

Гибкая разработка дорожных карт как адаптивный подход к технологическому Форсайту

Оуэн О’Салливан

Директор, Центр научно-технологической и инновационной политики
(Centre for Science, Technology & Innovation Policy), eo252@cam.ac.uk

Роб Фааль

Научный руководитель, Центр технологического менеджмента (Centre for Technology Management), rp108@cam.ac.uk

Кембриджский университет (University of Cambridge), Великобритания, 17 Charles Babbage Rd, Cambridge CB3 0FS, UK

Чарльз Фезерстон

Руководитель направления «Исследования будущего» (Head of Futures), charles.r.featherston@gmail.com

Управление науки Правительства Великобритании (UK Government Office of Science),
10 Victoria Street, London, SW1H 0NN, UK

Аннотация

Технологические дорожные карты традиционно рассматриваются как один из ключевых инструментов Форсайта для разработки политики в области науки, технологий и инноваций. Однако интеграция результатов Форсайт-проектов в стратегии организаций и компаний остается ограниченной. В статье предлагается метод совершенствования дорожных карт, повышающий качество и достоверность их содержания и способный существенно расширить их влияние на принятие стратегических решений. Анализируются возможности использования методологии дорожных карт для учета сложных аспектов инновационной системы или

отрасли при разработке стратегии развития. В модернизированных дорожных картах появляется возможность охватить в целостности колоссальный массив релевантных данных, проработать их в итеративном и гибком режиме с применением новых визуальных приемов. Обнаруживаются важные пробелы в знаниях, потенциальные источники ошибок и риски попадания в «эффект колеи», открываются возможности для своевременного осмысления возникающих технологических траекторий. Предлагаются направления дальнейших исследований для корректировки рассматриваемого подхода, обеспечения гибкости Форсайт-процессов.

Ключевые слова: технологические дорожные карты; методология Форсайта; новая технологическая стратегия; научно-технологическая и инновационная политика

Цитирование: O’Sullivan E., Phaal R., Featherston Ch. (2021) Agile Roadmapping: An Adaptive Approach to Technology Foresight. *Foresight and STI Governance*, 15(2), 65–81. DOI: 10.17323/2500-2597.2021.2.65.81

Agile Roadmapping: An Adaptive Approach to Technology Foresight

Eoin O’Sullivan

Director, Centre for Science, Technology & Innovation Policy, eo252@cam.ac.uk

Rob Phaal

Director of Research, Centre for Technology Management, rp108@cam.ac.uk

University of Cambridge, 17 Charles Babbage Rd, Cambridge CB3 0FS, UK

Charles Featherston

Head of Futures, charles.r.featherston@gmail.com

UK Government Office of Science, 10 Victoria Street, London, SW1H 0NN, UK

Abstract

Technology roadmapping has become an important foresight tool for science, technology, and innovation (STI) policy and technology strategy development. There are, however, challenges in translating evidence from foresight into the strategies of STI agencies and the planning of research & technology development (RTD) organizations. While the foresight evaluation literature identifies methodological issues related to evidence granularity, scope, and stakeholder confidence, there is limited guidance on how to ensure roadmapping outputs are strategically relevant, appropriately detailed, and credible. This paper highlights the potential of using structured visual roadmapping frameworks to anticipate potential strategic foresight evidence failures and using the adaptive and iterative nature of roadmapping processes to address them. In this paper, we distinguish between: the roadmapping framework ‘canvas’; the foresight evidence captured on the canvas; the process of generating the evidence; and any final

strategic plan developed using that evidence (with goals, milestones, actions, etc). We investigate efforts to use the roadmapping canvas as a research tool and diagnostic to explore emerging technology trajectories and innovation ‘pathways’. We demonstrate that key patterns of evidence distribution on the roadmapping canvas have the potential to reveal where further evidence may need to be gathered, or where further triangulation of stakeholder perspectives may be required. We argue that by adaptively addressing these patterns at key stages within the roadmapping process (and appropriately re-scoping, re-prioritizing, and re-focusing foresight effort and resources), the granularity, coverage, and consensus of the roadmapping evidence can be greatly enhanced. We conclude the paper by summarizing a set of novel principles for adaptive agile roadmapping, reflecting on the implications for foresight more generally, and outlining a future research agenda to test and refine this approach to agile foresight.

Keywords: technology roadmapping, foresight methodology, emerging technology strategy, STI policy

Citation: O’Sullivan E., Phaal R., Featherston Ch. (2021) Agile Roadmapping: An Adaptive Approach to Technology Foresight. *Foresight and STI Governance*, 15(2), 65–81. DOI: 10.17323/2500-2597.2021.2.65.81

Технологические дорожные карты (ДК), сначала использовавшиеся для формирования стратегий компаний [Kerr, Phaal, 2020], со временем превратились в один из ключевых инструментов Форсайт-исследований в сфере научно-технологической и инновационной политики. При этом результаты Форсайта остаются недостаточно интегрированными в стратегии ведомств и организаций, занимающихся исследованиями и разработками (ИиР). В статье анализируются возможности использования методологии ДК для учета сложных аспектов Форсайта на уровне инновационной системы или отрасли. Предлагаемый подход направлен на повышение актуальности, детализации и достоверности информации. ДК используются для анализа динамики новых технологий в рамках стратегического планирования в государственном и частном секторах [Baldi, 1996; Harrell et al., 1996; Nimmo, 2013]. Однако использование данного метода на уровне инновационной системы или отрасли имеет специфические акценты и сопутствующие проблемы. В отличие от корпоративного уровня, разработка ДК для инновационной системы может потребовать более сложного анализа (с участием широкого круга стейкхолдеров), учета долгосрочной динамики, социально-политических тенденций и движущих сил [Cho et al., 2016; Isenmann, 2008; Schuh et al., 2013]. Если в первом случае компании — заказчики ДК являются ее единственными пользователями, то во втором (заказ поступает от правительства) их применяют разные субъекты государственного сектора в стратегических целях [Cho et al., 2016; Schuh et al., 2013]. В данном контексте усложняется задача детализации результатов, обеспечение их релевантности и доверия со стороны заинтересованных лиц [Lee et al., 2012; Schuh et al., 2013].

Несмотря на растущую популярность Форсайт-исследований, рекомендации по повышению эффективности разработки ДК, включая качество исходных данных, пока немногочисленны [Kostoff, Schaller, 2001; Oliveira, Fleury, 2015]. ДК редко содержат сведения об ограничении информации и результатах анализа, представляющих интерес для исследователей и практиков Форсайта.

В статье изучаются подходы к выявлению и устранению пробелов в исходных данных Форсайт-исследований и потенциальных источников ошибок. Полученные результаты переведены на «визуальный язык» ДК, исследована связь ограничений исходных данных с различными моделями их «нанизывания» на шаблон. Благодаря уникальным характеристикам ДК (структурированное визуальное представление сведений, определение траекторий инновационного развития, масштабируемый, системный характер структуры) размещение данных в их шаблоне позволяет заблаговременно выявить источники неточной информации. Гибкое использование шаблонов на этапах разработки ДК (при необходимости — с корректировкой приоритетов, направленности процесса и распределения ресурсов) может радикально повысить уровень детализации, охвата и согласованности исходных сведений.

Проблемы использования данных при составлении ДК

В разделе рассматриваются проблемы технологического Форсайта на уровне инновационной системы или отрасли. Изучаются причины слабой восприимчивости заинтересованных сторон к результатам Форсайта, и как следствие, ограниченного использования последних в стратегиях инновационного развития. Проанализирована литература по Форсайту и разработке технологических ДК, в которой исследовались источники ошибок, неполноты данных и препятствия, затрудняющие практическое использование результатов. Представлены рекомендации и принципы совершенствования и повышения эффективности разработки ДК.

Исследования на уровне отраслевого сектора или инновационной системы предполагают комплексный анализ, отражающий сложность и динамику последней. Подобный процесс отличается высокой ресурсоемкостью. В отличие от корпоративных ДК, нацеленных на конкретную технологию или продукт, отраслевые учитывают более широкие аспекты ИиР, связанные с новыми технологическими тенденциями [Cho et al., 2016]. Разработке ДК как основы инновационных стратегий сопутствует высокая степень сложности, неопределенности и неоднозначности. Анализ возникающих технологий становится более междисциплинарным, требующим учета разнообразных точек зрения экспертов, приоритетов, ценностей и мотивации стейкхолдеров. Перечисленные факторы влияют на эффективность и реализацию Форсайт-проектов. Заказчикам ДК часто трудно оценить уровень сложности системы, масштабы несовпадения позиций заинтересованных сторон, степень взаимозависимости видов инновационной деятельности и мер политики [Saritas, Oner, 2004].

Вызовы существуют и в отношении сбора и использования контента [Georghiou, Keenan, 2006; Martin, Irvine, 1990]. Наряду с ограниченной способностью к усвоению информации и политическими циклами сохраняются важные методологические вопросы в связи с обеспечением точности, актуальности и достоверности выводов. Форсайт не всегда «сонастроен» с потребностями пользователей, его результаты до конца не осознаются, поэтому контекст исследования необходимо представлять с учетом перечисленных аспектов [Georghiou, Keenan, 2006]. С подобной проблемой сталкиваются политики, руководители ведомств, государственные и частные организации сферы ИиР [Salmenkaita, Salo, 2004]. Во многих случаях результаты Форсайт-исследований представляются в неудобном для восприятия формате [Day, 2013; Kunseler et al., 2015] и, как следствие, воспринимаются в отрыве от направлений их практического использования [Georghiou, Keenan, 2006]. Эта проблема учитывалась в британском Форсайте [Saritas, Oner, 2004]. В процессе исследований аккумулируются данные о многочисленных и не всегда линейных траекториях развития новых технологий. Попытки максимально точно описать и упорядочить связи между траекториями, представить их в формате, понятном для потенциальных инвесто-

ров, требуют существенных ресурсных затрат в связи с переработкой огромного количества данных [Saritas, Oner, 2004]. На этапе заказа Форсайт-исследования невозможно оценить степень сложности технологической динамики и понять, какой уровень детализации может потребоваться для определения траекторий создания инноваций. К непредсказуемым факторам относится также степень согласованности представлений заинтересованных сторон о приоритетах, событиях, тенденциях, препятствиях и т. д. Затруднительно заранее определить оптимальный состав участников Форсайт-проекта, необходимый баланс охвата исследования и требуемых ресурсов, позволяющих получить детализированные, достоверные и применимые на практике результаты. Для того чтобы отвечать данным условиям, Форсайт сложных инновационных систем должен быть адаптивным и итеративным. Возникают важные методологические вопросы о настройке Форсайт-проектов под информационные потребности, организации эффективного мониторинга и регулирования сбора данных.

Далее будут проанализированы возможности шаблонов ДК при решении таких задач, как:

- конфигурирование Форсайт-проектов под информационные потребности пользователей;
- определение необходимости дальнейшей детализации данных о конкретных направлениях или тенденциях инновационного развития, их дополнения новыми предложениями стейкхолдеров либо фокусирования на тех или иных элементах инновационной системы;
- выявление «поворотных точек» для адаптации Форсайт-проекта в соответствии с текущими результатами (корректировка сферы охвата, приоритетов, смена фокуса Форсайт-проекта, перераспределение ресурсов).

Шаблон ДК как инструмент для изучения динамики инновационной системы

Рассмотрим специфику и функционал технологических ДК в сравнении с другими методиками Форсайта и разработки стратегий, в частности применение шаблонов ДК для структурирования анализа динамики инновационного развития и социально-технологических перемен. Продемонстрируем их возможности для «диагностики» достаточности и достоверности данных Форсайта.

Сравнение ДК с другими методами Форсайта

Составление технологических ДК относится к инструментам Форсайта, обеспечивающим коммуникативную и координационную поддержку при разработке стратегий развития [Park et al., 2020]¹. Данный метод основан на визуальных и партисипативных принципах,

структурирующих мышление участников, придающих ему целостность, что ведет к повышению качества принимаемых решений. Междисциплинарный подход, основанный на взаимодействии специалистов с разным опытом и компетенциями, позволяет найти точки соприкосновения между их узкодисциплинарным видением и системным взглядом на общие цели [Coates et al., 2001]. ДК интегрируют результаты других Форсайт-проектов для разработки стратегии, согласуют новейшие исследования с перспективными потребностями [Saritas, Oner, 2004] и, таким образом, служат «мостом» между Форсайтом и планированием [Popper, 2008]. ДК, как правило, применяются на завершающих этапах Форсайта, в отличие от поисковых методов, таких как сканирование горизонта. На картах отражаются ориентиры планирования и пути достижения стратегических целей. При составлении ДК сканирование возможностей комбинируется с постановкой цели и определением способов ее достижения. Поэтому ДК можно считать одновременно и поисковым, и нормативным инструментом [Barker, Smith, 1995; Cho et al., 2016; Kappel, 2001], синтезирующим разные варианты, позволяющим находить точки соприкосновения между предложением технологий и спросом на них, координировать реализацию стратегий на всех уровнях: от целостного до детализированного, и т. п. [Barker, Smith, 1995]. Приемы визуализации информации, унаследованные от корпоративного мира, облегчают анализ многомерной и сложной природы объектов Форсайт-исследований [Saritas, Oner, 2004; Barker, Smith, 1995]. Организации получают инструменты, позволяющие добиться соответствия программ ИиР стратегиям развития, наладить эффективную коммуникацию на всех уровнях [Barker, Smith, 1995]. Благодаря визуализации система ИиР выглядит как единое поле, у участников формируется целостное восприятие, что повышает качество анализа [Saritas, Oner, 2004]. Масштабируемость и адаптируемость позволяют оперативно удовлетворять информационные потребности, обеспечивая глубокую детализацию картины подсистем.

Структура ДК

Остановимся подробнее на основных элементах шаблона ДК, проанализируем его потенциал для изучения динамики появления новых технологий и их социальных эффектов, а также для диагностики, мониторинга, определения степени достаточности и достоверности данных по мере сбора.

Для представления специфики процесса разработки ДК и его вклада в формирование результатов Форсайт-исследований, отвечающих задачам инновационной политики, важно проводить разграничение между структурой, содержанием и процессом ее создания (табл. 1).

Базовая структура (архитектура ДК) представляет информацию по уровням в динамике, тогда как графический слой (формат, стиль и цвета которого подобра-

¹ Другие методы — Дельфи, библиометрия, картирование заинтересованных сторон, сценарное планирование, сканирование горизонта, экспертные панели, SWOT, общественные панели и т. д. (подробнее см: [Popper, 2008]).

Табл. 1. Измерения ДК

Элемент	Описание
Структура	Измерения, элементы, принципы организации и графический шаблон, на котором размещаются данные и стратегическая информация
Содержание	Данные, идеи, подходы, стратегические приоритеты, ориентиры и цели, собранные и организованные в рамках структуры
Процесс разработки	Этапы, мероприятия и последовательность действий, связанных со сбором и организацией контента, необходимого для разработки стратегий

Источник: составлено авторами.

ны в соответствии со структурой карты), раскрывает пользователям ее содержание. Из всего многообразия графических стилей наиболее полным и гибким для достижения расширенного восприятия считается многослойное динамическое представление [Phaal, Muller, 2009]. Визуализация ДК [Park et al., 2020; Phaal et al., 2004b] открывает природу сложных динамических систем, формирует логическое целостное представление для исследования, картирования и демонстрации пользователям траекторий инновационного развития [Phaal, Muller, 2009]. Складывается многослойная временная диаграмма, отражающая различные направления ИиР, инновационного развития, перспективы коммерциализации, эволюцию рынков и продуктов, траектории возникающих технологий, взаимозависимости и разрывы между альтернативными путями (рис. 1). Синтезируется концепция технологических стратегий и переходов: динамика (хронологическое

измерение) накладывается на многоуровневую структуру инновационной деятельности [Phaal et al., 2004a]. В общем виде ДК включает три основных «слоя», размещенных вдоль горизонтальной оси времени [Phaal et al., 2004b; Phaal, Muller, 2009].

В верхнем слое «целей» отображаются сведения из категории «знаю почему» (*know why*) — предположения о трендах и драйверах, обуславливающих общие цели разработки ДК. Средний слой («реализация») содержит данные из категории «знаю что» (*know what*) — о системах, которые необходимо создать. Системы позволяют освоить возникающие возможности, ответить на тенденции и вызовы, зафиксированные на верхнем уровне. В случае отдельных компаний речь идет о совершенствовании функционала продукции и повышении производительности. Что касается инновационной системы — рассматриваются варианты модернизации технологических платформ, на которых основаны приложения, продукты и услуги частного сектора. На нижнем уровне («ресурсы») размещается информация из категории «знаю как» (*know how*) — об активах, которые необходимо мобилизовать для разработки указанных продуктов, услуг и систем: интеллектуальные ресурсы (технологии, навыки и компетенции), финансы, партнерские сети, оборудование.

Далее опишем процесс сбора, интеграции и синтеза информации в рамках вышеназванных слоев ДК.

Этапы разработки ДК

ДК рассматривается как пространство, где поэтапно собирается, компонуется и переосмысливается информация, выявляются закономерности и пробелы. Гибкость процесса позволяет менять вектор, уровень

Рис. 1. Базовая многоуровневая архитектура ДК



Источник: [Phaal, Muller, 2009].

Табл. 2. Этапы составления ДК

Этап	Содержание
Уточнение целей ДК	Конкретизируются зоны фокусирования, охват, желаемые эффекты от реализации стратегии
Формирование картины будущего	Исследуются тенденции, возможности и вызовы, согласовываются позиции и видения участников
Изучение ландшафта текущих ресурсов и открывающихся возможностей	Сканируется имеющаяся база активов, оценивается степень их достаточности для реализации новых возможностей, выявляются препятствия в реализации инноваций, неудовлетворенные потребности, прописывается последовательность этапов воплощения стратегии
Выявление траекторий инновационного развития	Изучаются альтернативные траектории технологического развития, определяются способы устранения барьеров для реализации целей заказчиков, усиливаются стимулы для создания инноваций, фиксируются промежуточные цели и ориентиры
Передача готовой ДК заказчикам	Результаты ДК, включая обоснование выбора технологий и инвестиционные ориентиры, трансформируются в формат, готовый для применения в стратегических планах заказчиков
Подтверждение достоверности результатов ДК и ее корректировка	Верифицируются элементы ДК, обновляются данные о трендах и идеях заинтересованных сторон, корректируются стратегические цели и ориентиры
<i>Источник:</i> составлено авторами.	

детализации анализа, перераспределять ресурсы и направления работ с учетом точек зрения и знаний новых игроков. В зависимости от целей, области, охвата и масштаба исследования ДК может разрабатываться в рамках однократного мероприятия с участием однородной группы участников либо в несколько этапов с последовательным подключением специалистов — обладателей недостающих компетенций.

Существуют разные подходы к организации процесса разработки ДК [Bray, Garcia, 1997; Nimmo, 2013; Phaal et al., 2007; Yasunaga et al., 2009]. Большинство из них предполагают три общих шага: формирование картины будущего, изучение «ландшафта» потенциалов и возможностей, выявление альтернативных траекторий инновационного развития. Зачастую они предваряются стадией уточнения целей ДК. Затем следуют трансформация, практическое использование результатов, валидация и корректировка ДК (табл. 2).

Гибкость обеспечивается поэтапным подходом к сбору и синтезу информации, что позволяет своевременно переконфигурировать структуру процесса разработки ДК и выделяемые на него ресурсы.

Отличительные характеристики процесса разработки ДК

Диагностический функционал шаблона ДК позволяет оценить достаточность детализации, актуальность и надежность собранной информации. Рассмотрим его визуальные, интеграционные, масштабируемые, итеративные и системные характеристики.

Визуальные аспекты

Графическое поле ДК предназначено для структуризации данных о сложной динамике инновационной системы, связанной с созданием новых технологий. Визуальный подход облегчает фиксацию темпоральных связей между ключевыми событиями в разных

сферах инновационной активности [Park et al., 2020]. Сложность Форсайта уменьшается за счет управления информацией посредством ее фиксирования, визуализации и трансформации [Saritas, Oner, 2004].

Визуальное представление потребностей заказчиков, технологических решений и программ ИиР на ДК стимулирует сотрудничество и диалог участников, придерживающихся разных мнений по поводу операционных, рыночных и технологических аспектов развития рассматриваемого направления. Облегчается реализация программ ИиР ввиду правильной расстановки приоритетов и оптимального распределения ресурсов [Barker, Smith, 1995]. Высвечиваются закономерности данных, информационные пробелы, потребность в их детализации, уточнении отдельных связей или корреляций.

Регулирование сбора данных на основе выявленных закономерностей подробно описано далее.

Интеграционный характер

Шаблон ДК предназначен для сбора и интеграции знаний участников инновационной системы о ее функционировании, элементах и связях между ними на разных этапах. Здесь аккумулируются научные сведения, представления о желаемом будущем инновационной системы, информация о стратегических целях и ориентирах на пути к их достижению. Контент, как правило, поступает из специальных семинаров, где учитываются данные и идеи, полученные в ходе Форсайт-мероприятий по разработке стратегии с применением других методов² [Hussain et al., 2017; Kanama et al., 2008; Oliveira, Fleury, 2015; Saritas, Oner, 2004; Strauss, Radnor, 2004; Vishnevskiy et al., 2015]. Сопоставление данных из многочисленных источников и областей знаний на разных уровнях системы в рамках единого интегрирующего шаблона выявляет несоответствия во взглядах участников, потенциальные пробелы в массивах данных и выборках.

² Таких как SWOT-анализ, сценарное планирование, сканирование горизонта и Дельфи-обследования.

Масштабируемость

Адаптивность позволяет глубоко анализировать микропроцессы, «приближая» их, и охватывать динамику макросистем, «отдаляя» на воспринимаемое расстояние. В последнем случае речь идет об исследовании отраслевых тенденций, провалов рынка (компенсирующая функция государства), внутренней координации деятельности компаний либо маркетинговых возможностях. ДК обладают колоссальным диапазоном охвата в терминах масштаба и сложности изучаемых объектов. Например, отраслевая ДК формируется для ограниченного набора отраслевых тенденций (условный порядок — 10^1) или для многоуровневой отраслевой системы с массой фрагментов (порядка 10^7). Изучение связей между технологиями, используемыми системой, иногда добавляет детализацию еще на несколько порядков. Подобный подход облегчает увязывание научных исследований с отраслевыми тенденциями. При анализе инновационной динамики архитектура ДК настраивается в соответствии с характером и масштабом решаемой проблемы [Phaal, Muller, 2009]. Возможность «приближения» позволяет сфокусироваться на ключевых компонентах инновационной системы, по которым требуется дополнительная детализация данных.

Итеративность

Поэтапная разработка ДК помогает осмыслить информацию, выявить в ней закономерности и пробелы, при необходимости — изменить фокус и уровень анализа, перераспределить ресурсы, скорректировать направления, привлечь новых участников со специальными знаниями. Рассматриваемый процесс парадоксален в том смысле, что для создания ДК необходимы определенные знания и опыт, однако степень их релевантности осознается только после его завершения. Для устранения подобного несоответствия многие ДК создаются в несколько итераций, каждая из которых включает четыре фазы: генерацию идей, дивергенцию, конвергенцию, синтез [Phaal, Muller, 2009]. Первая занимает один день (или несколько дней), чаще всего в рамках единичного семинара. Последующие корректировки могут потребовать от нескольких дней до месяцев в зависимости от сложности изучаемой системы, потребностей в компетенциях и других факторов. На каждой итерации уточняются возможности научного потенциала, возникающие рыночные тенденции, требования к продукту, его производству и эксплуатации.

Далее рассмотрим, каким образом за счет итеративного подхода обеспечиваются системная идентификация возможностей, адаптация фокуса и детальности анализа, перераспределение ресурсов, охват позиций и опыта новых стейкхолдеров.

Системность и междисциплинарность

Шаблоны ДК структурированы с учетом разных точек зрения на траектории создания новых технологий из соответствующих сегментов инновационной системы (ИиР, дизайн, развитие, производство, коммерциализация, разработка стратегий) [Phaal et al., 2004a; Phaal, Muller, 2009]. Растет число проблем, особенно соци-

альных, которые приходится решать, выходя за рамки одной дисциплины, с вовлечением игроков, представляющих разные научные и технические области. Возникает необходимость увязывать технологические аспекты с требованиями к продуктам, приложениям, а также тенденциями в политической, экономической и социальной сферах [Isenmann, 2008].

По указанным причинам репрезентативность точек зрения сторон на инновационную систему является важным стартовым условием для разработки ДК [Schuh et al., 2013]. Эту взаимозависимость иллюстрирует кейс Министерства энергетики США (US Department of Energy), выступившего заказчиком ДК для строительного сектора, в создании которой участвовали разработчики, владельцы, производители, подрядчики, архитекторы, инженеры. Другой пример — дорожные карты НАСА, формировавшиеся вокруг таких ключевых концептов, как выявление технологических «кандидатов» и траекторий инновационного развития [NRC, 2012]. Наглядность их отображения — важнейший фактор, определяющий привлекательность ДК как инструмента Форсайта. Однако путь от научных исследований до внедрения результатов часто носит нелинейный характер, а любые попытки установить связь между двумя стадиями требуют существенных ресурсных затрат на обработку колоссальных массивов данных [Saritas, Oner, 2004].

Использование шаблона ДК для анализа инновационной системы и акцент на сборе данных о потенциальных траекториях инновационного развития гарантируют актуальность итоговых ДК для разработки стратегий в сфере ИиР. Способы достижения этих эффектов раскрываются далее.

Анализ траекторий инновационного развития и социально-технологических переходов

Шаблон ДК может использоваться как средство анализа ретроспективной и долгосрочной динамики технологического развития [Phaal et al., 2007]. Он позволяет разграничивать и изучать различные категории, источники эмпирических данных, траектории создания новых технологий и социально-технологические переходы [Featherston et al., 2016; Featherston, O'Sullivan, 2017; Ho, O'Sullivan, 2019]. Информация структурируется в соответствии с логикой инновационной системы, выявляются связи между ключевыми элементами, участниками и направлениями деятельности. В данном контексте соответствие «слоев» ДК функциям инновационной системы оказывается весьма полезным [Hirose et al., 2015; Ho, O'Sullivan, 2019; Park et al., 2020]. Сведения о трендах, влияющих на технологические траектории, размещаются на шаблоне ДК. Информация поступает через такие каналы, как: полуструктурированные интервью, анализ научных работ по технологической и отраслевой направленности, базы стандартов, рыночная аналитика и «серая» литература (исследования государственных агентств, национальных академий, многие из кото-

рых опираются на анализ патентных баз, библиометрии и т. д.) [Park et al., 2020]. Шаблон применяется в связке с другими подходами для изучения динамики развития технологий, воплощающей научные знания в инновационные продукты и услуги, например, при анализе промышленной инфраструктуры [Van de Ven, 1993]. Речь идет об институциональных механизмах, распределении ресурсов, правах собственности и других инфраструктурных аспектах, влияющих на создание новых технологий [Park et al., 2020]. Кроме того, прослеживаются аналогии между концептами «шаблона ДК» и «многоуровневой перспективы» (*multi-level perspective*) [Geels, 2002]. Последняя лежит в основе лонгитюдных исследований технологического развития, позволяет отслеживать переходы от нишевого использования технологий к масштабному применению (*niche-to-regime*) с учетом таких факторов, как академические и прикладные знания, отраслевая политика, инфраструктура, поведение пользователей [Park et al., 2020]. Изучаются траектории, связанные с определенными технологическими парадигмами. Идентифицируются и разграничиваются характеристики каждой парадигмы, «сложные головоломки» и технологические вызовы, являющиеся необходимым (хотя и недостаточным) условием для поиска других трудно идентифицируемых «пазлов»; описывается переход от одной траектории к другой; оцениваются факторы, обуславливающие появление «выигрышной» технологии [Dosi, 1982]. Исследования технологических трендов с использованием шаблонов ДК [Featherston et al., 2016; Featherston, O'Sullivan, 2017; Ho, O'Sullivan, 2019; Park et al., 2020; Phaal et al., 2004b] позволили сделать ряд методологических выводов, выявить эффективные инструменты и источники данных, потенциально пригодные для использования в других областях. Некоторые из них применяются в Форсайт-проектах, в частности, для разработки ДК.

Интеграция и сопоставление данных из разных источников. Собранная в ходе семинаров и совещаний информация дополняется официальной статистикой, данными отраслевого анализа или исследований, проводимых государственными ведомствами и научными организациями. Такой контент часто содержит (полу-) количественную информацию из баз патентов, научных публикаций, рыночной аналитики и национальных экономических счетов. Графическое представление позволяет сопоставлять ее с качественными данными путем наложения. В результате выявляется корреляция либо расхождение сообщений о ключевых трендах в сфере науки, технологий и экономики с библиометрической, патентной или рыночной статистикой.

Характеристика и систематизация точек зрения участников инновационной системы. Шаблоны ДК служат не только для сбора контента из официальных источников, но и для системного мониторинга и интерпретации мнений заинтересованных сторон (ученых, инженеров, промышленников, экономистов, рыночных аналитиков и т. д.) о перспективах развития национальной и отраслевой инновационных систем.

Нанесение на карту перспективных функциональных категорий ДК и ограничений инновационной системы позволяет сравнивать и согласовывать взгляды на значимость, взаимозависимость, эффекты появления тех или иных инноваций, препятствия и стимулы.

Фокус на ключевых развилках, барьерах и взаимосвязях. Масштабируемость шаблона ДК делает его эффективным инструментом для выявления микрофакторов, вызывающих «эффект колеи» в процессе создания инноваций. При необходимости ключевые элементы карты рассматриваются более детально. Для этого вводятся дополнительные уровни, разграничивающие различные виды технологий (производственные, измерительные, системные), направления ИиР, категории институтов, стандартов и правил. Визуализация облегчает выявление темпоральных связей между основными развилками в сферах инновационной деятельности [Park et al., 2020].

Оценка достаточности данных. Структуризация сведений в шаблоне помогает выявить потенциальные требования к дальнейшему анализу (углубленная детализация инновационных связей, сбалансированный подбор заинтересованных сторон и т. д.). Специальные тесты на достаточность информации по сегментам или направлениям шаблона позволяют определить момент, когда добавление сведений о новых фактах перестает оказывать влияние на мнение участников. Тогда фиксируется «насыщение», и дальнейшие итерации анализа считаются излишними.

Применение шаблона ДК подтвердило важность тщательной детализации данных и согласованности мнений участников для выявления и осмысления ключевых факторов, определяющих траектории инновационного развития. В этом случае ДК выступает диагностическим инструментом в определении достаточности, эффективности и достоверности информации о динамике технологического развития.

Шаблоны данных и гибкая разработка ДК

Возвращаясь к ключевым принципам оценки Форсайт-исследований и проблемам работы с информацией, проанализируем потенциал шаблона ДК для улучшения мониторинга и сбора данных, актуализации и удобства использования результатов анализа, углубления детализации, расширения сферы охвата и повышения согласованности данных. Кратко остановимся на подходах к сбору объективной информации и мнений заинтересованных сторон, их фиксации и графическому представлению в шаблоне ДК. Рассмотрим модели данных о динамике инновационного развития, связанные с «источниками ошибок» Форсайта, работа с которыми требует углубленной детализации, более широкого вклада заинтересованных сторон, фокуса на отдельных элементах инновационной системы или фазах жизненного цикла. В завершение опишем возникновение в ходе итеративной разработки ДК точек принятия решений, позволяющих переконфигурировать

Рис. 2. Тематический ландшафт



Примечания: (а) фотография стенда с изображением тематического ландшафта; (б) стрелки, демонстрирующие ключевые события; (с) цветные наклейки, отражающие приоритеты заинтересованных сторон; (д) «глубокое погружение» в динамику инновационной деятельности, связанной с конкретными маркерами ДК.

Источник: составлено авторами.

вать охват и фокус процесса, перераспределить ресурсы, чтобы добиться большей точности, достоверности и практичности результатов.

Сферы применения модернизированных методов сбора данных для разработки ДК

Семинары рассматриваются как источники для аккумулирования мнений и предложений участников с последующим структурированием на шаблоне ДК. На настенных стендах (бумажных или цифровых) [Phaal et al., 2007] размещаются стикеры с заметками о ключевых событиях, барьерах, возможностях и других факторах, влияющих на динамику инновационного развития (рис. 2). Слои ДК выступают как упорядочивающие рамки для генерации идей. На карту поэтапно добавляются мнения о тенденциях, движущих силах, стратегиях, ориентирах, ожиданиях и барьерах. Заполненный шаблон оценивается по плотности распределения стикеров. Выявленные связи между элементами ДК обозначаются стрелками [Phaal et al., 2007]. Для кластеризации смежных функций и идей учитывается вклад отдельных участников (рис. 2b). После фильтрации дубликатов совместными усилиями определяются приоритеты в формате «голосования стикерами» (*sticker vote*). Участники высказываются в пользу важности тех или иных элементов ДК, добавляя небольшие цветные наклейки рядом с соответствующим фрагментом на шаблоне карты (рис. 2c). В каждом кластере по итогам подсчета голосов «всплывают» наиболее релевантные перспективы. При необходимости проводится углубленный анализ некоторых фрагментов (рис. 2d). Выводы по каждому из них синтезируются и добавляются к информации, расположенной на шаблоне.

Описанный процесс позволяет переключать фокус внимания разработчиков карты между анализируемыми аспектами инновационной деятельности. Подробное изучение их содержания, связей и динамики становится основой для уточнения, разграничения точек

зрения и приоритетов, а также итеративного синтеза новых идей на шаблоне, который постепенно насыщается. При тщательном подборе участников описанная процедура реализуется оперативно, в рамках одного или двухдневного семинара. Последний может стать однократным мероприятием либо частью масштабного Форсайт-проекта.

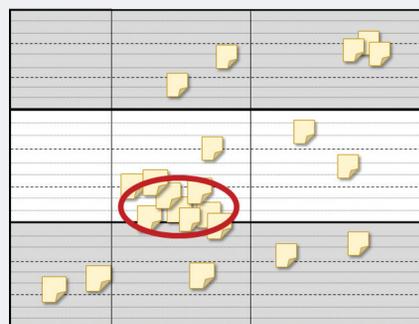
В следующих разделах раскрывается процесс мониторинга и регулирования сбора контента, который благодаря масштабируемости и системным характеристикам шаблонов позволяет корректировать охват ДК, повышает уровень детализации и согласованности данных, гарантирует актуальность и удобство их использования.

Модели распределения событий

Ключевыми показателями для оценки массива данных на шаблоне являются плотность распределения стикеров и связи между ними. На рис. 3 представлена концентрация информации в определенных зонах шаблона. Кластеры с высокой плотностью контента указывают на пристальное внимание участников к зонам с высоким потенциалом влияния на траектории технологического развития. Изучению подобных объектов целесообразно посвятить специальный семинар. Не исключено, что по его итогам некоторые слои ДК будут дополнены новыми деталями.

В ходе углубленного анализа информационных кластеров ДК важно оценить уровень консенсуса и представленность интересов участников инновационной системы. Например, кластер, содержащий предложения от единственной группы стейкхолдеров, может отражать как точку зрения и опыт ее представителей, так и отсутствие консенсуса в отношении приоритетов. Не меньшее значение имеют разграничение и анализ позиций сторон (рис. 4). Существенные расхождения между точками зрения, возможно, подлежат согласованию на семинаре либо в ходе очередной итерации с участием расширенного круга стейкхолдеров.

Рис. 3. Плотность объектов ДК (мероприятия, барьеры и т. д.)



Заметки на стикерах представляют идеи и информацию, предложенные участниками процесса разработки дорожной карты (о событиях, барьерах, возможностях)



Высокая плотность информации в определенном сегменте указывает на целесообразность более пристального его рассмотрения

Источник: составлено авторами.

Целесообразно зафиксировать и оценить предложения сторон на предмет их уверенности в важности отмеченных аспектов и опыта в соответствующих областях. На рис. 5 продемонстрированы различия между кластерами по упомянутым показателям. Кластеры, в отношении которых уверенность или компетенции участников являются невысокими, подлежат углубленному анализу. Если же значимость рассматриваемых тем очевидна, но знания и опыт стейкхолдеров недостаточны, данные направления изучаются в последующей итерации с участием более квалифицированных специалистов.

Многие информационные кластеры возникают в зонах ДК, соответствующих определенным направлениям инновационной деятельности и периодам их развития. Положение слоев отражает общую последовательность инновационного цикла от процесса исследований до разработки и вывода продукции на рынок. Взаимодействие между слоями с возникновением петель обратной связи отражает нелинейный характер инновационного процесса. Ключевые сегменты данных не всегда располагаются в смежных слоях. В сле-

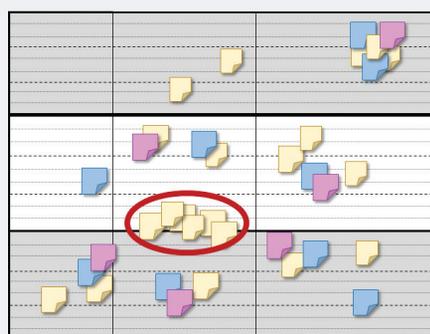
дующем разделе обосновывается важность выявления связей между объектами ДК (событиями, мероприятиями, препятствиями и т. д.).

Масштаб и диапазон связей объектов ДК

Участники разработки ДК выявляют значимые связи между объектами, расположенными в ее сегментах, в том числе не являющихся смежными. Некоторые виды связей между объектами заслуживают пристального внимания, особенно если относятся к «каталитическим» событиям или барьерам для развития (рис. 6). Их углубленный анализ, как правило, проводится в ходе следующей итерации с привлечением специалистов по направлениям, связанным с изучаемыми объектами.

Положение слоев в шаблоне ДК отражает последовательность стадий инновационного процесса — от ИиР до разработки и маркетинга продукции. Связи между пространственно разделенными элементами на практике опосредуются промежуточными уровнями инновационной деятельности. «Длинные» связи (не имеющие «соединительных ступенек» в виде промежуточных уровней) указывают на целесообразность

Рис. 4. Плотность воспринимаемой важности объектов ДК с точки зрения единственной группы стейкхолдеров



Стейкхолдеры X



Стейкхолдеры Y



Стейкхолдеры Z



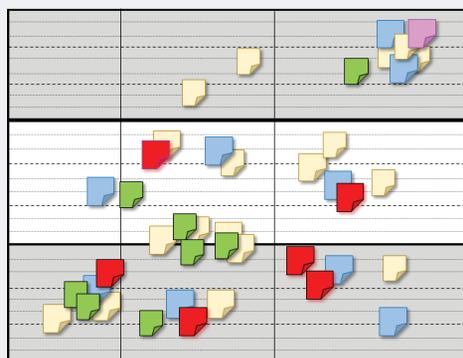
Заметки на стикерах представляют идеи и информацию, предложенные участниками процесса разработки дорожной карты. Предложения членов каждой группы заинтересованных сторон помечены соответствующими цветами.



«Плотность» предложений указывает на потенциальную важность или сложность тех или иных аспектов для конкретной группы заинтересованных сторон

Источник: составлено авторами.

Рис. 5. Уровень уверенности и знаний стейкхолдеров в отношении объектов, предложенных для включения в ДК



Источник: составлено авторами.



Заметки на стикерах представляют идеи и информацию, предложенные участниками процесса разработки ДК (о событиях, барьерах, возможностях).

- Высокий уровень уверенности/глубокие знания 
- Высокий уровень уверенности/мало знаний 
- Низкий уровень уверенности/глубокие знания 
- Низкий уровень уверенности/мало знаний 

Предложения помечены разными цветами в зависимости от уровня уверенности либо знаний их автора — участника Форсайт-проекта

более детального рассмотрения связующих траекторий для выявления скрытых препятствий в реализации инноваций (рис. 7).

В качестве инструмента информационной поддержки для разработки стратегий ДК показывают потенциальные траектории развития технологий на протяжении всего инновационного цикла. На карте фиксируются ключевые события, промежуточные цели и связывающие их траектории. Последовательность связей, формирующих траекторию создания инноваций, от подтверждения концепции до конечной цели, представлена на рис. 8.

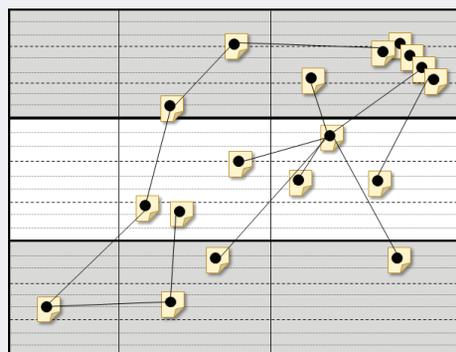
Анализируя динамику инновационного развития, нужно учитывать, что отдельные ее элементы могут потребовать углубленного изучения. По мере расширения знаний о потенциальных траекториях возникает потребность в адаптации процедуры разработки ДК для более детализированной оценки отдельных информационных кластеров, их взаимосвязей и достижения консенсуса стейкхолдеров.

Модели данных и адаптация процесса разработки ДК

В данном разделе раскроем роль поэтапного подхода к разработке ДК в изменении охвата исследования, перераспределении ресурсов, повышении детализации контента и укреплении консенсуса по поводу его стратегической значимости. В результате последовательного сбора, интеграции и синтеза информации для ДК формируется картина будущего, проявляется ландшафт потенциалов и возможностей, определяют траектории инновационного развития. Далее следует трансформация результатов Форсайта в стратегические планы развития сферы ИиР. Поэтапное размещение контента на шаблоне представлено на рис. 9. Точки означают новую информацию, сгенерированную на разных стадиях процесса, а закономерности их распределения указывают на предметы, выделенные участниками.

Каждый этап ДК реализуется на трех уровнях (в соответствии с указанными измерениями). Верхний со-

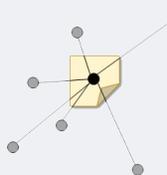
Рис. 6. Взаимозависимости между объектом ДК и другими видами инновационной деятельности



Источник: составлено авторами.

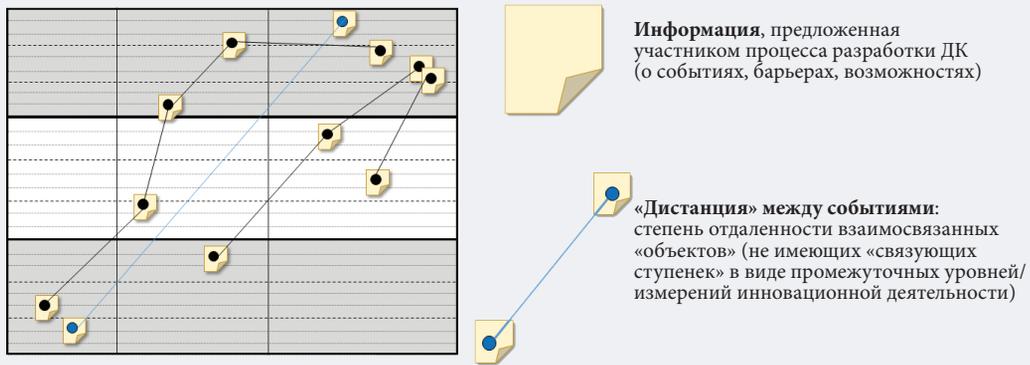


Информация, предложенная участником процесса разработки ДК (о событиях, барьерах, возможностях)



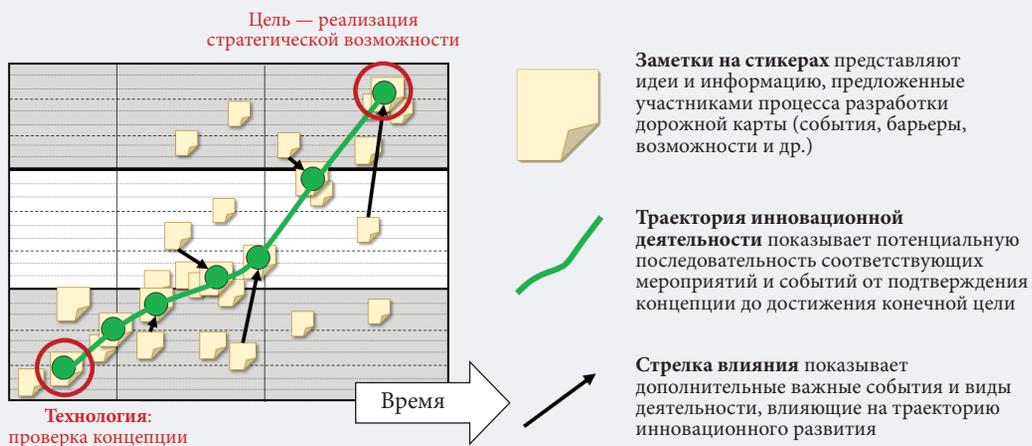
«Плотность» взаимосвязей объекта: множественные связи с конкретными событиями, видами деятельности, барьерами и др.

Рис. 7. «Дистанции» между взаимосвязанными объектами на шаблоне ДК



Источник: составлено авторами.

Рис. 8. Связи, формирующие траекторию инновационного развития



Источник: составлено авторами.

Рис. 9. Акценты разных этапов Форсайта, отраженных в шаблоне ДК



Постоянная аккумуляция знаний → Уточнение смысла, цели → Синтез стратегической информации

Источник: составлено авторами.

Табл. 3. Основные темы обсуждения в процессе формирования ДК

Этап	Объекты дискуссии
1. Формирование картины будущего	Долгосрочные возможности, характеристики будущей инновационной системы, системные и технологические прорывы
2. Создание ландшафта	Текущий и перспективный потенциал, актуальность, сильные стороны и пути их использования
3. Картирование потенциальных траекторий инновационного развития	Альтернативные стратегические траектории — преодоление барьеров, удовлетворение потребностей, определение ориентиров и т. д.

Источник: составлено авторами.

держит представления о тенденциях и факторах, связанных с целями разработки карты. На среднем уровне размещается информация о системах, которые требуется создать для реализации имеющихся возможностей. Нижний описывает стимулы и ресурсы (табл. 3).

Готовая ДК передается организациям сферы ИиР для разработки стратегий. Пользователям предстоит выбрать стратегические траектории, ориентиры, промежуточные задачи и конечные цели. На рис. 10 представлен итеративный характер расширенного процесса разработки ДК, сочетающего поисковый, нормативный и стратегический анализ. На стыках между этапами возникают «точки принятия решений», на которых корректируются сфера охвата, направленность и приоритеты ДК, при необходимости перераспределяются ресурсы, меняется организация работы. Взаимодействие по принципу «тяги-толкай» (*push-pull*) между первоначальным охватом, целями заказчиков

и их потребностью в информации определяет баланс между выделенными ресурсами, уровнем детализации и достоверности контента. Только после старта процесса разработки ДК, по мере проявления траекторий технологического развития становится очевидно, какие сегменты шаблона требуют более пристального внимания и какая степень детализации данных необходима для того, чтобы удовлетворить потребности заказчиков. Особое значение имеет обеспечение адаптивности, итеративности и гибкости процесса, которые позволяют при необходимости сменить фокус, переосмыслить и скорректировать приоритеты в соответствии с характеристиками и динамикой изучаемой инновационной системы.

Семинары по составлению ДК, а также синтез информации, полученной в ходе других Форсайт-исследований, могут укладываться в любое количество итераций. Карта организована таким образом, что сохраняется возможность ее самостоятельного обновления пользователями после завершения Форсайт-проекта или жизненного цикла стратегического планирования. Взаимодействие между сканированием, формированием ландшафта и картированием показано на рис. 11.

Итеративный и адаптивный характер процессов составления ДК в сочетании с шаблоном, облегчающим мониторинг и управление информацией, существенно повышает детализацию, эффективность и достоверность результатов Форсайта. Представленные выше идеи позволяют сформулировать постулаты, лежащие в основе адаптивного подхода к созданию ДК.

Принципы адаптивной и эффективной разработки ДК

Обеспечить соответствие контента ДК потребностям заказчиков – сложная задача. Сбор и интерпретацию

Рис. 10. Итеративный характер расширенной разработки ДК — взаимодействие поискового, нормативного и стратегического анализа

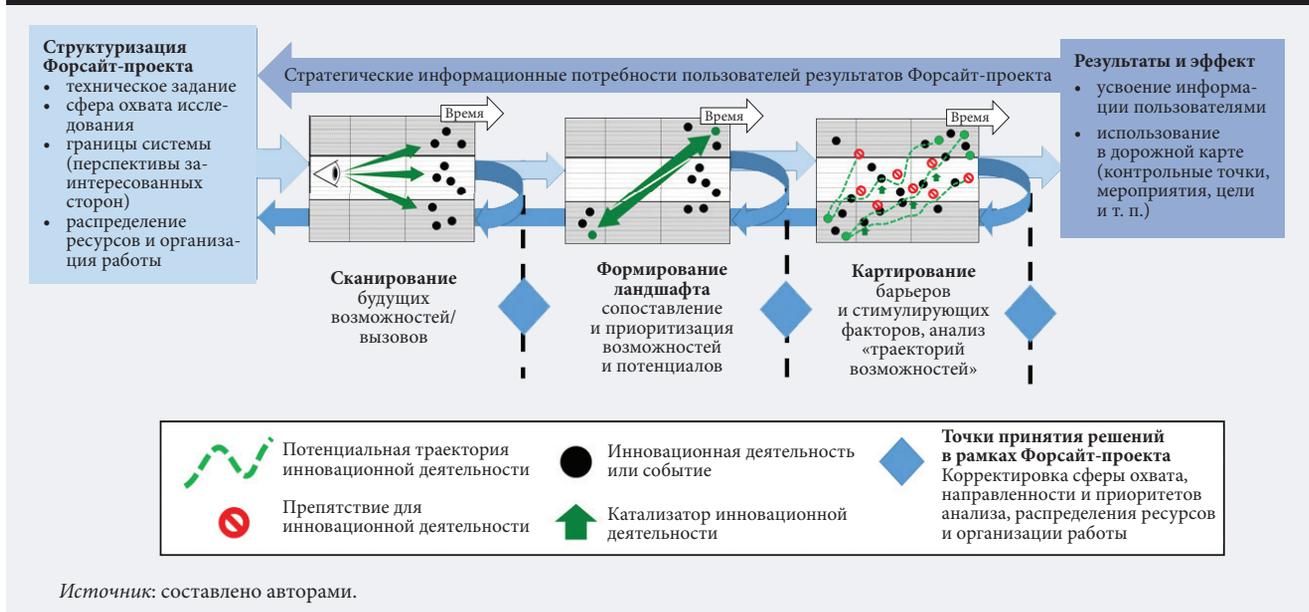
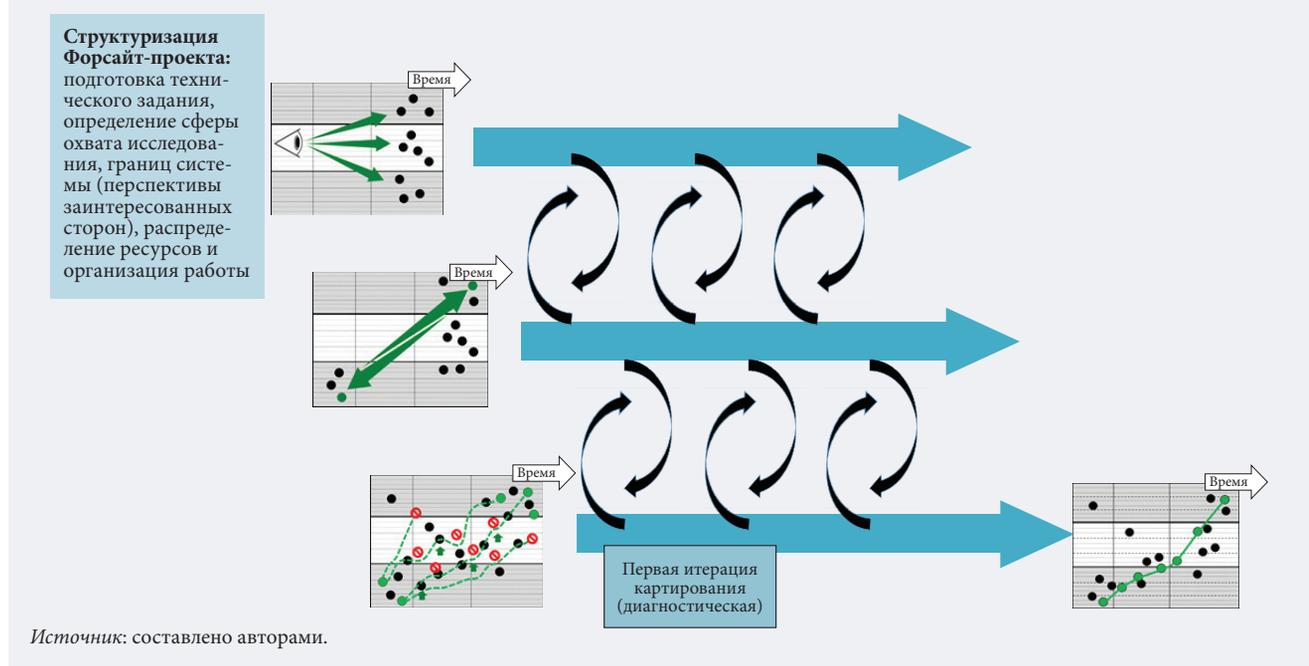


Рис. 11. Итеративный характер расширенной разработки ДК — взаимосвязи между этапами сканирования, формирования ландшафта и картирования



информации о технологических траекториях не всегда удается адаптировать таким образом, чтобы учитывались новые значимые элементы инновационных систем. Без системного подхода к адаптивному пересмотру сферы охвата, перефокусировки ресурсов и организации Форсайт-проекта трудно обеспечить стратегическую актуальность, необходимый уровень детализации и достоверности данных. Соблюдение ряда принципов позволит минимизировать информационные «сбои» и усилить полезный эффект.

Определение сферы охвата и направленности ДК в привязке к потребностям пользователей. На протяжении всего процесса создания ДК важно обеспечивать постоянную коммуникацию разработчиков с заказчиками. Охват и перспектива исследования должны быть такими, чтобы собранная информация и идеи концентрировались на правильных единицах анализа и обеспечивали необходимую детализацию данных (см. рис. 9с–d). Шаблон ДК должен представлять результаты в формате, отвечающем целям исследования и легко воспринимать пользователями, а хронологические рамки — соответствовать жизненным циклам политики и горизонтам программ развития ИиР.

Выделение достаточных ресурсов для детализации информации и пересмотр их распределения по мере необходимости. Неизбежное взаимодействие по принципу *push-pull* между рамками анализа и потребностями заказчиков определяет баланс активов с уровнем детализации и достоверности информации. Если данные, размещенные на шаблоне, требуют дальнейшего анализа (см. рис. 3–7), то соответственно сфера охвата сужается, либо привлекаются дополнительные ресурсы.

Структурированная информация (см. рис. 3–7) позволяет наиболее точно скорректировать охват исследования по основным направлениям. Предыдущая итерация сканирования или анализа ландшафта должна выявить возможности смены приоритетов и перефокусировки внимания на определенные события, которые влияют на формирование технологических траекторий.

Использование адаптивного и итеративного подходов к определению сферы охвата, фокуса проекта и отбору информации для анализа. Сбор и синтез данных, размещенных на шаблоне ДК, требуют нескольких этапов анализа — поискового, нормативного и стратегического (см. рис. 10, 11). Между ними возникают точки «принятия решений», позволяющие адаптировать Форсайт-проект. В рамках расширенного исследования на основе обратной связи, полученной на разных этапах составления ДК, меняется организация работы, корректируются охват, направленность и приоритеты анализа, перераспределяются ресурсы.

Систематический пересмотр информации для выявления областей, требующих углубленного анализа. Визуализация шаблона ДК усиливает восприятие различных категорий данных, указывая на возможные потребности в более детальном изучении:

- **кластеры** — сегменты шаблона с высокой плотностью сведений (см. рис. 3, 4), требующие концентрации внимания на определенных направлениях инновационной динамики;
- **связи данных** — многочисленные разветвленные соединительные линии между «развилками» на шаблоне (см. рис. 6, 7), указывающие на сложную взаимозависимость компонентов инновационной системы;

- *распределение интересов сторон* — существенное расхождение мнений и степени уверенности субъектов инновационной системы в отношении событий, системных связей и состава участников Форсайт-проекта (см. рис. 8).

Оценка достаточности и релевантности информации. Анализ данных, размещенных в шаблоне ДК, может выявить необходимость повышения уровня детализации, более тщательного изучения инновационных связей, привлечения новых стейкхолдеров и т. д. На каждой итерации оценивается вероятность уменьшения отдачи от сбора дополнительного контента. Инвестиции в дальнейшие итерации признаются неоправданными в двух случаях: если отсутствуют значительные изменения в восприятии ключевых событий или траекторий инновационного развития либо степень детализации превышает потребности пользователей.

Теоретические и методологические выводы

В предыдущих разделах рассмотрены возможности шаблона ДК для качественного структурирования сбора, анализа и организации данных Форсайта. Помимо практических эффектов для выявления будущих технологических траекторий архитектура разработки ДК предлагает гибкую, масштабируемую структуру для изучения динамики инновационной системы, улучшает понимание Форсайт-процесса как такового.

В статье проанализирован расширенный процесс Форсайта (от заказа исследований до разработки стратегий на основе полученных результатов) с применением визуального шаблона ДК. Визуальное распределение ключевых элементов информации на разных этапах исследования обеспечивает семантическую четкость и точность в разграничении поискового, нормативного и стратегического анализа, подчеркивает взаимосвязь этих его этапов. Описаны ключевые этапы Форсайта: сканирование, формирование ландшафта, картирование, планирование (см. табл. 1).

При размещении данных на шаблоне ДК выстраивается траектория инновационного развития, являющаяся центральным объектом Форсайт-исследования. Под траекторией понимается «путешествие» между разными элементами инновационной системы (см. рис. 8, 9с-d), начиная с имеющегося научно-технологического потенциала и заканчивая реализацией социально-экономических эффектов. Изучение траектории открывает пробелы в данных и источники их восполнения, позволяя устранить барьеры при реализации результатов Форсайта. Если информационная база недостаточно детализирована, не удастся обнаружить «эффект колеи» на траектории инновационного развития. Аналогично в случае неоптимального учета мнений стейкхолдеров относительно разных этапов траекторий подготовленный контент не будет пользоваться доверием. Визуализация информации раскрывает целостную картину, в которой уже на начальных стадиях проекта высвечиваются принципиальные

пробелы. При этом осознается необходимость итераций и адаптаций. На этапе заказа Форсайт-исследования невозможно в деталях предвидеть, насколько сложной окажется динамика той или иной технологической траектории, предусмотреть уровни детализации для выявления потенциальных «эффектов колеи», степень согласованности взглядов стейкхолдеров и т. п. Также затруднительно определить оптимальный состав участников (необходимое сочетание точек зрения и опыта), найти баланс между охватом поиска данных и ресурсами, обеспечивающими достаточную детализацию, сфокусированность и надежность результатов для практического использования. Для достижения указанных эффектов Форсайт сложных инновационных систем должен носить адаптивный и итеративный характер. Структуризация информации в шаблоне ДК позволяет наилучшим образом исследовать возникающие технологии и социально-технологические перемены. Рассматриваемый подход раскрывает потребность в детализации данных, указывающих правильное инновационное направление, динамику его развития, подчеркивает необходимость обновлять состав заинтересованных сторон.

Практические выводы и дальнейшие исследования

В настоящей статье рассмотрены методы разработки технологических ДК для инновационных систем и отраслей. Основное внимание уделено формированию дорожных карт как инструмента стратегического развития. Представленный подход также могут практиковать компании и разработчики Форсайта нетехнологической направленности. Проанализированы показатели достаточности охвата и детализации информации, гарантирующей их качество и надежность для применения при разработке инновационной политики. Причины ошибочности и ограниченности в оценке результатов Форсайт-исследований неоднократно рассматривались в литературе. Несмотря на это, рекомендации по совершенствованию разработки ДК пока немногочисленные, равно как и предложения по методам выявления и устранения пробелов при детализации и верификации выводов Форсайт-исследований. Рассмотрены отличительные характеристики и функционал ДК в сравнении с другими инструментами Форсайта. Показано, как с применением шаблона ДК оценивать инновационные процессы и социально-технологические перемены. Продемонстрирована его функциональность в диагностике достоверности и качества информации по мере ее накопления. Обоснована способность визуализации дорожной карты раскрывать в целостности и всеохватности сложный Форсайт-процесс. В такой подаче высвечивается необходимость в углубленной детализации информации, особенной концентрации внимания на отдельных элементах и фазах жизненного цикла инновационной системы, мнениях стейкхолдеров. В процессе итерации осознается необходимость изменения охвата и

фокуса исследования с соответствующим перераспределением ресурсов для того, чтобы повысить точность и достоверность результатов Форсайт-исследования.

В частности, мы высветили потенциал «точек» для размышления, возникающих между этапами сканирования (будущих возможностей и вызовов), формирования ландшафта (ресурсного потенциала), картирования (возникающих траекторий) и разработки стратегии (с постановкой ориентиров, целей и планов действий). Это позволяет уточнить семантику указанных терминов. Предложены пять принципов адаптивной разработки ДК в виде предварительных методических рекомендаций:

- определяются сфера охвата и направленность исследования исходя из потребностей заказчиков;
- обеспечивается достаточный объем ресурсов для дополнительных этапов детализации информации;
- применяются адаптивный и итеративный подходы к определению охвата, корректировке направленности и структуризации данных;
- систематически отслеживаются области, требующие углубленного анализа;

- оцениваются достаточность и релевантность контента.

В дальнейшем предстоит протестировать и уточнить эти принципы на практике, выявить другие категории данных для оценки их качества. Целесообразно изучить потенциал применения отдельных инструментов анализа данных (например, матрицы структуры дизайна (*design system matrix*) [Browning, 2001]), а также возможности новых цифровых инструментов для разработки ДК, способных улучшить структуру сбора мнений участников и интеграцию данных из других Форсайт-исследований и т. д. Полезно исследовать релевантность и перспективы распространения представленного подхода на другие методы Форсайта. Поскольку шаблон ДК обеспечивает эффективную организацию и обработку данных, на его основе может быть разработана более широкая, гибкая, масштабируемая структура для изучения динамики инновационной системы и возникающих технологий. Все это позволит лучше осознать возможности и ограничения в применении рассмотренной архитектуры, пути ее совершенствования и адаптации для конкретных сфер приложения.

Библиография

- Baldi L. (1996) Industry roadmaps: The challenge of complexity. *Microelectronic Engineering*, 34(1), 9–26. [https://doi.org/10.1016/S0167-9317\(96\)00013-5](https://doi.org/10.1016/S0167-9317(96)00013-5)
- Barker D., Smith D.J.H. (1995) Technology foresight using roadmaps. *Long Range Planning*, 28, 21–28. [https://doi.org/10.1016/0024-6301\(95\)98586-H](https://doi.org/10.1016/0024-6301(95)98586-H)
- Bray O.H., Garcia M.L. (1997) Technology roadmapping: The integration of strategic and technology planning for competitiveness. In: *Innovation in Technology Management. The Key to Global Leadership* (PICMET'97 Proceedings, Portland, OR, USA, 31–31 July 1997), pp. 25–28. <https://doi.org/10.1109/PICMET.1997.653238>
- Browning T.R. (2001) Applying the design structure matrix to system decomposition and integration problems: A review and new directions. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 48(3), 292–306. <https://doi.org/10.1109/17.946528>
- Cho Y., Yoon S.-P., Kim K.-S. (2016) An industrial technology roadmap for supporting public R&D planning. *Technological Forecasting and Social Change*, 107, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2016.03.006>
- Coates V., Farooque M., Klavans R., Lapid K., Linstone H.A., Pistorius C., Porter A.L. (2001) On the Future of Technological Forecasting. *Technological Forecasting and Social Change*, 67, 1–17. [https://doi.org/10.1016/S0040-1625\(00\)00122-0](https://doi.org/10.1016/S0040-1625(00)00122-0)
- Day J. (2013) *Review of cross-government horizon scanning: A Policy Paper for the UK Government Cabinet Office*, London: UK Government.
- Dosi G. (1982) Technological paradigms and technological trajectories: A suggested interpretation of the determinants and directions of technical change. *Research Policy*, 11(3), 147–162. [https://doi.org/10.1016/0048-7333\(82\)90016-6](https://doi.org/10.1016/0048-7333(82)90016-6)
- De Almeida M.F.L., de Moraes C.A.C., de Melo M.A.C. (2015) Technology Foresight on Emerging Technologies: Implications for a National Innovation Initiative in Brazil. *Journal of Technology Management & Innovation*, 10(2), 183–197. <https://doi.org/10.4067/S0718-27242015000200013>
- Featherston C.R., Ho J.-Y., Brévignon-Dodin L., O'Sullivan E. (2016) Mediating and catalysing innovation: A framework for anticipating the standardisation needs of emerging technologies. *Technovation*, 48–49, 25–40. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2015.11.003>
- Featherston C.R., O'Sullivan E. (2017) Enabling technologies, lifecycle transitions, and industrial systems in technology foresight: Insights from advanced materials FTA. *Technological Forecasting and Social Change*, 115, 261–277. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2016.06.025>
- Geels F. (2002) Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multi-level perspective and a case-study. *Research Policy*, 31(8–9), 1257–1274. [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(02\)00062-8](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(02)00062-8)
- Georghiou L., Keenan M. (2006) Evaluation of national foresight activities: Assessing rationale, process and impact. *Technological Forecasting and Social Change*, 73, 761–777. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2005.08.003>
- Harrell S., Seidel T., Fay B. (1996) The National Technology Roadmap for Semiconductors and SEMATECH future directions. *Microelectronic Engineering*, 30(1–4), 11–15. [https://doi.org/10.1016/0167-9317\(95\)00185-9](https://doi.org/10.1016/0167-9317(95)00185-9)
- Hirose Y., Phaal R., Probert D. (2015) *A Conceptual Framework for Exploring the Scalable Integration of Roadmapping and Innovation System Functions for Industrial Emergence*. Paper presented at the DRUID Academy Conference, Rebuild, Aalborg, Denmark. https://conference.druid.dk/acc_papers/g7in5823lv9xd696hb4csdbqkjge.pdf, дата обращения 22.04.2021

- Ho J.-Y., O'Sullivan E. (2019) *Key Principles for Integrating Multiple Roadmaps for Innovation System Foresight: Case Studies of RTOs with Innovation Missions Beyond Just Technology R D*. Paper presented at the 2019 Portland International Conference on Management of Engineering and Technology (PICMET). <https://doi.org/10.23919/PICMET.2019.8893831>
- Hussain M., Tapinos E., Knight L. (2017) Scenario-driven roadmapping for technology foresight. *Technological Forecasting and Social Change*, 124, 160–177. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.05.005>
- Isenmann R. (2008) Software-Werkzeuge zur Unterstützung des Technologie-Roadmapping. In: *Technologie-Roadmapping: Zukunftsstrategien für Technologieunternehmen* (eds. M.G. Möhrle, R. Isenmann), Berlin, Heidelberg: Springer, pp. 229–267. https://doi.org/10.1007/978-3-540-74755-0_12
- Kanama D., Kondo A., Yokoo Y. (2008) Development of technology foresight: Integration of technology roadmapping and the Delphi method. *International Journal of Technology Intelligence and Planning (IJTIP)*, 4(2), 184–200. <https://doi.org/10.1504/IJTIP.2008.018316>
- Kappel T.A. (2001) Perspectives on roadmaps: How organizations talk about the future. *Journal of Product Innovation Management*, 18, 39–50. <https://doi.org/10.1111/1540-5885.1810039>
- Kerr C., Phaal R. (2020) Technology roadmapping: Industrial roots, forgotten history and unknown origins. *Technological Forecasting and Social Change*, 155, 119967. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.119967>
- Kostoff R.N., Schaller R.R. (2001) Science and technology roadmaps. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 48, 2, 132–143. <https://doi.org/10.1109/17.922473>
- Kunseler E.-M., Tuinstra W., Vasileiadou E., Petersen A.C. (2015) The reflective futures practitioner: Balancing salience, credibility and legitimacy in generating foresight knowledge with stakeholders. *Futures*, 66, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2014.10.006>
- Lee J.H., Kim H., Phaal R. (2012) An analysis of factors improving technology roadmap credibility: A communications theory assessment of roadmapping processes. *Technological Forecasting and Social Change*, 79, 263–280. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2011.05.003>
- Martin B.R., Irvine J. (1990) Research Foresight: Priority-Setting in Science. *Prometheus*, 8, 199–202. <https://doi.org/10.1080/08109029008631897>
- Nimmo G. (2013) Technology Roadmapping on the Industry Level: Experiences from Canada. In: *Technology Roadmapping for Strategy and Innovation* (eds. M.G. Moehrle, R. Isenmann, R. Phaal), Berlin, Heidelberg: Springer, pp. 47–65. https://doi.org/10.1007/978-3-642-33923-3_4
- NRC (2012) *NASA Space Technology Roadmaps and Priorities: Restoring NASA's Technological Edge and Paving the Way for a New Era in Space*, Washington, D.C.: National Research Council <https://doi.org/10.17226/13354>
- Oliveira M.G., Fleury A.L. (2015) A framework for improving the roadmapping performance. In: *Proceedings of the 2015 Portland International Conference on Management of Engineering and Technology (PICMET)*, 2-6 Aug. 2015, Portland, OR, USA, pp. 2255–2263. <https://doi.org/10.1109/PICMET.2015.7273103>
- Park H., Phaal R., Ho J.-Y., O'Sullivan E. (2020) Twenty years of technology and strategic roadmapping research: A school of thought perspective. *Technological Forecasting and Social Change*, 154, 119965. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.119965>
- Phaal R., Farrukh C., Probert D. (2004a) Customizing Roadmapping. *Research-Technology Management*, 47, 26–37. <https://doi.org/10.1080/08956308.2004.11671616>
- Phaal R., Farrukh C.J.P., Probert D.R. (2004b) Technology roadmapping — A planning framework for evolution and revolution. *Technological Forecasting and Social Change*, 71, 5–26. [https://doi.org/10.1016/S0040-1625\(03\)00072-6](https://doi.org/10.1016/S0040-1625(03)00072-6)
- Phaal R., Farrukh C.J.P., Probert D.R. (2007) Strategic Roadmapping: A Workshop-based Approach for Identifying and Exploring Strategic Issues and Opportunities. *Engineering Management Journal*, 19(1), 3–12. <https://doi.org/10.1080/10429247.2007.11431716>
- Phaal R., Muller G. (2009) An architectural framework for roadmapping: Towards visual strategy. *Technological Forecasting and Social Change*, 76, 39–49. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2008.03.018>
- Popper R. (2008) Foresight Methodology. In: *The Handbook of Technology Foresight. Concepts and Practice* (PRIME Series on Research and Innovation Policy) (eds. L. Georghiou, J. Cassingena Harper, M. Keenan, I. Miles, R. Popper), Cheltenham: Edward Edgar Publishing Limited, pp. 44–90.
- Salmenkaita J.-P., Salo A. (2004) Emergent foresight processes: Industrial activities in wireless communications. *Technological Forecasting and Social Change*, 71, 897–912. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2003.09.001>
- Saritas O., Oner M.A. (2004) Systemic analysis of UK foresight results: Joint application of integrated management model and roadmapping. *Technological Forecasting and Social Change*, 71, 27–65. [https://doi.org/10.1016/S0040-1625\(03\)00067-2](https://doi.org/10.1016/S0040-1625(03)00067-2)
- Schuh G., Wemhöner H., Orilski S. (2013) Technological Overall Concepts for Future-Oriented Roadmapping. In: *Technology Roadmapping for Strategy and Innovation* (eds. M.G. Moehrle, R. Isenmann, R. Phaal), Berlin, Heidelberg: Springer, pp. 107–121. https://doi.org/10.1007/978-3-642-33923-3_7
- Strauss J.D., Radnor M. (2004) Roadmapping for Dynamic and Uncertain Environments. *Research-Technology Management*, 47, 51–58. <https://doi.org/10.1080/08956308.2004.11671620>
- Van De Ven H. (1993) The development of an infrastructure for entrepreneurship. *Journal of Business Venturing*, vol. 8, (3), 211–230. [https://doi.org/10.1016/0883-9026\(93\)90028-4](https://doi.org/10.1016/0883-9026(93)90028-4)
- Vishnevskiy K., Karasev O., Meissner D. (2015) Integrated roadmaps and corporate foresight as tools of innovation management: The case of Russian companies. *Technological Forecasting and Social Change*, 90, 433–443. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2014.04.011>
- Yasunaga Y., Watanabe M., Korenaga M. (2009) Application of technology roadmaps to governmental innovation policy for promoting technology convergence. *Technological Forecasting and Social Change*, 76, 61–79. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2008.06.004>