea.org/world-energy-outlook-2019> (accessed on 28 February 2021).
56. Shabalov, M.Y.; Zhukovskiy, Y.L.; Buldysko, A.D.; Gil, B.; Starshaia, V.V. The influence of technological changes in energy efficiency on the infrastructure deterioration in the energy sector. *Energy Rep.* 2021, 7, 2664–2680. <http://doi.org/10.1016/j.egy.2021.05.001>
57. Shove, E. Time to rethink energy research. *Nat. Energy* 2020, 6, 118–120. <http://doi.org/10.1038/s41560-020-00739-9>
58. Zhukovskiy, Y.L.; Starshaia, V.V.; Batueva, D.E.; Buldysko, A.D. Analysis of technological changes in integrated intelligent power supply systems. Innovation-Based Development of the Mineral Resources Sector: Challenges and Prospects. In Proceedings of the 11th Russian-German Raw Materials Conference, Potsdam, Germany, 7–8 November 2018; pp. 249–258.
59. Chen, K.; Ren, Z.; Mu, S.; Sun, T.; Mu, R. Integrating the delphi survey into scenario planning for China's renewable energy development strategy towards 2030. *Technol. Forecast. Soc. Chang.* 2020, 158, 120157. <http://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120157>
60. Jones, A.W. Perceived barriers and policy solutions in clean energy infrastructure investment. *J. Clean. Prod.* 2015, 104, 297–304. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.05.072>
61. Jonek-Kowalska, I. Efficiency of Enterprise Risk Management (ERM) systems. Comparative analysis in the fuel sector and energy sector on the basis of Central-European companies listed on the Warsaw Stock Exchange. *Resour. Policy* 2019, 62, 405–415. <http://doi.org/10.1016/j.resourpol.2019.04.011>
62. Pashkevich, M.A.; Petrova, T.A. Technogenic impact of sulfide-containing wastes produced by ore mining and processing at the Ozernoe deposit: Investigation and forecast. *J. Ecol. Eng.* 2017, 18, 127–133. <http://doi.org/10.12911/22998993/76700>
63. Vaillancourt, K.; Bahn, O.; Frenette, E.; Sigvaldason, O. Exploring deep decarbonization pathways to 2050 for Canada using an optimization energy model framework. *Appl. Energy* 2017, 195, 774–785. <http://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.03.104>
64. EIA. Natural Gas-Fired Generation has Increased in Most U.S. Regions Since 2015. U.S. Energy Information Administration. 2020. Available online: <https://www.eia.gov/> (accessed on 2 February 2021).

65. Cleopatra, W.A.; André, W. Varimax Rotation Based on Gradient Projection Is a Feasible Alternative to SPSS. *Front. Psychol.* 2019, 10, 645. <http://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.00645>
66. Hew, A.; Perrons, R.K.; Washington, S.; Page, L.; Zheng, Z. Using digital technologies to deliver scenarios to geographically dispersed stakeholders: Lessons learned from the transportation sector. *Futures* 2020, 120, 102567. <http://doi.org/10.1016/j.futures.2020.102567>
67. Tcvetkov, P.; Cherepovitsyn, A.; Makhovikov, A. Economic assessment of heat and power generation from small-scale liquefied natural gas in Russia. *Energy Rep.* 2020, 6, 391–402. <http://doi.org/10.1016/j.egy.2019.11.093>
68. Coady, D.; Parry, I.; Sears, L.; Shang, B. How large are global fossil fuel subsidies? *World Dev.* 2017, 91, 11–27. <http://doi.org/10.1016/j.worlddev.2016.10.004>
69. Shell. *LNG Outlook 2019*; Shell: Hague, The Netherlands, 2020.
70. Zhukovskiy, Y.; Malov, D. Concept of Smart Cyberspace for Smart Grid Implementation. *J. Phys. Conf. Ser.* 2018, 1015, 42067. <http://doi.org/10.1088/1742-6596/1015/4/042067>
71. Lynch, C. How do your data grow? *Nature* 2008, 455, 28–29. <http://doi.org/10.1038/455028a>
72. Savage, N. The race to the top among the world's leaders in artificial intelligence. *Nature* 2020, 588, S102–S104. <http://doi.org/10.1038/d41586-020-03409-8>
73. Wetzstein, G.; Ozcan, A.; Gigan, S.; Fan, S.; Englund, D.; Soljačić, M.; Denz, C.; Miller, D.A.B.; Psaltis, D. Inference in artificial intelligence with deep optics and photonics. *Nature* 2020, 588, 39–47. <http://doi.org/10.1038/s41586-020-2973-6>
74. Vazirani, A.A.; O'Donoghue, O.; Brindley, D.; Meinert, E. Blockchain vehicles for efficient Medical Record management. *NPJ Digit. Med.* 2020, 3, 1–5. <http://doi.org/10.1038/s41746-019-0211-0>
75. Vranken, H. Sustainability of bitcoin and blockchains. *Curr. Opin. Environ. Sustain.* 2017, 28, 1–9. <http://doi.org/10.1016/j.cosust.2017.04.011>
76. Howson, P. Tackling climate change with blockchain. *Nat. Clim. Chang.* 2019, 9, 644–645. <http://doi.org/10.1038/s41558-019-0567-9>
77. Lu, H.; Guo, L.; Azimi, M.; Huang, K. Oil and Gas 4.0 era: A systematic review and outlook. *Comput. Ind.* 2019, 111, 68–90. <http://doi.org/10.1016/j.compind.2019.06.007>
78. Li, X.; Huang, Q.; Wu, D. Distributed large-scale Co-simulation for IoT-aided smart grid control. *IEEE Access* 2017, 5, 19951–19960. <http://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2753463>
79. Rao, L.; Liu, X.; Xie, L.; Pang, Z. Hedging Against Uncertainty: A Tale of Internet Data Center Operations Under Smart Grid Environment. *IEEE Trans. Smart Grid* 2011, 2, 555–563. <http://doi.org/10.1109/TSG.2011.2159523>
80. Ciavarella, S.; Joo, J.-Y.; Silvestri, S. Managing contingencies in smart grids via the Internet of Things. *IEEE Trans. Smart Grid* 2016, 7, 2134–2141. <http://doi.org/10.1109/TSG.2016.2529579>