

Неопределенность, знания и варианты будущего в Форсайт-исследованиях (на примере Индустрии 4.0)

Анджей Магрук

Старший преподаватель, a.magruk@pb.edu.pl

Белостокский технический университет (Bialystok University of Technology),
Польша, 45A, Wiejska Street, 15-351 Bialystok, Poland

Аннотация

Феномен неопределенности выступает ценным ресурсом исследований будущего, а не просто их характеристикой. Автор задается вопросом о методологической связи между степенью неопределенности, уровнями знаний и типами будущего применительно к Форсайту. Исследование опирается на результаты анализа и критику существующих источников как на основу логических построений. Предложенные автором типы будущего и градация неопределенности позволили разработать оригинальную шкалу уровней знаний. Тем самым статья охватывает три методологические области: неопределенность, Форсайт и знания. Сложную связь между ними автор анализирует сквозь призму их характеристик, что позволяет достичь значимого прогресса в развитии существующих концепций, отраженных в литературе.

По мнению автора, выводы из полученных в ходе исследования результатов могут способствовать заметному усложнению подходов к управлению будущим. С точки зрения Форсайт-методологии при управлении сложными системами (такими как Индустрия 4.0) следует определить, какими именно видами неопределенности можно управлять с помощью тех или иных методов Форсайта и какие из этих методов применимы к анализу различных типов будущего в зависимости от достигнутого уровня знаний. Полученные результаты могут оказаться полезны для методологического обеспечения проектов технологического Форсайта, а также в качестве дополнительного компонента при исследовании траекторий развития современных технологий, в частности, в рамках Индустрии 4.0.

Ключевые слова:

неопределенность; знания; будущее; Форсайт; метод; Индустрия 4.0

Цитирование: Magruk A. (2020) Uncertainties, Knowledge, and Futures in Foresight Studies — A Case of the Industry 4.0. *Foresight and STI Governance*, vol. 14, no 4, pp. 20–33. DOI: 10.17323/2500-2597.2020.4.20.33

Uncertainties, Knowledge, and Futures in Foresight Studies — A Case of the Industry 4.0

Andrzej Magruk

Assistant Professor, a.magruk@pb.edu.pl

Białystok University of Technology, 45A, Wiejska Street, 15-351 Białystok, Poland

Abstract

The main purpose of this publication is an attempt to treat phenomenon of uncertainty as the one of main research facility in future studies and not as the background for future research — by answering the following research question: “What is the methodical relation among the scope of the uncertainty phenomenon vs. levels of knowledge and types of the future in the foresight approach?”. The study uses the results of the analysis and criticism of the literature as the main research method. On this basis were performed deductive reasoning. Proposed by the author of the paper types of future and scope of uncertainty allowed to define the author’s scale of knowledge levels. This paper has attempted to draw together three methodological fields: uncertainty, foresight, and knowledge. Author analysed complex relations among above areas on the basis of their characteristic which are author’s extensions

of existing concepts available in the literature. In the author’s opinion conclusions from the results presented in the article can be a valuable contribution to the development of the area of management in the area of future management. In management of complex systems (such as Industry 4.0), from the foresight methodological point of view, it seems relevant to determine which specific uncertainties can be managed by which classes of foresight methods, and which foresight methods by what level of knowledge, will be appropriate for the analysis of a specific types of future. According to the author, the results of research presented in the publication may be used in creating research methodology of technological foresight projects and as a complementary element of research devoted to the issues of development of modern technologies, which include Industry 4.0.

Keywords:

uncertainty; knowledge; future; foresight; method;
Industry 4.0

Citation: Magruk A. (2020) Uncertainties, Knowledge, and Futures in Foresight Studies — A Case of the Industry 4.0. *Foresight and STI Governance*, vol. 14, no 4, pp. 20–33. DOI: 10.17323/2500-2597.2020.4.20.33

В начале прошлого столетия человечество пришло к осознанию того, что попытки рационализировать общественную жизнь порождают непредвиденные последствия и увеличивают неопределенность [Poli, 2017]. В 1970–1980-е гг. возникли новые подходы к изучению феномена неопределенности, особенно в области взаимодействия людей и развития сложных современных технологий (в частности, в экономике, энергетике, системном инжиниринге, менеджменте, компьютерных науках и в сфере искусственного интеллекта (ИИ)) [Smithson, 1989].

В современном мире неопределенность, возникающая на региональном, национальном и глобальном уровнях, нередко носит системный характер, будучи одним из важнейших аспектов социальной и экономической жизни, особенно в контексте управления будущим. Во многих развитых странах большой популярностью пользуется концепция «Индустрия 4.0» (*Industry 4.0*), характеризующаяся высоким уровнем неопределенности [Magruk, 2016] в силу своей новизны (впервые предложена в 2011 г.), инновационности (преобразование методов дизайна, производства, доставки и оплаты товаров [Hofmann, Rüsche, 2017]) и системного подхода (ранее не использованных масштаба и измерений). Так, развитие предпринимательства отмечено значительной неопределенностью с точки зрения вероятных последствий тех вызовов и возможностей, которые открываются в результате смещения границы между деятельностью людей и машин, включая выполняемые задачи и алгоритмы [Ansari et al., 2018]. Другой аспект неопределенности, изначально присущий Индустрии 4.0, — проблема достоверности данных, особенно «больших», генерируемых на протяжении всего процесса управления. Неопределенность сопровождает большие данные на каждом этапе их использования и имеет разные источники — от процесса сбора данных до неоднородности концепций и мультимодальности [Hariri et al., 2019].

Управление подобными системами требует сложных, инновационных исследовательских подходов (с акцентом на междисциплинарности [Соколов, Чулок, 2012]), а также разработки новых теорий менеджмента, ориентированных на будущее [Shepherd, Suddaby, 2017]. К числу таких подходов безусловно относится развитая междисциплинарная по своему характеру и проблемно-ориентированная Форсайт-методология, которая позволяет просчитывать различные сценарии будущего в зависимости от потребностей или желаемого результата [Jemala, 2010].

В конце XX в. Форсайт стал важным инструментом для решения долгосрочных проблем, связанных с риском и неопределенностью [Jenssen, 2010], которые порождены глобализацией и беспрецедентным технологическим прогрессом [Jemala, 2010].

Задача Форсайт-исследований состоит в выработке способов навигации между тревожной неопределенностью и непредсказуемостью будущего, с одной стороны, и потребностью в данных, информации и знаниях для его формирования — с другой [UNDP, 2018]. Тем не менее неопределенность пока не стала основным объектом исследований будущего, а рассматривается

лишь как их фон и контекст. Наша цель заключается в изменении такой перспективы и попытке представить неопределенность одним из ключевых аспектов исследований будущего. Для этого была предпринята оценка степени неопределенности применительно к разным уровням знаний и типам будущего, которые лежат в основе Форсайт-методологии. В отношении сложных систем (в данном случае Индустрии 4.0) необходимо определить, какие именно типы будущего и уровни знаний следует использовать для анализа неопределенности.

Методология

Основным методом исследования служат анализ и критика существующих публикаций, на базе которых осуществляется концептуальное моделирование.

Для понимания сути перемен, выявления причинно-следственных связей и планирования будущего в ходе Форсайт-исследований требуются соответствующие знания. Если выразить неопределенность через связь с желаемым результатом (что весьма характерно для Форсайт-исследований), то ее оценка будет более положительной, чем с точки зрения нежелательных последствий [Smithson, 1989]. Знания, полученные в ходе Форсайт-исследований, характеризуются высоким уровнем неопределенности и сложности, однако их качество зачастую оценивается в терминах надежности, а не точности прогнозирования каких-либо событий [Guimaraes et al., 2006].

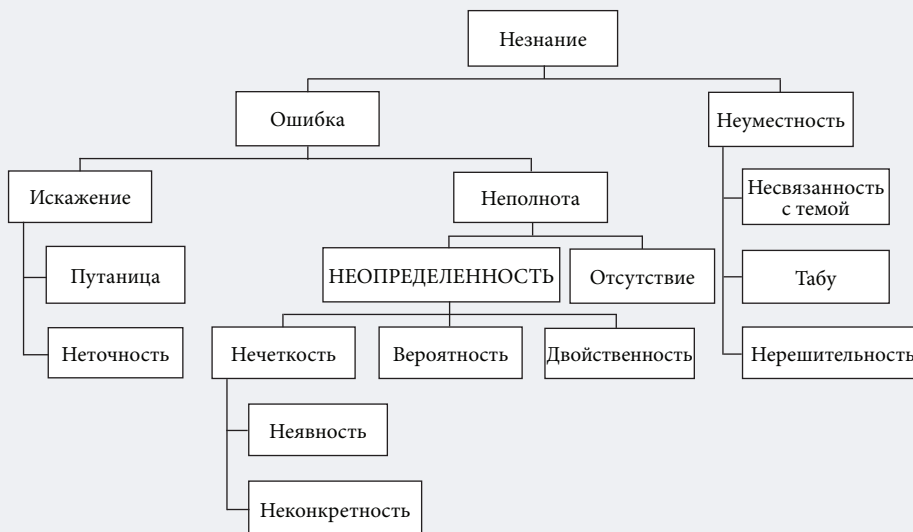
Хотя, как было отмечено выше, феномен неопределенности в Форсайт-исследованиях чаще всего выступает лишь фоном, а не основным предметом, существуют области Форсайт-методологии, в которых рассматриваемая проблема заявлена более открыто [Magruk, 2017a], такие как сценарный анализ [Ringland, 1998; Kononiuk, Nazarko, 2014], «конус будущего» (*cone of the future*) [Amara, 1974; Hancock, Bezold, 1994; Kononiuk, Nazarko, 2014; Voros, 2017], «конус неопределенности» (*cone of uncertainty*) [Magnus, 2012] и стратегический Форсайт [Courtney et al., 1997; Courtney, 2001]. Эти концепты могут служить надежной основой для изучения неопределенности в качестве самостоятельного объекта Форсайт-исследований.

В современном мире неопределенность становится результатом сложного взаимодействия самых разных сил — технологических, социальных, политических, экономических и экологических [Ringland, 1998; Chodakowska, Nazarko, 2017].

Все теории знания разграничивают знание и незнание, а большинство выделяют также знание, ощущение неполного знания и незнание в смысле ошибочных убеждений [Smithson, 1989]. В таксономии незнания [Smithson, 1989] неопределенность выступает одной из нескольких его разновидностей (рис. 1). В настоящей статье использована иная перспектива — неопределенность рассматривается как предмет исследования в привязке к разным уровням знания (в отличие от незнания).

Неопределенность можно рассматривать и с многих других позиций. Целый спектр определений (табл. 1)

Рис. 1. Таксономия незнания



Источник: [Smithson, 1989].

и типологий разработаны для самых разных целей [Walker et al., 2003; Lindley, 2013; Jalonen, 2012; van der Sluijs et al., 2004; Funtowicz, Ravetz, 1990; Magruk, 2016; Bombola, 2014; Jędralska, Czech, 2011; Wawiernia, 2013]. Список можно дополнить за счет новых сфер, связанных с уровнями знания и типами будущего.

Для целей нашей статьи неопределенность рассматривается как проистекающая из двух источников. Первый — субъективный (эпистемологический) — представляет собой результат самостоятельного получения (недостатка) знаний, необходимых для принятия решений; такая неопределенность может быть снижена с помощью дополнительных исследований [Gawel et al., 2015]. Второй — объективный (онтологический, алеаторный) — выступает следствием стохастической природы объекта исследования. Подобная неопределенность не поддается снижению [Aven, 2010], поскольку лежит в плоскости таких категорий, как существование и его формы, сущность, субъект и его свойства, причинность, время, пространство, необходимость и возможность [Nja et al., 2017].

Самопознание, требуемое для принятия решений в условиях неопределенности, охватывает три аспекта, важных с точки зрения исследования будущего [Kaivo-oja et al., 2004]: 1) знание; 2) предсказуемость; и 3) время. Знание в ситуации неопределенности выступает производным от двух компонентов — самосознания и познания мира. Проявляется это следующим образом [Atherton, 2013; Bojarski, 1981] (рис. 2):

- исследователь уверен в том, что знает: высокий уровень предсказуемости;
- исследователь знает, что ему не хватает знаний: средний уровень предсказуемости;
- исследователь не знает, что именно ему известно, или затрудняется это выразить: очень низкий уровень предсказуемости;

- исследователь не знает, что не обладает необходимыми знаниями, и ошибочно полагает, что знает достаточно: «нулевой» уровень предсказуемости.

С расширением временного горизонта возникает корреляция между ростом неопределенности и снижением предсказуемости (рис. 3). На коротком горизонте предсказуемость высока, что позволяет использовать модели прогнозирования (F). В среднесрочной перспективе уровень предсказуемости и неопределенности требует использовать сценарии и методы моделирования (S). В случае отдаленного будущего крайне высокая неопределенность при попытке предсказать развитие событий вынуждает полагаться исключительно на надежды (H) [Kaivo-oja et al., 2004].

На отдаленных временных горизонтах сложность характеристик, структур и поведения исследуемых систем

Рис. 2. Цикл знания



Источник: [Atherton, 2013].

Табл. 1. Некоторые интерпретации феномена «неопределенности»

Дисциплина	Определение	Ключевые представители
Экономическая теория	Неопределенность — субъективный показатель объективного риска; степень неопределенности — вероятность наступления некоего события	Аллан Виллетт (Allan Willett), Фрэнк Найт (Frank Knight)
Теория игр	Неопределенность возникает, когда известно лишь несколько вариантов развития событий, но неизвестна вероятность их наступления	Веслав Самецкий (Wiesław Samecki)
Квантовая физика	Неопределенность конституируется по принципу неоднозначности: возможности для одновременного и бесконечно точного измерения отдельных динамических величин фундаментально ограничены	Вернер Гейзенберг (Werner Heisenberg)
Теория систем	Неопределенность возникает из невозможности точно определить все состояния элементов больших динамических систем и их взаимосвязи в прошлом и будущем	Влодзимеж Боярский (Włodzimierz Bojarski), Ян Зеленевский (Jan Zieleniewski)
Форсайт	Важная характеристика Форсайта состоит в принятии фактора неопределенности, попытке его осознать и сделать инструментом осмысления будущего	Дана Митцнер (Dana Mietzner), Гуидо Ререг (Guido Reger), Анджела Уилкинсон (Angela Wilkinson)
Теория принятия решений	Разграничение детерминизма (уверенности), вероятности (объективной неопределенности) и нечеткости (субъективной неопределенности)	Мирослав Бережинский (Mirosław Berezinski), Джерзи Голубец (Jerzy Hołubiec)
Космология	Неопределенность возникает из сингулярности расширения Вселенной и коллапса массивных звезд	Альберт Эйнштейн, Эндрю Стромингер (Andrew Strominger), Малькольм Перри (Malcolm Perry)
Теория информации	Неопределенность следует определять как энтропию, возникающую в результате информационной перегрузки	Клод Шэннон (Claude Shannon)
Эпистемология (перспектива исследователя)	Неопределенность является прямым следствием непонимания исследователем когнитивных процессов и результатов измерения	Казимир Айдукевич (Kazimierz Ajdukiewicz)

Источник: составлено автором на основе [Janasz, 2009; Wawiernia, 2013; Samecki, 1967; Bojarski, 1981; Kononiuk, Nazarko, 2014; Berezinski, Hołubiec, 1981].

тем возрастает. Знания об этих аспектах становятся все более туманными, что усугубляет неопределенность [Magruk, 2017b].

Примером подобной сложной системы служит Индустрия 4.0 — предвестница четвертой промышленной революции и полного слияния реального мира с цифровой средой. Универсальность таких аспектов Индустрии 4.0, как интернет вещей, большие данные, межмашинное взаимодействие и киберфизические системы, интероперабельность, децентрализация и пол-

ная виртуализация, безусловно отразятся на развитии многих экономических, социальных, технологических и др. явлений. Вместе с тем, направление, сила и интенсивность этих перемен становятся все менее предсказуемыми. Так, не проработанная в полной мере концепция Индустрии 4.0 уже породила следующие ее поколения концепций — Индустрию 5.0 [Nahavandi, 2019] и Индустрию X.0 [Abood et al., 2017; Schaeffer, 2017]; это придает данной концепции высокий уровень неопределенности во многих отношениях — от степени разработанности до масштабов практического применения [Magruk, 2016].

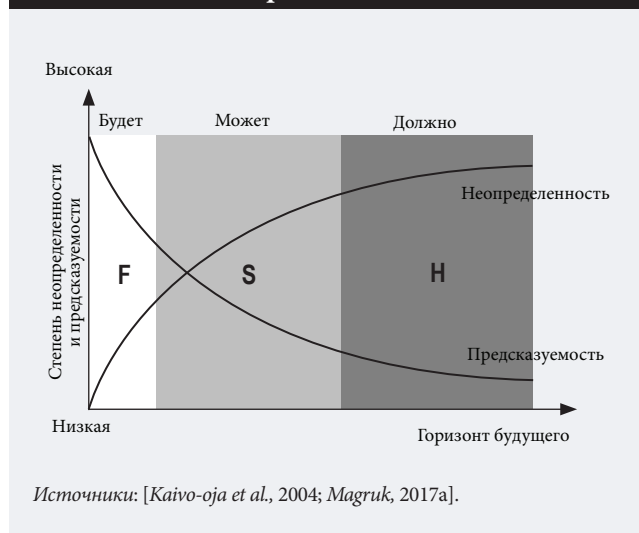
Возникновение неопределенности в контексте анализа будущего развития столь сложных систем, как Индустрия 4.0, определяется следующими факторами [Bojarski, 1981]

- множественность возможных структур, их высокая сложность и изменчивость;
- количество и сила связей внутри системы;
- недостаточное знание внешней среды;
- поведение управляющих системой лиц и институтов с точки зрения возможного нарушения ими известных правил;
- незнание новых потенциальных правил и сферы их действия;
- пределы временного горизонта.

К факторам неопределенности, специфичным для Индустрии 4.0, относятся следующие [Magruk, 2016; Cividino et al., 2019]:

- незнание новых потенциальных правил и сферы их действия;

Рис. 3. Связь предсказуемости с неопределенностью



- крайне активное взаимодействие всех субъектов, формирующих экосистему Индустрии 4.0;
- появление новых, ранее неизвестных бизнес-моделей и цепочек создания стоимости;
- интеграция новых ИТ-систем со старыми, не предназначенными для интернета вещей;
- создание рабочих мест для Индустрии 4.0, требующих новых компетенций, в том числе для роботов;
- увеличение сложности изготавливаемых деталей;
- цифровизация бизнес-процессов, выходящая за рамки отдельных предприятий и охватывающая «повсеместно всех», например, в рамках виртуальных парков.

В современную эпоху быстрых перемен неопределенность стала «новой нормой» [Schwartz, 2012]. Принятие решений в подобных условиях называют «постнормальной наукой» [Funtowicz, Ravetz, 1990]. Некоторые элементы данной концепции, характеризующие связь неопределенности и незнания [Aven, 2013], легли в основу нашего исследования.

Результаты исследования

В контексте изучения будущего и неопределенности (в частности, в Форсайт-проектах) целесообразным представляется использовать матрицу типов неопределенности, будущего и знаний (рис. 4), базовая структура которой в виде «конуса будущего» предложена Джозефом Воросом (Joseph Voros) [Voros, 2017], помимо прочего, опирающимся на работу [Hancock, Bezold, 1994]). В основу «конуса вариантов будущего и возможностей» (*cone of futures and possibilities*) легли концепты «конуса вероятности» (*cone of plausibility*) [Taylor 1990], «конуса вариантов будущего» и «матрицы незнания и неопределенности» (*ignorance and uncertainty matrix*) [Sardar, Sweeney, 2016; Candy, 2010], идея возможности, «конус света будущего» (*future light cone*) [Hawking, 1988], а также «конус неопределенности и возможностей» (*cone of uncertainty and possibilities*) [Magnus, 2012].

Чем отдаленнее временной горизонт, тем ниже качество и фундированность знаний (т. е. выше уровень незнания) и тем выше неопределенность — с точки зрения охвата и диапазона. Рост этого показателя, в частности в отношении структурной динамики наблюдаемой системы обуславливает разные типы будущего. В полностью детерминированной системе знание о ее состоянии на начальной стадии неопределенности позволяет с большой вероятностью предсказать развитие событий в будущем [Magruk, 2017b]. В недетерминированных системах прошлые и настоящие события определяют только распределение вероятности возможных в будущем состояний [Heller, 2016].

Проиллюстрированный выше подход (см. рис. 4) позволяет выявить типы неопределенности и, как следствие, управлять ею, изменяя перспективу исследования в соответствии с разными альтернативами, которые отражены в «конусе будущего» и формируют контекст изучения неопределенности. Ниже представлены характеристики ее типов применительно к уровням знаний, соответствующих различным типам будущего.

«Нулевая» неопределенность: номологическое знание vs прогнозируемое будущее

Это крайне редкая зависимость, в которой неопределенность находится на нулевом уровне, т. е. соответствует практически 100%-й уверенности и полному детерминизму (своего рода современная версия лапласовской концепции абсолютно детерминированной Вселенной [Magruk, 2017b]). О таком будущем говорят, что оно «настанет». Подобное представление тесно связано с появлением «черных слонов» (*black elephants*) [Sardar, Sweeney, 2016] — весьма вероятных и неоднократно предсказанных экспертами событий. В этих условиях знания вызывают полное доверие, носят номологический характер и основаны на фундаментальных законах, управляющих данной реальностью. Имеющееся знание характеризуется максимальной степенью осознанности. Его можно сравнить с идеями догматических философов, таких как Платон или Локк, которые искали абсолютные основания знания [Smithson, 1989].

Поверхностная неопределенность: простое знание vs спроецированное будущее

Данная разновидность неопределенности предполагает наличие некой тенденции и может быть отчасти ограничена с помощью релевантных знаний и Форсайт-инструментов. Спроецированное будущее — типичный продукт простых прогностических исследований, основанных на экстраполяции данных о прошлом [Pieriegud, 2015]. Под «простым» понимается знание, известное конкретным лицам. Степень осознанности имеющегося знания находится на высоком уровне: известно, что вы знаете, в чем не уверены и чего не знаете. Незнание и неопределенность можно снизить за счет обучения, исследований, учета альтернативных точек зрения, постановки правильных вопросов и обработки имеющейся информации для формулирования гипотез, проливающих свет на наблюдаемые явления и процессы [Sardar, Sweeney, 2016].

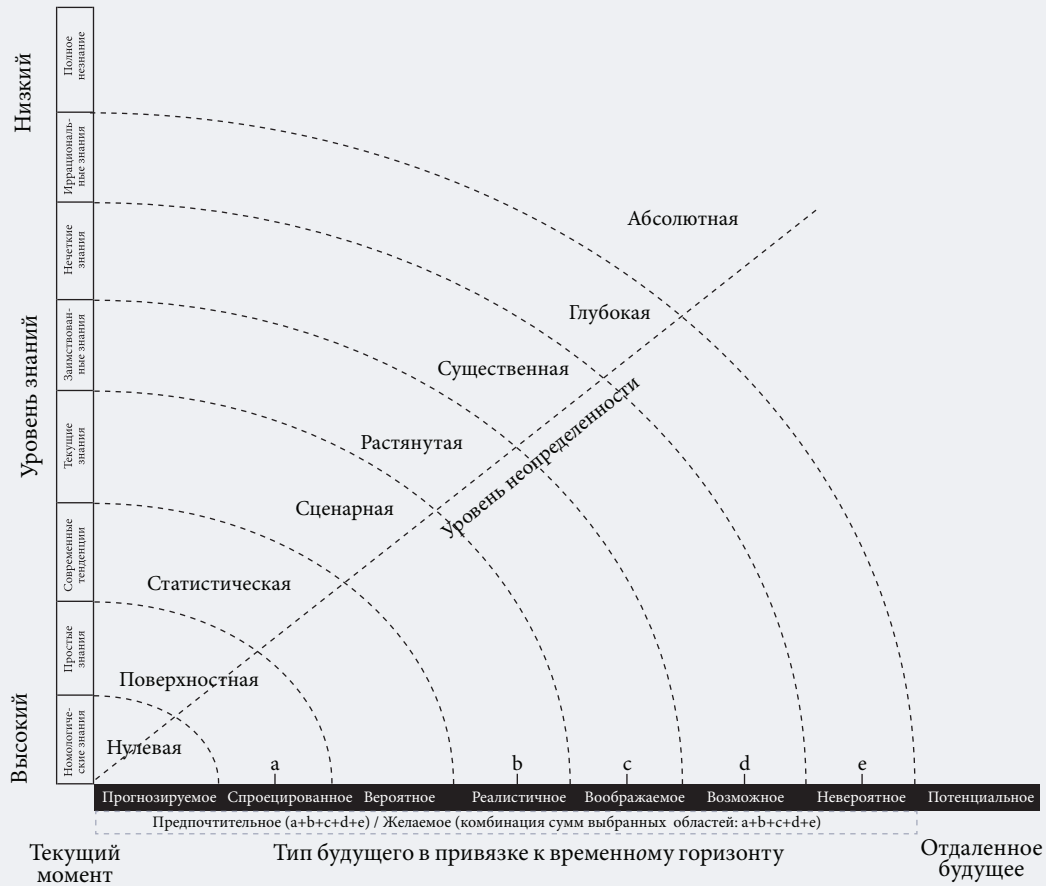
Статистическая неопределенность: текущие тенденции vs вероятное будущее

В данном случае неопределенность возникает из четко описанной функциональной связи. Уровень знаний тесно связан со степенью осознанности и информированности о текущих тенденциях и мегатрендах. При всей определенности последних, они всегда содержат некоторые элементы неопределенности. Все результаты (выраженные стохастически) и все вероятности известны [Refsgaard et al., 2012]. Такое будущее базируется на наших знаниях о нем, в которых мы вполне уверены [Larsen, 2006]. Примером статистической неопределенности служит неопределенность измерений, связанная с ошибкой выборки, неточностью или погрешностью [Walker et al., 2003].

Сценарная неопределенность: текущее знание vs реалистичное будущее

Знания основаны на актуальном уровне понимания мироустройства [Voros, 2017]. Весь спектр возможных вариантов будущего и их вероятностей здесь заведомо

Рис. 4. Матрица типов неопределенности, будущего и знаний



Источник: составлено автором.

неизвестен [Refsgaard et al., 2012]. Реалистичное будущее не предлагает прогноза развития событий, но описывает то, что может произойти [Voros, 2017; Walker et al., 2003]. Сценарная неопределенность связана с внешним (часто лишь формирующимся) окружением системы и тем влиянием, которое на нее оказывается [Walker et al., 2003]. Неопределенные сценарии допускают дискретный набор возможных следствий, однако механизмы, обуславливающие реализацию того или иного варианта, не вполне понятны, что затрудняет оценку их вероятности.

Расширенная неопределенность: заимствованное знание vs воображаемое будущее

В данном случае знания исходят из (наивного) убеждения, что предложенные кем-то решения будут соответствовать реальности. Неопределенность заключается в широком спектре альтернатив (почерпнутых из рекламы, корпоративных стратегий, популярных футурологических и научно-фантастических романов, фильмов, телепрограмм и других источников). Несмотря на столь значительный разброс, речь идет об ограниченном числе ключевых переменных. Воображаемое будущее похоже на «знакомое» (*familiar*) [Sardar, Sweeney, 2016]

и «привычное» (*used*) [Inayatullah, 2008] — из набора базовых концепций исследований будущего. Таковы чьи-то образы будущего, чье-то желаемое будущее или неосознанно заимствованные из научной литературы представления.

Существенная неопределенность: смутное знание vs возможное будущее

Определить общее направление перемен в настоящем невозможно. Будучи предельно туманными, подобные знания включают широкий спектр альтернатив и множество возможных траекторий. Вместе с тем мы можем понять, чего не знаем и что именно должны выяснить в будущем. Подобная неопределенность обусловлена общей запутанностью, хаосом и противоречивостью анализируемой информации и вызвана сложной проблемой: мы понимаем, что нам не хватает знаний; мы не знаем, чего именно не знаем, однако до некоторой степени можем это осознать [Sardar, Sweeney, 2016]. Грань между воображаемым и возможным будущим крайне зыбкая, причем различия основаны на том, что при создании образа воображаемого будущего мы опираемся на уже кем-то описанные мнимые примеры, а при фор-

мировании образа возможного будущего можем придумывать их сами.

Глубокая неопределенность: иррациональное знание vs невероятное будущее

Мы не знаем, чего не знаем, но ошибочно полагаем (основываясь на существующих парадигмах и способах познания, бытия и действия), что знаем достаточно. Такие представления выходят за рамки обыденного мышления, не позволяющего на них сфокусироваться или их обдумать. Эти знания требуют радикально новых способов осмысления. Неопределенность остается глубокой, поскольку направление, масштабы и эффект перемен носят неосознанный характер и отсутствует возможность выяснить состояние системы в силу полной неадекватности нашего мировоззрения или эпистемологии. Подобное невероятное будущее называют «непредусмотренным» [Sardar, Sweeney, 2016]. Не будучи немислимым (неожиданным или непредвиденным), оно скорее включает в себя практически бесконечное число альтернативных вариантов.

Абсолютная неопределенность: полное незнание vs потенциальное будущее

Знание находится на нулевом уровне (ситуация полного незнания) и относится к вещам, которые невозможно вообразить. «Полное незнание» нельзя отнести ни к одному из типов незнания [Smithson, 1989]. Оно выходит за рамки научного, логического, математического или иного «надлежащего» анализа. Однако тот факт, что мы не можем представить себе некое будущее, не исключает его реализации [Voros, 2017]. Абсолютная неопределенность порождена изначальной (онтологической) изменчивостью, которую невозможно снизить. Этот вид неопределенности отстаивали пирронисты — абсолютные скептики, отрицавшие существование чего-либо достоверного и точно известного, поскольку никто не воспринимает реальность адекватно и разумно [Smithson, 1989]. Потенциальное будущее остается неопределенным и «открытым», а не «фиксированным» или неизбежным [Voros, 2017].

Перечисленные категории неопределенности не всегда легко различить. Зачастую это вопрос удобства и оценки применительно к характеристикам исследуемой проблемы и наличия или отсутствия знаний в отдельно взятый момент [Walker et al., 2003].

Абсолютное будущее объекта исследования обусловлено совокупностью (суммой) всех событий (*a* или/и *b* или/и *b* или/и *b*/и *c* и/или *d* или/и *e*), с которыми человек может (но не обязательно должен) взаимодействовать. Если разделить предпочтительное будущее на подобласти *a*, *b*, *c*, *d* и *e* в привязке к соответствующим типам неопределенности и знаний, будущее становится предпочтительным только при определенной конфигурации факторов от *a* до *e*. В ходе Форсайт-исследования можно сформировать и другие комбинации факторов, определяющие желаемое будущее. В табл. 2 представлена классификация, основанная на выделении десяти методов Форсайта, которые ранее были описаны в лите-

ратуре [Magruk, 2011]. Для минимизации неопределенности в прогностических исследованиях необходимо учитывать специфику используемых методов (табл. 2), выбор которых в значительной степени зависит от типа рассматриваемого будущего и уровня обеспечиваемых ими знаний. Матрица методов, представленная в табл. 3, составлена на основе анализа характеристик различных методов Форсайта и богатого опыта участия автора в Форсайт-проектах.

Ключевым аспектом Форсайт-методологии выступает выбор эффективных методов формирования желаемого будущего [Magruk, 2013]. Представленные в табл. 3 результаты могут оказаться полезны для решения этой задачи в ситуации, когда известно, с каким будущим мы имеем дело. Помимо многочисленных факторов, влияющих на Форсайт-процесс, тип будущего может зависеть от целей исследования [Magruk, 2015]. Конкретные технологические направления, представленные в четвертой строке табл. 3, почерпнуты из «Таблицы подрывных технологий» (Table of Disruptive Technologies), составленной в рамках проекта Imperial Tech Foresight [Watson, Cupani, 2018]. Приведенные примеры технологий были ограничены временным горизонтом, установленным авторами цитируемого исследования, и наличием соответствующих знаний.

Технологии криптовалюты, упомянутые в первом столбце табл. 3, служат ответом на потребность четвертой промышленной революции в открытом безграничном платежном протоколе, одним из наиболее популярных форматов которого выступает биткойн [Gil-Pulgar, 2016]. Продуктивными Форсайт-методами в данном случае представляются интервью, экспертные панели, прогнозы гениев, анализ мегатрендов, эссе, обзор литературы. Первые три метода рекомендованы основателем и исполнительным председателем Всемирного экономического форума Клаусом Швабом (Klaus Schwab), по мнению которого, блокчейн и биткойны находятся «в сердце» Индустрии 4.0 [Gil-Pulgar, 2016]. Связка «нулевая неопределенность, номологическое знание и прогнозируемое будущее» представляется вполне корректной для данной технологии.

В число ключевых технологических компонентов Индустрии 4.0 наряду с носимыми устройствами (например, умными очками), приложениями дополненной реальности, системами распределенного бухгалтерского учета (блокчейн и др.) и аналитикой больших данных, входят также автономные транспортные средства, в том числе мультиагентные системы (второй столбец табл. 3). Согласно наукометрическим и кабинетным исследованиям (рекомендуемые Форсайт-методы этой группы) беспилотный транспорт важен для Индустрии 4.0 в двух отношениях: внутренние перевозки (например, роботы для разгрузки прицепов или комплектации деталей на «умных фабриках») и внешнее транспортное сообщение (например, автономные грузовики и дроны). Поверхностная неопределенность, характерная для этой части таблицы, отражает ряд описанных в литературе тенденций [Hermann et al., 2016; Hofmann, Rüscher, 2017; Lom et al., 2016].

Табл. 2. Классификация методов Форсайт-исследований

Класс	Форсайт-методы
Консультативные	Голосование, опросы, обследования, интервью, экспертные панели, эссе, конференции, семинары, общественные группы, мозговой штурм
Креативные	Джокеры, диаграммы связей, латеральное мышление, «колесо будущего», ролевые игры, деловые стратегические игры, синектический метод, спекулятивное письмо (<i>speculative writing</i>), визуализация, метафоризация, инверсия допущений
Прескриптивные	Дерева релевантности, морфологический анализ, детализированные картины, картирование разногласий, картирование будущего, ретрополяция, матрица социально-ответственного инвестирования (<i>socially responsible investing, SRI</i>), анализ научной фантастики, инкастинг, прогнозы гениев, биографии будущего, теория решения изобретательских задач (ТРИЗ), история будущего, альтернативная история
Мульти-критериальные	Ключевые технологии, анализ исходных данных, анализ миграции, анализ shift-share, оценка охвата данных, факторный анализ, анализ корреспонденции, кластерный анализ, анализ чувствительности, аналитическая иерархия процессов, анализ затрат и результатов, приоритизация, простая мультиатрибутивная техника ранжирования (Simple Multi-Attribute Rating Technique, SMART), методология быстрых платформенных инноваций (Platform Rapid Innovation Methodology, PRIME), мультикритериальное принятие решений (Multiple-Criteria Decision-Making, MCDM)
Радарные	Наукометрия, вебометрия, патентный анализ, библиометрия, технологическое замещение, анализ S-кривой, картирование технологий, метод аналогий
Моделирование	Дерева вероятности, экстраполяция трендов, анализ длинных волн, использование индикаторов, стохастическое прогнозирование, деревья классификации, моделирование и симуляция, динамика систем, агентное моделирование
Диагностические	Объектная симуляция, анализ силового поля, словесный ромб, SWOT-анализ, STEEPVL-анализ, институциональный анализ, модель «демография – экология – управление – экономика – общество – технологии» (Demographics – Environment – Governance – Economics – Society – Technology, DEGEST), метод проб и ошибок, анализ требований, теория ограничений, управление проблемами, контрастный анализ технических объектов (ANaliza Kontrastowa Obiektow Technicznych (ANKOT) — польск., Contrastive Analysis of Technical Subjects)
Аналитические	Индекс «Состояние будущего» (SOFI), анализ заинтересованных сторон, анализ перекрестного воздействия, анализ эффекта трендов, структурный анализ, анализ мегатрендов, анализ критического воздействия, технологический барометр, анализ издержек и выгод, технологическая разведка, технологическая вахта, анализ устойчивости, сканирование окружающей среды, контент-анализ, анализ видов и последствий отказов (FMEA), анализ рисков, бенчмаркинг
Обследование	Веб-исследования, кабинетные исследования, оценка технологий, анализ социальных сетей, обзор литературы, слабые сигналы, ретроспективный анализ, макроисторический подход, анализ «зеркала заднего вида»
Стратегические	Технологические дорожные карты, позиционирование технологий, метод Дельфи, сценарный подход, оценка социального эффекта, скрининг робастных портфельных моделей (Robust portfolio models, RPM), технологическое сканирование, оценка множественных перспектив, анализ каузальных слоев, метод Гавайской школы Мапоа, практическое обучение

Источник: [Magruk, 2011].

Что касается третьего столбца табл. 3, связанного с веб-исследованиями, то, по данным ведущей европейской организации в сфере цифровых инноваций и предпринимательского образования EIT Digital и иных статистических исследований, компаньоны-аватары (например, чат-боты, инженерные ассистенты) все глубже проникают как на потребительский рынок, так и в промышленность. Растет интерес к использованию чат-ботов для поддержки совместной деятельности людей и машин в рамках производственных процессов (некоторые компании, например IBM, считают это шагом в направлении Индустрии 4.0 [Saracco, 2018; Jassova, 2019]). В рамках Индустрии 4.0 анализ данных, выполненный аватаром чат-ботом, поможет оперативно выявить возникающие сбои, а результаты такого анализа легко конвертируются в формат, понятный не только машине, но и людям [Voker, 2019].

Четырехмерные, или «умные», материалы (четвертый столбец табл. 3) создаются в ходе так называемого аддитивного производства и пока находятся на ранней стадии разработки («текущие знания» применительно к табл. 3). В отличие от трехмерных материалов, которые в настоящее время активно используются для развития Индустрии 4.0, четырехмерные получают дополни-

тельное измерение «времени/памяти». Использование подобных материалов в рамках Индустрии 4.0 обеспечивает такие полезные функции, как возможность реконфигурации печатной структуры и получение желаемых свойств материала с течением времени («текущие знания» применительно к табл. 3). К числу секторов, в которых могут применяться четырехмерные материалы (с учетом сценарной неопределенности), относятся производство медицинской техники и оборудования, швейная и ювелирная промышленность, энергетика, «мягкая» робототехника и космическая промышленность [Dilberoglu et al., 2017].

Концепция «роевой робототехники» (пятый столбец) базируется на применении множества (десятков и сотен) простых машин для выполнения сложных задач. На основе простых правил локального взаимодействия рои роботов формируют надежные, масштабируемые и гибкие стратегии коллективного поведения для координации совместных действий. Пробразом для роевой организации роботов (как и в случае биомимикрии [Passino, 2005]) обычно служат самоорганизующиеся природные системы — колонии муравьев, пчел, птиц, рыб и т. п. («заимствованные знания»). Потенциал роевой робототехники применительно

Табл. 3. Матрица Форсайт-методов в зависимости от типов будущего, неопределенности и знаний (с примерами технологий Индустрии 4.0)

ТИП БУДУЩЕГО	Время →								
	Прогнозируемое (а)	Спрогнозированное (а)	Вероятное (а)	Реалистичное (б)	Вообразимое (с)	Возможное (е)	Невероятное (е)	Потенциальное	Предпочитаемое/желаемое
УРОВЕНЬ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ	Нулевая	Поверхностная	Статистическая	Сценарная	Расширенная	Существенная	Глубокая	Абсолютная	Комбинация видов неопределенности
УРОВЕНЬ (ОСОЗНАНОСТИ) ЗНАНИЙ	Номологические знания	Простые знания	Современные тенденции	Текущие знания	Заимствованные знания	Смутные знания	Иррациональные знания	Полное незнание	Совокупность экспертных знаний
ПРИМЕРЫ ТЕХНОЛОГИЙ ИНДУСТРИИ 4.0	Криптовалюты	Беспилотная доставка	Компаньоны-аватары	Четырехмерные материалы	Роевая робототехника	Технологии улучшения человека	Искусственное сознание	?	Инновационные технологии
КЛАССЫ ФОРСАЙТ-МЕТОДОВ	ПРИМЕРЫ ФОРСАЙТ-МЕТОДОВ, СООТВЕТСТВУЮЩИХ ТИПАМ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ, БУДУЩЕГО И УРОВНЯМ (ОСОЗНАНОСТИ) ЗНАНИЙ								
Консультативные	Экспертные панели		Обследования	Конференции	Интервью	Семинары	Эссе	Экспертные панели	Комбинация выбранных методов, относящихся к разным классам
Креативные		Диаграммы связей	Колесо будущего	Метафоризация	Визуализация	Джокеры	Спекулятивное письмо		
Прескриптивные	Прогнозы гениев	ТРИЗ	Морфологический анализ	Деревья релевантности	Картирование будущего	Подробные картины	Альтернативная история, научная фантастика	Прогнозы гениев	
Мультикритериальные		Аналитическая иерархия процессов	Анализ охвата данных	Ключевые технологии	Кластерный анализ				
Радарные	Четырехмерные материалы	Наукометрия	Вебометрия	Картирование технологий				Метод аналогий	
Моделирование		Экстраполяция трендов	Деревья вероятности, стохастическое прогнозирование	Деревья классификации	Моделирование и симуляция		Анализ длинных волн	Динамика систем	
Диагностические		STEERPV	Анализ силового поля	SWOT, DEGEST	Объектная симуляция				
Аналитические	Анализ мегатрендов	Анализ перекрестного воздействия	Анализ эффекта трендов	Контент-анализ	Бенчмаркинг			Технологическая вахта, сканирование окружающей среды	
Обследование	Обзор литературы	Кабинетные исследования	Веб-исследования	Оценка технологий	Анализ соцсетей	Слабые сигналы	Макроисторический подход		
Стратегические		Технологическое сканирование	Метод Дельфи	Сценарный подход	Дорожные карты	MANOA	Скрининг розничных цен		

Источник: составлено автором.

к идее Индустрии 4.0 основан на модульных решениях, например, в виде машин, изменяющих свою форму, как в фильме «Терминатор» (вообразимое будущее), или программируемых материалов как альтернативы 3D-печати. Преимущество роевых роботов состоит в их автономности и возможности координировать выполнение поставленных задач. Если небольшая группа роботов выйдет из строя, это не повлечет за собой автоматического срыва всей задачи. Впрочем, данная идея

порождает множество проблем алгоритмического, технического и финансового характера. Невозможность централизованно контролировать роевых роботов и/или отсутствие у них доступа к глобальным базам знаний [Brambilla et al., 2013] также ставят под вопрос развитие этой технологии в контексте Индустрии 4.0 (растянутая неопределенность).

Технологии улучшения человека (шестой столбец) обеспечивают высокий уровень симбиоза машин и

живых организмов (например, подключение человеческого мозга к глобальным и иным базам данных через интернет). Некоторые визионеры предсказывают, что подобная интеграция станет возможной благодаря достижениям генетики, кибер-, нано- и биотехнологий, ИИ и других сегментов [McIntosh, 2010]. В этом аспекте концепция Индустрии 4.0 полностью соответствует идее «паутины вещей» (Web 4.0) [Muller, 2008]. Такая картина будущего предрекает [Sarowski, 2017]:

- высокоразвитый симбиоз и взаимодействие человека с машинами;
- сетевую интеграцию практически всех устройств, благодаря полной реализации концепции интернета вещей;
- новый тип коммуникаций как между людьми и предметами, так и напрямую между последними.

Значительная неопределенность, характерная для смутных знаний и потенциального будущего, сопряжена с идеей создания нового поколения (сверх)людей путем выхода на новый уровень эволюции. Сопряженная со множеством критических проблем в области безопасности, данная идея требует применения таких методов Форсайта, как джокеры, детализированные картины и слабые сигналы. Согласно этой концепции, человек сохранит свою значительную роль, несмотря на повсеместное проникновение технологий, как в концепции Индустрии 5.0 [Skobelev, Borovik, 2017; Guttman et al., 2017].

Под «искусственным сознанием» (*artificial consciousness*) понимается способность интеллектуальных машин конкурировать с человеческим разумом, что пока остается уделом научной фантастики. Речь идет о ситуации глубокой неопределенности, иррационального во многих отношениях знания и невероятного будущего. Этот подход поднимает следующие философские вопросы: могут ли компьютеры мыслить? является ли сознание исключительной прерогативой человека? может ли компьютерное оборудование воспроизводить сознание? (аспект, считающийся наименее доступным для ИИ [Chrisley, 2008]). Трудности при попытке ответить на такие вопросы вызваны тем, что это требует знаний из самых разных областей, включая информатику, нейрофизиологию, философию и религию [Buttazzo, 2001]. Релевантными поэтому оказываются такие методы Форсайта, как эссе, спекулятивное письмо, альтернативная история, анализ научной фантастики и макроисторический подход. В контексте развития Индустрии 4.0 искусственное сознание полностью соответствует идее пятого поколения интернета — «паутины мыслей» (*web of thoughts*), опирающейся на целый спектр технологий, включая коллективный разум, искусственный мозг, цифровую ауру, которые открывают путь целенаправленному адаптивному поведению автономных роботов как морфологическому выражению их материального субстрата [Cardon, 2006]. Роль человеческого фактора в данном случае сводится к нулю.

В последнем столбце табл. 3 приведены комбинации методов для соответствующих классов в зависимости от типа желаемого будущего, определяемого сочетани-

ем областей *a, b, c, d* и *e*. Разновидностью желаемого будущего выступает предпочтительное будущее как сумма всех областей ($a + b + c + d + e$). Другие комбинации (включающие две, три или четыре области) образуют желаемое будущее. Всего возможны 25 комбинаций типов будущего, однако общее число возможных вариаций Форсайт-методов огромно. Например, сочетание любых шести из 116 выделенных методов дает более 3 млрд комбинаций [Magruk, 2013].

Обсуждение

Выделенные исходя из анализа профильной литературы типы будущего (прогнозируемое, спроецированное, вероятное, реалистичное, воображаемое, возможное, невероятное и потенциальное) и уровни неопределенности (нулевая, поверхностная, статистическая, сценарная, расширенная, существенная, глубокая и абсолютная) позволили разработать оригинальную шкалу уровней знания: номологическое; простое; отражающее актуальные тенденции; основанное на современных знаниях; заимствованное; смутное (относящееся к будущим знаниям); иррациональное; полное незнание.

Предложенная матрица типов неопределенности, будущего и знаний имеет ряд отличий от модели Вороса:

- предложен новый тип будущего — «воображаемое будущее»;
- предпочтительное будущее сегментировано на подобласти *a, b, c, d* и *e* в зависимости от типов неопределенности и знаний; будущее становится предпочтительным только при определенной конфигурации факторов в виде сочетания (суммы) указанных областей (от *a* до *e*), а в других вариациях остается желаемым (в терминах Форсайт-исследований).

Столь схематичный подход позволяет дать убедительный (хотя и упрощенный) ответ на вопрос о том, какие уровни неопределенности и знания определяют выбор методов для Форсайт-исследования. Предложенная методология представляется перспективной по нескольким причинам. С одной стороны, она позволяет выполнять фундаментальные исследования и глубокий теоретический анализ, с другой — вносит вклад в развитие Форсайт-методологии в целом, позволяя эффективно выявлять новые сложные феномены в стадии формирования, такие как Индустрия 4.0. К другим областям, заслуживающим методологического анализа в контексте исследований будущего, неопределенности и знаний, относятся «интернет всего», Индустрия X.0, Индустрия/Web 5.0, «сильный ИИ» и др.

Заключение

Адаптация Форсайт-методов, относящихся к разным классам (и/или их комбинации), к конкретным типам будущего позволяет управлять неопределенностью, а не рассматривать ее лишь в качестве неявного фона Форсайт-исследований.

В статье предпринята попытка объединить три методологические области: неопределенность, Форсайт и знание. Сложная взаимосвязь между ними рассмотрена сквозь призму их характеристик, в чем и состоит оригинальный вклад в развитие представленных в литературе концепций. Выявленная тесная взаимосвязь свидетельствует о достижении поставленной задачи исследования.

Принципиальный аспект Форсайт-методологии состоит в выборе адекватных методов исследования для формирования желаемого будущего. Представленные в статье результаты позволят улучшить механизм выбора оптимальных Форсайт-методов в ситуации, когда известны тип будущего, уровень неопределенности и уровень знаний, с которыми мы имеем дело.

Библиография

- Соколов А., Чулок А. (2012) Долгосрочный прогноз научно-технологического развития России на период до 2030 года: ключевые особенности и первые результаты // Форсайт. Т. 6. № 1. С. 12–25.
- Abood D., Quilligan A., Narsalay R. (2017) *Industry X.0 Combine and Conquer: Unlocking the Power of Digital*. Dublin: Accenture. Режим доступа: <https://www.accenture.com>, дата обращения 11.12.2019.
- Amara R. (1974) The futures field: Functions, forms, and critical issues // *Futures*. Vol. 6. № 4. P. 289–301. DOI:10.1016/0016-3287(74)90072-X.
- Ansari F., Erol S., Sihn W. (2018) Rethinking Human-Machine Learning in Industry 4.0: How Does the Paradigm Shift Treat the Role of Human Learning? // *Procedia Manufacturing*. Vol. 23. P. 117–122.
- Atherton J.S. (2013) Doceo. Knowing and not knowing. Режим доступа: <http://www.doceo.org.uk/tools/knowning.htm>, дата обращения 25.09.2019.
- Aven T. (2010) On how to define, understand and describe risk // *Reliability Engineering and System Safety*. Vol. 95. № 6. P. 623–631.
- Aven T. (2013) Practical implications of the new risk perspectives // *Reliability Engineering and System Safety*. № 115. P. 136–145.
- Bereziński M., Hołubiec J. (1981) Podejmowanie decyzji w warunkach niepewności informacyjnej [Decision making under conditions of information uncertainty] // *Metody modelowania i optymalizacji systemów energetycznych w warunkach niepewności* [Methods for modeling and optimization of energy systems in conditions of uncertainty] / Ed. W. Bojarski. Wrocław: PAN, Ossolineum. P. 64–78 (in Polish).
- Bojarski W. (1981) Zagadnienia nieokreśloności wielkich systemów i niepewności [Indeterminacy issues of great systems and uncertainties] // *Metody modelowania i optymalizacji systemów energetycznych w warunkach niepewności* [Methods of modeling and optimization of energy systems under uncertainty] / Ed. W. Bojarski. Wrocław: PAN, Ossolineum. P. 7–28 (in Polish).
- Boker A. (2019) Industry 4.0: How Chatbot Data Analytics are Helping to Shape the Internet of Things within Telecommunications. Режим доступа: <https://www.glassboxdigital.com/learn-about-chatbot-data-analytics/>, дата обращения 01.10.2019.
- Bombola P. (2014) Uogólniona niepewność zewnętrzna i wewnętrzna [General external and internal uncertainty] // *Ekonomia i Zarządzanie*. Vol. 6. № 1. P. 127–141 (in Polish).
- Brambilla M., Ferrante E., Birattari M., Dorigo M. (2013) Swarm robotics: A review from the swarm engineering perspective // *Swarm Intelligence*. Vol. 7. № 1. P. 1–41.
- Buttazzo G. (2001) Artificial consciousness: Utopia or real possibility? // *Computer*. Vol. 34. № 7. P. 24–30.
- Candy S. (2010) *The futures of everyday life: Politics and the design of experiential scenarios*. Honolulu, HI: University of Hawaii at Manoa.
- Cardon A. (2006) Artificial consciousness, artificial emotions, and autonomous robots // *Cognitive Processing*. Vol. 7. № 4. P. 245–267.
- Chodakowska E., Nazarko J. (2017) Environmental DEA method for assessing productivity of European countries // *Technological and Economic Development of Economy*. Vol. 23. № 4. P. 589–607.
- Chrisley R. (2008) Philosophical foundations of artificial consciousness // *Artificial Intelligence in Medicine*. Vol. 44. № 2. P. 119–137.
- Cividino S., Egidi G., Zamboni I., Colantoni A. (2019) Evaluating the Degree of Uncertainty of Research Activities in Industry 4.0 // *Future Internet*. Vol. 11. № 9. Article 196. P. 1–21. Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/335765945_Evaluating_the_Degree_of_Uncertainty_of_Research_Activities_in_Industry_40/fulltext/5d7a43fca6fdcca980e1bbd6/Evaluating-the-Degree-of-Uncertainty-of-Research-Activities-in-Industry-40.pdf, дата обращения 24.01.2020.
- Courtney H. (2001) *20/20 Foresight: Crafting strategy in an uncertain world*. Boston, MA: Harvard Business Press.
- Courtney H., Kirkland J., Vigerie P. (1997) Strategy under Uncertainty // *Harvard Business Review*. Vol. 75. № 6. P. 67–79.
- Dilberoglu U.M., Gharehpapagh B., Yaman U., Dolen M. (2017) The role of additive manufacturing in the era of industry 4.0 // *Procedia Manufacturing*. Vol. 11. P. 545–554.
- Funtowicz S.O., Ravetz J.R. (1990) *Uncertainty and quality in science for policy*. Heidelberg, New York, Dordrecht, London: Springer Science & Business Media.
- Gaweł B., Rębiasz B., Skalna I. (2015) Teoria prawdopodobieństwa i teoria możliwości w podejmowaniu decyzji inwestycyjnych [Probability theory and possibility theory in investment decision making] // *Studia Ekonomiczne*. Vol. 248. P. 62–79 (in Polish).
- Gil-Pulgar J. (2016) Bitcoin: Welcome to the Fourth Industrial Revolution. Режим доступа: <https://news.bitcoin.com/bitcoin-fourth-industrial-revolution/>, дата обращения 15.10.2019.
- Guimaraes Pereira A., von Schomberg R., Funtowicz S. (2006) Foresight knowledge assessment // *International Journal of Foresight and Innovation Policy*. Vol. 3. № 1. P. 53–75.
- Guttman U., Papst J., Merlo R., Kane D., Bieser G., Grob O. (2017) *Industry 4.0: What's Next. An SAP Point of View*. SAP White Paper. Режим доступа: <https://www.sap.com/documents/2017/05/bae613d3-b97c-0010-82c7-eda71af511fa.html>, дата обращения 23.01.2020.

- Hancock T., Bezold C. (1994) Possible futures, preferable futures // *Healthcare Forum Journal*. Vol. 37. № 2. P. 23–29.
- Hariri R.H., Fredericks E.M., Bowers K.M. (2019) Uncertainty in big data analytics: Survey, opportunities, and challenges // *Journal of Big Data*. Vol. 6. № 1. Article 44 (online). Режим доступа: <https://www.springerprofessional.de/content/pdfid/16778576/10.1186/s40537-019-0206-3>, дата обращения 24.01.2020.
- Hawking S.W. (1988) *A Brief History of Time: From the Big Bang to Black Holes*. New York: Bantam Dell Publishing Group.
- Heller M. (2016) *Filozofia przypadku [Philosophy of Chance]*. Kraków: Copernicus Center Press (in Polish).
- Hermann M., Pentek T., Otto B. (2016) Design principles for industrie 4.0 scenarios // *Proceedings of the 2016 49th Hawaii international conference on system sciences (HICSS)*. Piscataway, NJ: IEEE. P. 3928–3937.
- Hofmann E., Rüsç M. (2017) Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics // *Computers in Industry*. Vol. 89. P. 23–34.
- Inayatullah S. (2008) Six pillars: Futures thinking for transforming // *Foresight*. Vol. 10. № 1. P. 4–21.
- Jalonen H. (2012) The Uncertainty of Innovation: A Systematic Review of the Literature // *Journal of Management Research*. Vol. 4. № 1. P. 1–47. DOI: 10.5296/jmr.v4i1.1039.
- Janasz K. (2009) Ryzyko i niepewność w gospodarce — wybrane aspekty teoretyczne [Risk and Uncertainty in Economy — Chosen Theoretical Aspects] // *Studia i Prace Wydziału Nauk Ekonomicznych i Zarządzania*. Vol. 14. P. 87–98 (in Polish).
- Jassova B. (2019) Chatbot Statistics Compilation 2019: The State of Market & Business Opportunities. Режим доступа: <https://landbot.io/blog/chatbot-statistics-compilation/>, дата обращения 29.09.2019.
- Jędralska K., Czech A. (2011) O naturze niepewności i jej interpretacjach [The nature of uncertainty and its interpretations] // *Master of Business Administration*. Vol. 19. № 3. P. 9–18 (in Polish).
- Jemala M. (2010) Evolution of foresight in the global historical context // *Foresight*. Vol. 12. № 4. P. 65–81.
- Jenssen S. (2010) *Foresight between uncertainty and convention: An ethnographic study of research policy foresight at the Research Council of Norway (PhD thesis)*. Oslo: University of Oslo.
- Kaivo-oja J.Y., Katko T.S., Seppala O.T. (2004) Seeking convergence between history and futures research // *Futures*. № 36. P. 527–547.
- Kononiuk A., Nazarko J. (2014) *Scenariusze w antycypowaniu i kształtowaniu przyszłości [Scenarios for anticipating and shaping the future]*. Warszawa: Wolters Kluwer (in Polish).
- Larsen S.C. (2006) The Future's Past: Politics of Time and Territory among Dakelh First Nations in British Columbia // *Geografiska Annaler: Series B, Human Geography*. Vol. 88. № 3. P. 311–321. Режим доступа: <https://doi.org/10.1111/j.1468-0459.2006.00224.x>, дата обращения 19.01.2020.
- Lindley D.V. (2013) *Understanding Uncertainty*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc.
- Lom M., Pribyl O., Svitek M. (2016) Industry 4.0 as a part of smart cities // *Proceedings of the 2016 Smart Cities Symposium Prague (SCSP)*, 26–27 May 2016 / Ed. M. Koukol. Piscataway, NJ: IEEE. P. 22–27.
- Magnus S. (2012) Exploratory or normative: New show. *Adventure future* // *Stephmag*. 27.02.2012. Режим доступа: <http://adventurefuture.wordpress.com/2012/02/27/exploratory-or-normative-new-show/>, дата обращения 14.10.2019.
- Magruk A. (2011) Innovative classification of technology foresight methods // *Technological and Economic Development of Economy*. Vol. 17. № 4. P. 700–716.
- Magruk A. (2013) Hybrid concept in foresight methodology. Paper presented at The XXIV ISPIM Conference — Innovating in Global Markets: Challenges for Sustainable Growth in Helsinki, Finland, 16–19 June 2013. Режим доступа: <https://search.proquest.com/openview/bc729a2c014ecc2e2b45d0704766d8eb/1?pq-origsite=gscholar&cbl=1796422>, дата обращения 16.01.2020.
- Magruk A. (2015) The Most Important Aspects of Uncertainty in the Internet of Things Field — Context of Smart Buildings // *Procedia Engineering*. Vol. 122. P. 220–227. DOI: 10.1016/j.proeng.2015.10.028.
- Magruk A. (2016) Uncertainty in the sphere of the industry 4.0 — potential areas to research // *Business, Management and Education*. Vol. 14. № 2. P. 275–291.
- Magruk A. (2017a) Concept of uncertainty in relation to the foresight research // *Engineering Management in Production and Services*. Vol. 9. № 1. P. 46–55.
- Magruk A. (2017b) Phenomenon of Uncertainty in the Process of Holistic Anticipation of Non-deterministic Reality // *Procedia Engineering*. Vol. 182. P. 434–442.
- McIntosh D. (2010) The transhuman security dilemma // *Journal of Evolution and Technology*. Vol. 21. № 2. P. 32–48.
- Muller N. (2008) *The Web Expansion. From Web of Things to Web of Thoughts*. Режим доступа: www.trendone.de, дата обращения 21.10.2019.
- Nahavandi S. (2019) Industry 5.0 — A Human-Centric Solution // *Sustainability*. Vol. 11. № 16. Article 4371. P. 1–13. Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/335148344_Industry_50-A_Human-Centric_Solution, дата обращения 24.01.2020.
- Njå O., Solberg Ø., Sverre Braut G. (2017) Uncertainty — Its Ontological Status and Relation to Safety // *The Illusion of Risk Control. What Does it Take to Live With Uncertainty?* / Eds. G. Motet, C. Bieder. Heidelberg, New York, Dordrecht, London: Springer. P. 5–21. Режим доступа: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-32939-0_2, дата обращения 19.12.2019.
- Passino K.M. (2005) *Biomimicry for optimization, control, and automation*. Heidelberg, New York, Dordrecht, London: Springer Science & Business Media.
- Pieriegud J. (2015) Wykorzystanie megatrendów do analizy przyszłościowego rozwoju sektorów gospodarki [Using megatrends to analyse the future development of economic sectors] // *Megatrendy i ich wpływ na rozwój sektorów infrastrukturalnych [Megatrends and their impact on the development of infrastructure sectors]* / Eds. J. Gajewski, W. Paprocki, J. Pieriegud. Gdańsk: Instytut Badań nad Gospodarką Rynkową — Gdańska Akademia Bankowa. P. 8–25 (in Polish).
- Poli R. (2017) *Introduction to Anticipation Studies*. Vol. 1. Heidelberg, New York, Dordrecht, London: Springer International Publishing.

- Refsgaard J.C., Arnbjerg-Nielsen K., Drews M., Halsnaes K., Jeppesen E., Madsen H., Markandya A., Olesen J.E., Porter J.R., Christensen J.H. (2013) The role of uncertainty in climate change adaptation strategies — A Danish water management example // *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*. Vol. 18. № 3. P. 337–359.
- Ringland G. (1998) *Scenario planning: Managing for the future*. Chichester: John Wiley & Sons.
- Samecki W. (1967) *Ryzyko i niepewność w działalności przedsiębiorstwa przemysłowego [Risks and uncertainties in the activity of an industrial enterprise]*. Warszawa: Państwowe Wydawnictwo Ekonomiczne (in Polish).
- Saracco R. (2018) *Disruptive Technologies beyond 2030 for Human Machine Interactions*. Режим доступа: <https://cmte.ieee.org>, дата обращения 18.10.2019.
- Sardar Z., Sweeney J.A. (2016) The three tomorrows of postnormal times // *Futures*. Vol. 75. P. 1–13.
- Sarowski Ł. (2017) Od Internetu Web 1.0 do Internetu Web 4.0-ewolucja form przestrzeni komunikacyjnych w globalnej sieci [From Internet web 1.0 to Internet web 4.0 — the development of the communication space forms in the global network] // *Rozprawy Społeczne*. Vol. 11. № 1. P. 32–39 (in Polish).
- Schaeffer E. (2017) *Industry X.0: Realizing digital value in industrial sectors*. Munchen: Redline Verlag.
- Schwartz P. (2012) *Winning in an Uncertain Future through Scenario Planning // Delivering Tomorrow, Logistics 2050, A Scenario Study*, Bonn: Deutsche Post AG. P. 27–33.
- Shepherd D.A., Suddaby R. (2017) Theory building: A review and integration // *Journal of Management*. Vol. 43. № 1. P. 59–86.
- Skobelev P.O., Borovik S.Y. (2017) On the way from Industry 4.0 to Industry 5.0: From digital manufacturing to digital society // *Industry 4.0*. Vol. 2. № 6. P. 307–311.
- Smithson M. (1989) *Ignorance and uncertainty: Emerging paradigms*. Heidelberg, New York, Dordrecht, London: Springer-Verlag.
- Taylor C.W. (1990) *Creating strategic visions*. Carlisle: Strategic Studies Institute, US Army War College, Carlisle Barracks.
- UNDP (2018) *Foresight Manual. Empowered Futures for the 2030 Agenda*. Singapore: UNDP Global Centre for Public Service Excellence.
- van der Sluijs J.P. (1997) *Anchoring amid uncertainty. On the management of uncertainties in risk assessment of anthropogenic climate change*. Den Haag: CIF-Gegevens Koninklijke Bibliotheek.
- Voros J. (2017) *Big History and Anticipation // Handbook of Anticipation. Theoretical and Applied Aspects of the Use of Future in Decision Making / Ed. R. Poli*. Heidelberg, New York, Dordrecht, London: Springer. P. 425–464. DOI: 10.1007/978-3-319-31737-3_95-1.
- Walker W.E., Harremoës P., Rotmans J., van der Sluijs J.P., van Asselt M.B., Janssen P., Krayen von Krauss M.P. (2003) *Defining uncertainty: A conceptual basis for uncertainty management in model-based decision support // Integrated Assessment*. Vol. 4. № 1. P. 5–17.
- Watson R., Cupani A. (2018) *Table of Disruptive Technologies*. London: Imperial College. Режим доступа: <https://www.imperial.ac.uk/media/imperial-college/administration-and-support-services/enterprise-office/public/Table-of-Disruptive-Technologies.pdf>, дата обращения 15.12.2019.
- Wawiernia A. (2013) *Taksonomia niepewności [Taxonomy of uncertainty] // Zarządzanie i Finanse*. Vol. 11. № 1/3. P. 445–454 (in Polish).