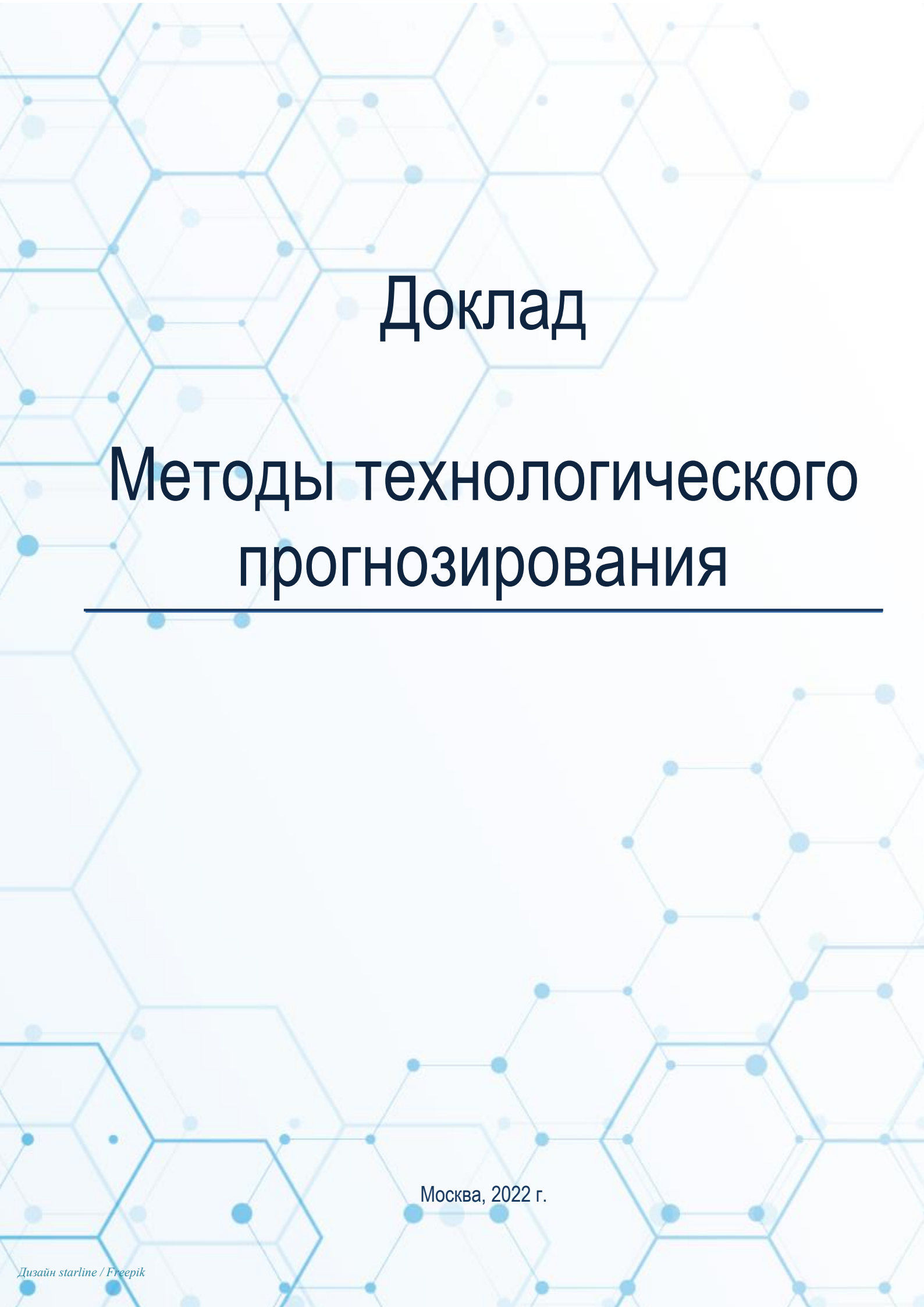




Доклад

Методы технологического прогнозирования

Москва, 2022 г.

Оглавление

I. Общие методы технологического прогнозирования	3
1.1. Прогнозирование жизненного цикла технологий	5
1.2. Прогнозирование смены технологий	20
1.3. Прогнозирование технологических изменений на макроэкономическом уровне	28
II. Технологическое прогнозирование в рамках традиционных методов разработки экономических прогнозов	38
2.1. Возможности и ограничения традиционных методов	38
2.2. Выделение научно-технологической компоненты с помощью межстрановых таблиц «Затраты - Выпуск».....	43
III. Альтернативные методы технологического прогнозирования	48
3.1. Форсайт-исследования.....	48
3.2. Концепции мультивселенности технологий и экосистем.....	52
Приложение 1. Практические применения технологического прогнозирования на основе логистической кривой	55
Приложение 2. Результаты использования межстрановых таблиц «Затраты- Выпуск» для оценки инновационной компоненты национальных экономик государств – членов ЕАЭС	61
Приложение 3. Результаты форсайт-исследования технологического развития государств – членов ЕАЭС	63

I. Общие методы технологического прогнозирования

Современная практика прогнозирования научно-технического и технологического прогресса (НТП) насчитывает свыше 130 методов. Однако все их многообразие можно свести к четырем основным методам:

- 1) экспертным;
- 2) логико-информационным;
- 3) статистическим;
- 4) комплексным.

В рамках логико-информационных методов наибольшее развитие вплоть до 1980-х гг. получило инженерное прогнозирование – наиболее распространенный и действенный вид прогнозирования НТП. Особое значение приобрело прогнозирование на основе патентной информации и инженерное прогнозирование нетехнических (организационно-экономических) нововведений.

В технологическом прогнозировании широко используются достаточно простые логистические кривые, которые часто называют кривыми обучения, так как они являются универсальным методом моделирования любых процессов развития, включая распространение новых технологий и описание их жизненного цикла. Простые методы подбора этих кривых на начальной части технологической траектории с высокой точностью определения их параметров и достоверностью прогнозирования всего жизненного цикла делают их ключевым инструментом технологического прогнозирования.

Технологическое прогнозирование позволяет достаточно точно предсказывать распространение любой новой технологии после того, как она выходит на устойчивую траекторию роста. В зависимости от планируемого срока жизненного цикла, можно рассчитать точку перегиба описывающей его логистической кривой – момента, с которого распространение технологии замедляется и дальнейшие инвестиции в ее совершенствование будут приносить убывающую отдачу.

Технологическое прогнозирование должно учитывать переменные, влияющие на скорость распространения технологий. В общем случае скорость процесса распространения технологии определяется 5 переменными:

- 1) формой принятия инвестиционного решения,
- 2) способом передачи информации,
- 3) свойствами социальной системы,
- 4) инновационной активностью хозяйствующих субъектов,
- 5) свойствами самого нововведения. К таким свойствам относятся: относительные преимущества новшества по сравнению с традиционными решениями, его совместимость со сложившейся

практикой и технологической структурой, сложность, накопленный опыт внедрения.

Технологическое прогнозирование ведется на микро-, мезо- и макроуровнях. Первый из них является наиболее отработанным: существуют тысячи моделей процессов жизненного цикла и распространения конкретных технологий, которые применяются в практике управления научно-техническим развитием на уровне фирмы. На микроуровне постоянно происходит обновление моделей и модификаций продукции, совершенствование ее параметров на базе улучшающих инноваций, для которых характерны краткосрочные (от 3х до 7 лет) циклы смены технологий.

На мезоуровне анализируются жизненные циклы совокупностей технологически сопряженных производств, которые определяют техническое развитие отраслей экономики. Предметом анализа на этом уровне является смена поколений техники и обновление активной части основных фондов, характеризующиеся среднесрочными (от 7ми до 20 лет) циклами.

На макроуровне предметом технологического прогнозирования являются жизненные циклы технологически взаимосвязанных совокупностей технологически сопряженных производств – технологических укладов (ТУ), охватывающих весь воспроизводственный комплекс экономики – от базовых технологий до типа общественного потребления. В основе жизненного цикла ТУ лежит кластер базисных инноваций, диффузия которых в экономической системе длится длительное время. Смена ТУ происходит раз в полстолетия посредством технологической революции, благодаря которой преодолевается длительная депрессия, возникающая в связи с исчерпанием возможностей экономического роста на основе сложившегося ТУ. Периодически происходящая смена ТУ проявляется в форме длинных волн экономической конъюнктуры Кондратьева и описывается различными моделями смены базовых технологий и связанных с ними совокупностей технологически сопряженных производств в базовых отраслях экономики.

Еще большая длительность жизненного цикла характерна для макротехнологий, представляющих собой комплекс технологически взаимосвязанных производств различных отраслей промышленности по созданию конечной высокотехнологичной продукции с высокой добавленной стоимостью. Как правило они относятся к инфраструктурным и системообразующим технологиям и определяют тенденции глобального технико-экономического развития.

Методология технологического прогнозирования весьма обширна, но общей базой для нее является моделирование жизненного цикла технологий различного назначения. Наиболее сложной задачей является построение комплексных моделей, связывающих жизненные циклы инфраструктурных, базовых, дополняющих,

улучшающих и замыкающих технологий. Этот процесс не формализуется в полной мере и требует сценарного моделирования, экспертных оценок, применения балансовых моделей, включая таблицы «затраты-выпуск», производственные функции и другие методы эконометрики для выявления макроэкономических последствий технологических изменений.

Использование достижений технологического прогнозирования для моделирования развития экономики на макроуровне в целях разработки мер государственной экономической политики – важная перспективная задача совершенствования системы управления в ЕАЭС.

1.1. Прогнозирование жизненного цикла технологий

Существует множество моделей жизненного цикла технологий (ЖЦТ), включающих различное количество этапов.

Жизненный цикл технологических нововведений представляет собой совокупность последовательно сменяющих друг друга различных этапов инновационного процесса. Для каждого этапа характерны сопутствующие им экономические риски.

Логистическая кривая (кривая обучения)

Наиболее простое описание жизненного цикла технологии дается на основе логистической кривой, которую часто называют кривой обучения или S-образной кривой, у которой есть точка перегиба, и которая приближается к фиксированному пределу. Верхний предел – максимальная возможная стоимость, максимальный уровень проникновения или объем продаж продукта. Установление верхнего предела к росту может быть трудным и неоднозначным. Ошибка при определении верхнего предела приведет к потере точности прогноза. Если продукт популярен и будет использоваться в течение многих десятилетий, то верхний предел близок к 100% уровня проникновения. Это означает, что продукт будет полностью заменен только после того, как все на рынке купили продукт.

Ею описываются все процессы развития в живой природе – от роста растений и расширения популяции животных до количества иностранных слов в словарном запасе учащегося и распространения технологий (Рисунок 1).



Рисунок 1. Использование логистической кривой в технологическом прогнозировании (Д – эмбриональная фаза, Е – фаза роста, F – фаза зрелости с последующим переходом в фазу упадка)

Можно дать простое объяснение этой универсальной форме распространения технологий. Сначала идет медленный процесс формирования информационно-технологических и экономических взаимосвязей, обеспечивающих применение технологии. Эту фазу медленного вызревания предпосылок воспроизводства технологии называют часто *эмбриональной*. Окружающая среда ещё к ней не готова, хозяйствующие субъекты боятся ее применять, т.к. мало информации, и она несовершенна. В этой фазе, как правило, существует множество альтернативных вариантов применения новой технологии.

По мере создания производственных возможностей ее дальнейшего развития, включая практическое освоение новой техники, формирование кооперационных связей, становление рынков сбыта, обучение персонала, вызревают предпосылки для взрывного роста данной технологии, остающейся после отбраковки ее менее совершенных аналогов. Технология оказывается востребованной общественным производством только после того, как формируется потребность в ее применении, и она становится экономически эффективной. Начинается процесс ее распространения, она пользуется спросом, в нее вкладывается капитал и ее распространение переходит в экспоненциальный режим подъема – фазу *роста*. Этот взрывной рост замедляется по мере достижения технологией пределов совершенствования с точки зрения технических возможностей и насыщения рынка. Наступает фаза *зрелости*, в которой технология выходит на стабильный режим воспроизводства. Темпы ее расширения падают, она занимает определенный сегмент в технологической структуре экономики.

Существует эмпирический закон, согласно которому, начиная с определенного момента прирост инвестиций, вкладываемых в совершенствование технологии, начинает давать убывающую экономическую отдачу. Далее неизбежно наступает момент, когда, сколько бы не вкладывали денег в совершенствование

технологии, эффекта не достигается, потому что технологические возможности ее совершенствования исчерпаны. Когда эффект инвестиций в совершенствование технологии становится отрицательным, а ее эксплуатация приносит убывающую отдачу, наступает фаза *упадка*. Жизненный цикл технологии постепенно завершается, поддерживаясь еще некоторое время сложившейся кооперацией производства, улучшающими и дополняющими нововведениями.

Традиционные модели прогнозирования, такие как простые логистические и модели Гомперца (Gompertz), требуют, чтобы верхний предел кривой был оценен до прогноза. Поскольку трудно оценить востребованность нового продукта или поступление заменяющего продукта при ограниченности имеющихся данных, традиционные подходы считают ненадежными и неточными. Дальнейшие модификации логистической модели сводились к повышению ее восприимчивости к новым продуктам, разным темпам распространения инноваций (диффузии инноваций) среди новаторов и имитаторов; сезонным изменениям продаж, сокращению жизненных циклов продуктов.

В развитие простых логистических функций появились расширенные логистические модели, которые подразумевают, что верхний предел не является постоянным, но меняется в течение долгого времени. Также для таких моделей характерно, что технологические инновации не происходят равномерно в течение какого-то времени, а появляются в кластерах или «инновационных волнах». Таким образом, расширенная логистическая модель является простой логистической моделью с пропускной способностью $k(t)$, которая является самостоятельной логистической функцией времени.

Предсказание коротких жизненных циклов имеет свои преимущества в таких сферах, как управление системами поставок, запасами и дизайн продукта. Короткие жизненные циклы продукта используются в сфере высоких технологий и креативных отраслях, в которых, чтобы оставаться конкурентоспособными, необходимо постоянно выводить на рынок новые продукты – новая электронная продукция с большим количеством функций, более высокой скоростью работы.

1. Простая модель логистической кривой

В большинстве случаев биологический рост следует S-образной кривой или логистической кривой, которая лучше всего моделирует рост и спад с течением времени. Так как внедрение технологий и продуктов, основанных на технологиях, подобно биологическому росту, для технологического прогнозирования широко используется простая логистическая модель. Многие новые модели прогнозирования были предложены на основе простой логистической модели и включают нововведения – такие как диффузионная модель Басса и расширенная логистическая модель. Важнейшей характеристикой простой логистической модели

является симметричность относительно точки перегиба. Эта особенность означает, что процесс, который произойдет после точки перегиба, является зеркальным отражением процесса, который произошел до этой точки.

Простая логистическая кривая имеет следующее математическое выражение:

$$\frac{dy}{dt} = \alpha(y - k_1)(k_2 - y), \quad (1)$$

где: t – параметр, выражающий совокупные затраты общества на развитие данной технологии (это могут быть затраты времени, денег или любого другого ресурса);

y – технологически значимый результат, достигаемый данной технологией (он также может быть выражен в натуральных или стоимостных единицах),

α – положительная постоянная (параметр «масштаба»), определяющая крутизну подъема данной кривой,

k_1 и k_2 – положительные константы, ограничивающие (соответственно снизу и сверху) результат функционирования технологии. При этом k_1 – это нижняя граница $y(t)$, выражающая исходные, стартовые, предельно низкие возможности технологии, а k_2 – ее технологический предел, характеризующий максимально высокие ее возможности.

2. Модель Гомперца

Модель Гомперца впервые была использована для расчета показателей смертности в 1825 г. и широко применялась в технологическом прогнозировании. Хотя кривая Гомперца похожа на простую логистическую кривую, она не симметрична относительно точки перегиба – имеет более пологий правый хвост (замедление роста происходит не так быстро, как происходило ускорение роста). Модель Гомперца достигает точки перегиба в начале тенденции роста и выражается как:

$$y(t) = ae^{be^{ct}} \quad (2)$$

где, a – верхняя асимптота,

b, c – отрицательные числа (параметры роста), b устанавливает смещение по x , c задаёт темп роста (масштабирование по x),

e – число Эйлера ($e = 2.71828\dots$).

Хотя прогнозная производительность простой логистической модели и модели Гомперца была подтверждена многими исследователями, модели имеют определенные ограничения при использовании для прогнозирования коротких жизненных циклов продукта. Причина в том, что почти невозможно оценить

правильный верхний предел для нового продукта, когда он впервые представлен на рынке.

Важно правильно установить верхний предел в простой логистической модели и модели Гомперца (Рисунок 2).

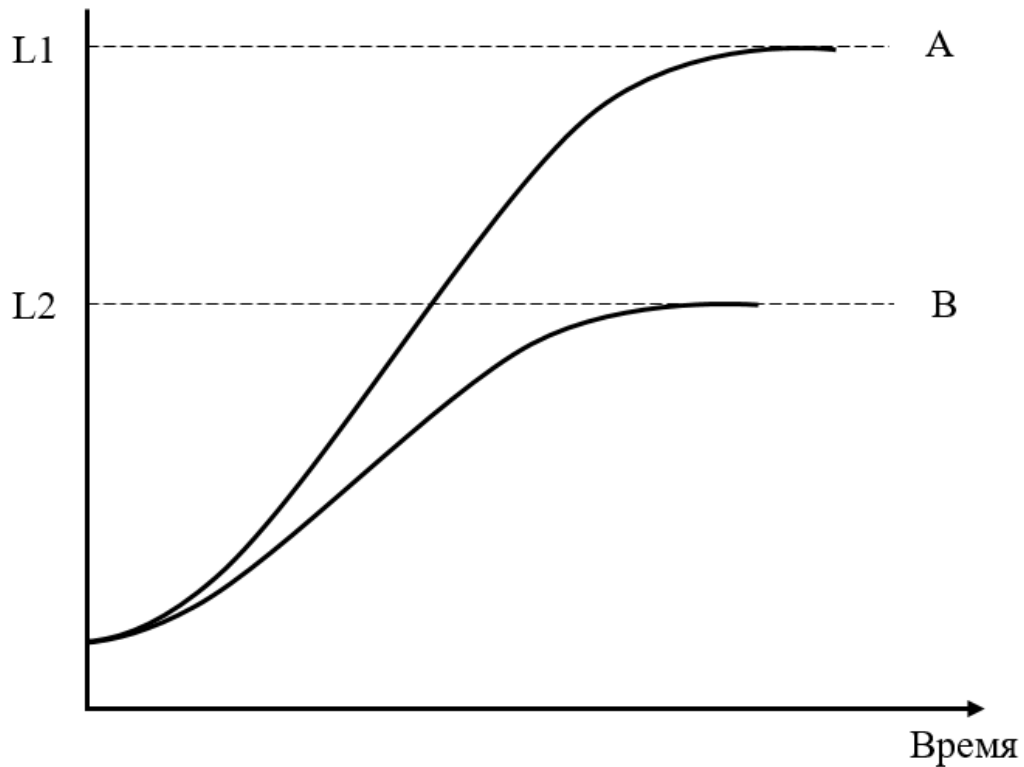


Рисунок 2. Кривые с разными верхними пределами

Как видно на рисунке кривые A и B начинаются в одной точке, но имеют разные верхние пределы, L_1 и L_2 . Так как верхние пределы установлены на разных уровнях, две кривые различаются, и результаты прогнозов будут разными.

3. Неустойчивая расширенная логистическая модель

Простая логистическая модель и модель Гомперца предполагают, что возможность внедрения технологий фиксирована и есть верхняя граница роста для этих моделей. Однако распространение новой технологии явление непостоянное и изменяется в течение долгого времени, поэтому исследователи предложили следующую модификацию.

Изменяющаяся во времени расширенная логистическая модель похожа на диффузионную модель Басса и может рассматриваться как частный случай этой модели.

Модель Басса была разработана для прогнозирования объема продаж, тогда как изменяющаяся во времени расширенная логистическая модель может быть изменена для прогнозирования объема продаж, а также других показателей, включая уровни проникновения на рынок. Поэтому для оценки была выбрана нестационарная расширенная логистическая модель, а не модель Басса.

Чтобы проверить точность прогнозов простой логистической модели, модели Гомперца и изменяющейся во времени расширенной логистической модели, аналитический процесс делится на два этапа.

Шаг 1. Оценка модели

Первый шаг используется для оценки моделей. После резервирования последних пяти точек данных для проверки точности прогноза простой логистической модели, модели Гомперца и изменяющейся во времени расширенной логистической модели, оставшиеся точки данных используются для оценки соответствия трем моделям. Для простой логистической модели и модели Гомперца коэффициенты модели оцениваются с помощью простой линейной регрессии. Для изменяющейся во времени расширенной логистической модели коэффициенты моделей оцениваются с помощью нелинейного метода наименьших квадратов с помощью статистического программного обеспечения SYSTAT. После того, как коэффициенты были вычислены и модели подогнаны, были рассчитаны оценочные значения.

Шаг 2. Подбор и прогнозирование

После того, как модели построены, выполняется сопоставление и прогнозирование характеристик между тремя моделями. Тест состоит из проверки остатков между фактическими значениями и расчетными значениями для измерения производительности модели. Два измерения, среднее абсолютное отклонение (MAD) и среднеквадратичная ошибка (RMSE) используются для вычисления остатков.

Для простой логистической модели и модели Гомперца необходимо установить верхний предел, чтобы получить точные результаты. Установка разных уровней верхнего предела для этих двух моделей приведет к получению разных результатов прогнозирования, и это также повлияет на характеристики соответствия и прогнозирования.

Эти измерения основаны на остатках, которые представляют собой расстояние между реальными данными и данными прогноза. Следовательно, если значения этих показателей малы, то соответствие и эффективность прогнозирования приемлемы.

Повышение точности прогнозирования требует прежде всего определения прогнозируемой системы и ее границ. Для повышения точности могут быть использованы законы развития технических (социотехнических) систем и исследования с логистическими моделями.

В одном из подходов используется морфологическая матрица, имеющая четыре измерения и 12 факторов: (1) осознание контекстов технологического прогнозирования (Technological Forecasting (TF) – технологическое прогнозирование (ТП)) (цель, период времени, область и уровень анализа); (2) сбор данных и

предварительно обрабатывающий (источник данных, элемент данных и мера); (3) анализ данных и проверка (подход, методология и оценка результатов деятельности); и (4) создание стоимости (результат и значение).

Технологическое прогнозирование, которое определено как ожидание характера, интенсивности и выбора времени изменений в технологии (Roper и др., 2011), является решающим компонентом принятия управленческих решений по таким проблемам, как выбор приоритетов, распределение ресурсов и снижение риска в разработке технологий.

Практические примеры применения логистических кривых для прогноза развития отдельных рынков представлены в Приложении № 1.

Модель жизненного цикла технологии

Удобным инструментом, позволяющим определить перспективность инвестирования в развитие технологии, является 5-этапная модель жизненного цикла технологии, состоящая из следующих фаз:

- 1) Изобретение. На этом этапе возникает краткое описание технологии, которые могут иметь коммерческое значение;
- 2) Создание опытного образца. На данном этапе возникает овеществление научно-технической идеи, подкрепленное предварительными расчетами технического характера;
- 3) Разработка проекта внедрения. Сведение к практике осуществляется в нескольких вариантах. Во-первых, возникает рабочая модель технологии и планируемого производственного процесса с привязкой к рыночным условиям ее внедрения. Во-вторых, на данном этапе планируется процесс производства, рассчитывается себестоимость продукта, определяются ключевые экономические параметры и характеристики. В-третьих, рассчитываются необходимые для внедрения технологии объемы ресурсов – материальных, финансовых, кадровых.
- 4) Опытное производство. Создаются производственные мощности для отработки технологии на практике. Осуществляются первые выпуски создаваемой на ее основе продукции.
- 5) Серийное производство. Технология получает массовое применение, идет процесс ее распространения. Это фаза роста масштабов ее использования. Применение технологии приносит прибыль ее разработчикам-владельцам интеллектуальной собственности. Ее использование сопровождается ростом производства продукции, повышением ее качества и снижением издержек.

Эта модель жизненного цикла технологии важна для привлечения средств в ее разработку и применение. В зависимости от фазы жизненного цикла различаются объем доступных инвестиций и условия, на которых изобретатель получает заемные средства (Рисунок 3).

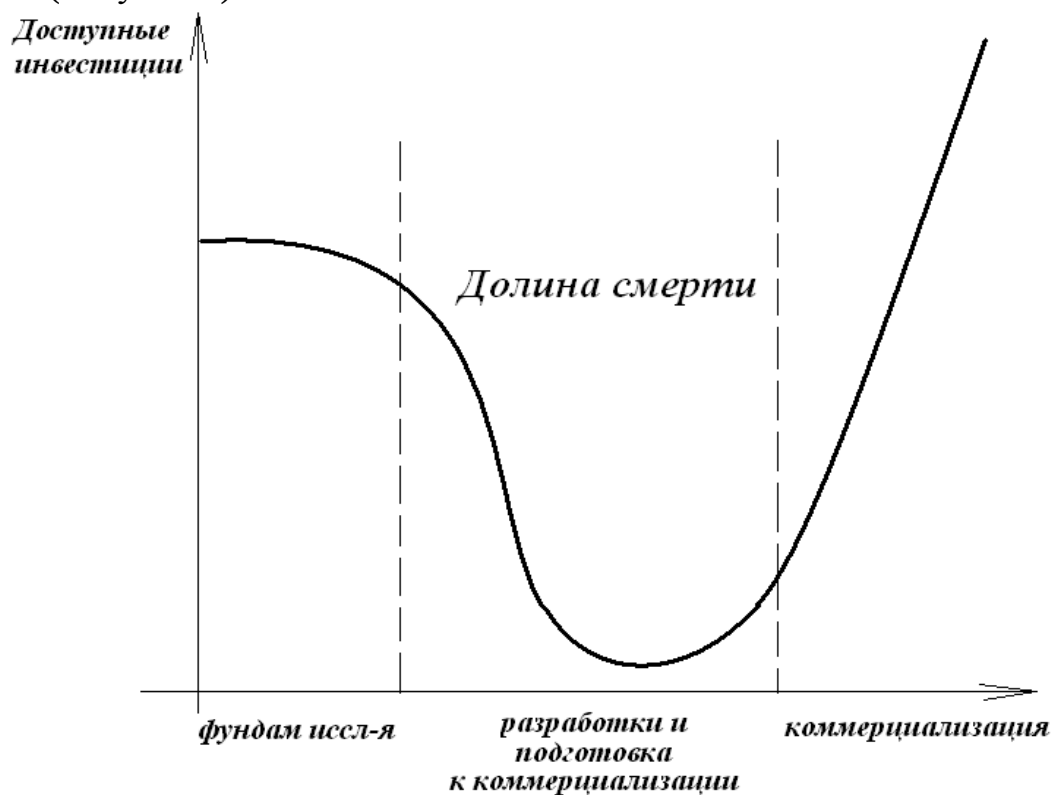


Рисунок 3. Доступность инвестиций в жизненном цикле инноваций

На стадии создания технологии при проведении поисковых и фундаментальных исследований и разработок изобретатель может рассчитывать на помощь государства в лице научных фондов и прочих некоммерческих организаций, задачей которых является финансирование фундаментальных и поисковых научных исследований, разработка перспективных технических решений. В дальнейшем, при переходе к внедрению технологии начинается процесс ее коммерциализации и эти организации более не могут оказывать ему помощь. При этом собственных средств для подготовки технологии к внедрению может оказаться недостаточно. Соответствующий период жизненного цикла нововведения получил название «долины смерти», поскольку подавляющее большинство изобретаемых технологий оказываются экономически невостребованными – их разработчикам не удается привлечь необходимое для внедрения финансирование и на этом их жизненный цикл обрывается.

«Долина смерти» - переход от стадии фундаментальных и поисковых исследований к разработке нововведения, характеризующийся острым дефицитом ресурсов для финансирования разработки. На данном этапе погибает подавляющее большинство новых технологий.

В случае успешного прохождения «долины смерти» начинается *коммерциализация разрабатываемой идеи*. Если в фазе опытного производства подтверждается перспективность и коммерческая привлекательность использования технологии, то находятся кредиторы и инвесторы, рассчитывающие на участие в доходах от реализации технологии. С переходом к серийному производству использование технологии генерирует растущую прибыль и по мере расширения производственных процессов, основанных на данной технологии, участники инновационного процесса получают интеллектуальную ренту.

Для снижения рисков обрыва жизненного цикла перспективных технологий в «долине смерти» целесообразно создание соответствующих механизмов финансовой и организационной поддержки новаторов, а также специализированных институтов, занимающихся их применением. В роли таких институтов могут выступать инновационные фонды, институты развития, бизнес-ангелы, корпорации и бизнес-группы, заинтересованные в разработке нововведения, венчурные фонды, а также другие организации, осуществляющие финансовую поддержку под государственные гарантии (например, специализированные банковские учреждения).

Хотя в условиях рыночной экономики продвижением инновационных проектов занимаются преимущественно частные предприниматели, создание институциональной системы, а также разработка методов технологического прогнозирования, необходимых для массового внедрения новых технологий – это задача государства.

Совместные усилия науки, государства и бизнеса по поддержке инновационных процессов приводят к тому, что «долина смерти» преодолевается при помощи «дороги жизни», выстраиваемой сообща этими тремя группами субъектов инновационной деятельности. В успешно развивающихся экономиках их совместная деятельность образует «тройную спираль», в рамках которой научные организации, государственные структуры и фирмы действуют совместно для поддержки инновационных процессов и для достижения целей научно-технического и экономического развития. В процессе этой работы могут возникать различные формы государственно-частного партнерства, но необходимо сознавать, что цели упомянутых трех групп агентов остаются различными. Критерий успешности бизнеса – это прибыль, тогда как для ученого-изобретателя важнее реализация идеи, доказательство ее плодотворности и практической применимости, безотносительно к коммерческим итогам. Задача государства – обеспечить развитие экономики, стимулировать экономический рост и занятость, и оно готово на известных условиях помочь частным агентам, прилагающим усилия в данном направлении.

Формы и механизмы поддержки такого рода в разных странах довольно сильно различаются. Признаком относительно низкого уровня развития институтов поддержки являются попытки правительственных структур разных уровней профинансировать инновационные процессы напрямую или через систему аффилированных институциональных агентов. Признаком относительно высокой степени институциональной проработки механизмов господдержки является создание инновационных кластеров и сетей, посредством которых удается поддержать инновационные процессы именно на тех стадиях, когда они в максимальной степени в этом нуждаются.

Современное технологическое прогнозирование должно проводиться на всех фазах жизненного цикла технологии как необходимый элемент управления организацией и финансированием процессов ее разработки и практического применения инновационных процессов. Управление инновационными проектами – это отдельная, самостоятельная область деятельности, составляющая предмет инновационного менеджмента. Как правило, жизненный цикл инновационных проектов описывается 6-ю последовательными стадиями:

- 1) *Стадия посева.* На этой стадии существуют лишь изобретатель и его идея, безотносительно к вовлечению каких-либо ресурсов, кроме интеллектуальных;
- 2) *Стадия стартапа.* Запуск инновационного проекта. Формируется команда, штат менеджеров, который готовит бизнес-план проекта.
- 3) *Стадия начальной прибыли.* Возникает готовая продукция, начинается коммерческая реализация нововведения.
- 4) *Стадия расширения.* Происходит финансирование расширения собственных мощностей компании, реализующей инновационный проект.
- 5) *Стадия приобретения мощностей.* Происходит вовлечение (покупка или аренда) дополнительных мощностей для развития инновационного проекта, подключение производственных возможностей других агентов.
- 6) *Стадия выкупа.* Инновационный проект завершается, поскольку бизнес перестает быть инновационным и превращается в обычное предприятие, чаще всего подлежащее продаже, в то время как его основатели работают над другими инновационными проектами.¹

В приведенной схеме реализации инновационных проектов первые три стадии называют ранними, последние три – поздними. Проектная форма финансирования инновационной деятельности противоречива, и история ее развития в разных

¹ Глазьев С.Ю. Управление развитием экономики: курс лекций / С.Ю. Глазьев. – Москва: Издательство Московского университета, 2019. – с. 91

странах представляет собой череду попыток смягчить эти противоречия путем согласования интересов различных сторон, участвующих в реализации инновационных проектов. В частности, косвенная помощь государства может выражаться в последовательном снижении барьеров входа в инновационные виды деятельности путем поощрения создания и диффузии технологий многоцелевого назначения, а также путем разработки надежных стандартов для некоторых видов продуктов, связанных с разработкой и внедрением высоких технологий.

Представленная 5-этапная модель ЖЦТ хотя и удобная, но неполная, поскольку описывает только первую («теневую») половину жизненного цикла нововведения. Более детальной является модель из 12 этапов жизненного цикла технологий².

1. Этап идеи. На этом этапе происходит осознание необходимости нововведения, рождаются первоначальные идеи его осуществления.

Основной риск данного этапа – неверная оценка потребностей в той или иной технологии (продукте или процессе).

2. Этап воплощения. Это этап конструктивной реализации предложенных идей в технологических решениях и принципах.

На этапе конструктивного воплощения возникает множество рисков, связанных с техническими обстоятельствами. Это один из критически важных этапов жизненного цикла любой технологии.

На данном этапе происходит первоначальный отсев высказанных идей, технологическое воплощение которых оказалось по тем или иным причинам невозможным или неудачным. Основными рисками являются невозможность технологического воплощения выдвинутой идеи, отсутствие приемлемых технологических решений, а также неверная технологическая оценка результатов проведенных исследований.

3. Этап обоснования. Здесь происходит экономическая оценка и обоснование полученных технических разработок. Речь идет не о конструктивной новизне, а об эффективности рассматриваемых инноваций. Нововведение внедряется в жизнь не тогда, когда инженеры и технологи сказали, что это ново, актуально и практически осуществимо, а тогда, когда экономисты сказали, что это выгодно.

Основной риск данного этапа заключается в неверном проведении расчетов, направленных на оценку эффективности технологий, подлежащих дальнейшей разработке. Ошибки могут быть связаны как с излишним оптимизмом, чреватых серьезными потерями для фирмы-разработчика, так и с неоправданным пессимизмом, побуждающим руководство компании отбросить перспективные

² Нижегородцев Р.М. Экономика инноваций. М.: Русайн, 2016

разработки, что чревато угрозой «атакующих» действий со стороны конкурентов, которые проводят аналогичные исследования.

4. Этап сопоставления. Варианты, прошедшие технико-экономическую экспертизу на предшествующем этапе, сопоставляются с существующими (предшествующими) аналогами.

Дальнейшему рассмотрению подлежат только те, которые выдержали сравнение с предшествующими аналогами и оказались в том или ином смысле лучше своих предшественников.

Основной риск – наличие конкурентоспособных аналогов, отсутствие патентоспособных результатов проведенных исследований, а также неверно проведенное сопоставление разрабатываемого нововведения с предшествующими аналогами, слишком переоценивающее или, наоборот, недооценивающее его возможности.

5. Этап испытания. Здесь осуществляется пробный выпуск, практическое испытание нововведения, точнее, тех его вариантов, которые не были отсеяны на предыдущем этапе. Это крайне ответственный этап в жизни каждой технологии: от подготовленности, продуманности различных деталей испытания, даже не имеющих прямого отношения к конструктивной реализации нововведения, решающим образом зависит ее судьба. Основной риск заключается в неправильной подготовке испытания. В частности, нарушение правил стандартизации и сертификации изделий (в том числе экологических и эргономических требований), а также несоблюдение требований патентной чистоты способны погубить даже очень перспективную и технологически совершенную разработку.

6. Этап внедрения. В случае успешного прохождения испытаний начинается массовое включение нововведения в производственный процесс, например, серийное производство изделий согласно новым технологическим принципам.

Данный этап характеризуется множеством рисков различного рода. Одним из важных аспектов является правильная защита информации, овеществленной во внедряемом нововведении. В частности, патентование на ранних сроках, когда еще не приняты меры по защите рынка, может привести к значительному ущербу конкурентоспособности итогового продукта (например, вследствие утечки информации). Если же процедура оформления патента отложена на долгий срок, это может привести к тому, что аналогичная разработка окажется запатентована конкурентами.

Прибавим к этому риски, связанные с ошибками, допущенными при разработке маркетинговой концепции: неправильное определение цены, неправильный выбор рыночной ниши и целевых групп потребителей, ошибочные представления о характере спроса на данный продукт (в частности, о степени

эластичности спроса по цене), неверная оценка возможностей конкурентов, неправильная организация сбытовой сети, ошибки в проведении рекламной кампании.

7. *Этап адаптации.* Здесь происходят сбор и обработка информации о реакции рынка (внешней среды) на внедренное нововведение и частичная адаптация рыночной тактики предприятия к сложившейся внешней среде. Основным риск данного этапа – неверная интерпретация рыночных сигналов, характеризующих реакцию рынка на данное нововведение.

8. *Этап модификации.* После считывания рыночных сигналов наступает пора на них отреагировать. На данном этапе происходят конструктивные изменения нововведения в соответствии с потребностями рынка, его модификации, способные лучше (по сравнению с исходным вариантом нововведения) приспособиться к требованиям рынка.

Как правило, на данном этапе уже понятно, в каком направлении созданный продукт или технология требуют доработки. Основным риском является неверная оценка ресурсов (финансовых, материальных, временных и прочих), необходимых для успешной доработки нововведения, для создания конкурентоспособных модификаций.

9. *Этап распространения.* Применение данного нововведения в тех или иных его вариантах становится массовым в пределах данного локального рынка, увеличивается выпуск продукции, удешевляется единица продукта. Данный этап заканчивается, когда применение нововведения уже не позволяет извлечь избыточную прибыль и обеспечивает условия производства, соответствующие общественно нормальным. На этом этапе фирмы-новаторы завершают бизнес-планирование разработки и внедрения данного нововведения, отныне этот процесс становится уделом фирм-имитаторов.

Основной риск состоит в том, что применение данного нововведения (продукта или процесса) практически полностью выходит из-под контроля фирмы-разработчика. Возможность работать над усовершенствованием идей, лежащих в основе разработки, отныне потенциально доступна любому пользователю.

Это значит, что фирма-новатор должна идти на шаг впереди своих конкурентов (реальных или потенциальных) и готовиться предложить новые возможности усовершенствования или замены успешно внедренного нововведения.

10. *Этап зрелости.* В этот период нововведение находит свое оптимальное производительное применение, что становится возможным благодаря его воздействию на развитие смежных, сопряженных и замещающих производств и технологических процессов. Тем самым, нововведение становится органической составной частью соответствующего технологического уклада. Этот факт

обеспечивает снижение общественно необходимых затрат труда в производственных процессах, в которых прямо или косвенно участвует данное нововведение.

На этом же десятом этапе обычно осознается конструктивная ограниченность нововведения, обнаруживаются технологические пределы, принципиально ограничивающие его возможности.

Большинство фирм-разработчиков заинтересовано в продлении этапов распространения и зрелости, в максимально долгом использовании предлагаемых ими разработок, что позволяет этим фирмам-новаторам в течение длительного периода получать инновационную ренту от предложенных ими нововведений. Риск заключается в быстром старении инновации, появлении более совершенных аналогов, в том числе и благодаря возможности удовлетворения тех же самых потребностей при помощи иных технологических средств.

11. Этап насыщения. В этот период обнаруживается непригодность данного нововведения для решения новых технологических проблем, стоящих перед развитием производства. Предпринимаются попытки принципиально новых усовершенствований нововведения, в результате которых прежние технологические принципы дают начало новым идеям.

12. Этап замещения. Это период спада в развитии данной технологии, когда нововведение, уже не обеспечивающее общественно нормальных условий производства, покидает производственный процесс.

Данные 12 этапов могут быть представлены в виде «зодиакальной» схемы (Рисунок 4), где условная «линия горизонта», отделяющая первые 6 этапов жизненного цикла от последних 6 этапов, разграничивает нововведение как «вещь в себе» и нововведение как «вещь для нас».

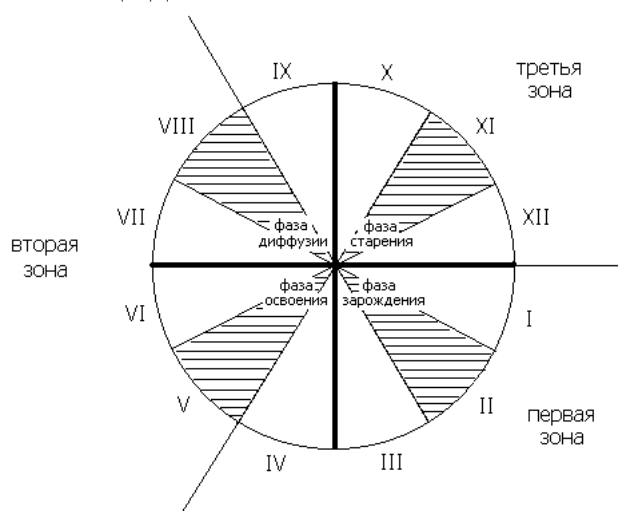


Рисунок 4. Обобщенная («зодиакальная») схема жизненного цикла нововведения³

³ Нижегородцев Р.М. Экономика инноваций. М.: Русайн, 2016

На разных этапах ЖЦТ используются разные методы технологического прогнозирования. Охарактеризованные выше логистические кривые жизненного цикла технологий охватывают лишь последние 6 этапов приведенной «зодиакальной» схемы, когда нововведение «выходит на свет», переходя от этапа внедрения к этапу адаптации, предполагающему первую реакцию внешней среды на его существование. До этого момента бессмысленно говорить о каком бы то ни было эффекте от развития технологии, тем более – сопоставлять этот эффект с затратами, а именно на этом сопоставлении базируются логистические модели ЖЦТ и расчеты эффективности и рискованности инновационных проектов. На первых пяти этапах ЖЦТ участникам инновационного процесса приходится полагаться на собственную интуицию, экспертные оценки, модели жизненного цикла предшествующих или конкурирующих технологий. Самый неопределенный период жизненного цикла – переход от 3-го к 4-му этапу. В этот момент ошибочное мнение всего двух-трех экспертов, неверно составивших или оценивших предварительный бизнес-план, способно прекратить развитие целого направления исследований или разработку технологического принципа, либо, напротив, дать ход нежизнеспособной, бесперспективной идее, разработка которой обернется катастрофическими убытками.

«Вершина» жизненного цикла технологии, точка ее наивысшего расцвета – это момент между 9-м и 10-м этапами развития. Именно этот момент следует максимально продлевать фирмам, доходы которых основаны на продаже, распространении и применении данной технологии. В данной фазе особенно важно использование моделей ЖЦТ для определения точки перегиба логистических кривых жизненного цикла как данной, так и конкурирующих технологий.

Описанные этапы жизненного цикла нововведений можно сгруппировать в 4 фазы, выражающие логику внутренней (технологической) динамики развития технологии для разработки методов технологического прогнозирования:

- 1) этапы 1–3 – зарождение, когда применимы только методы экспертных оценок;
- 2) этапы 4–6 – освоение, когда целесообразно применение логистических кривых,
- 3) этапы 7–9 – диффузия, когда, с учетом логистических кривых ЖЦТ могут использоваться стандартные методы разработки бизнес-планов;
- 4) этапы 10–12 – старение, когда следует начинать поиск новых технологических возможностей, используя форсайт-сессии.

С точки зрения макроэкономического аспекта технологического прогнозирования 12 этапов жизненного цикла технологических нововведений удобно разбить на 3 стадии, выражающие логику внешней (экономической)

динамики нововведения, взаимодействия инновационного процесса со средой, в которой он протекает:

- 1) первая стадия (этапы 1–4) характеризует дорыночный период разработки нововведения (до момента выхода на рынок), на которой макроэкономические эффекты распространения технологии незаметны;
- 2) вторая стадия (этапы 5–8) описывает собственно выход на рынок, на которой прогнозирование макроэкономического эффекта распространения технологии могут использоваться межотраслевые балансы с оценкой изменений коэффициентов прямых затрат на основе расчетов влияния применения данной технологии на межотраслевые связи и сопряженные производства;
- 3) третья стадия (этапы 9–12) содержит информацию о масштабе распространения технологии, ее макроэкономическом значении, на которой технологическое прогнозирование переходит в эконометрическое.

***Справочно:** коэффициент выбытия основного капитала в экономике наиболее развитых стран мира составляет 4–4,5 %, а по отдельным отраслям достигает 7–9 %. Сроки службы основного капитала в развитых странах составляют в среднем 8–10 лет, время морального устаревания технологических схем – 6–8 лет, сроки замены моделей технологического оборудования – 3–6 лет. Жизненные циклы различных нововведений, осуществляемых фирмами в одной и той же технологической сфере, всегда взаимно накладываются, перекрываются друг с другом.*

1.2. Прогнозирование смены технологий

Новые технологии могут многие годы существовать в качестве потенциально перспективных разработок, ведь наука непрерывно генерирует поток новых идей и научно-технических достижений, но пока не окупятся инвестиции в предшествующие им технологии, предприятия не спешат внедрять новые. Это связано с тем, что любое нововведение – это сложный процесс, который требует инвестиций, переобучения персонала, усилий. Часто смену технологий сопровождает замена руководителей компаний. Организации сохраняют свою устаревающую технологическую базу до тех пор, пока это позволяет им еще хоть как-то работать на рынке. И, тем не менее, со временем неизбежно совершается процесс замещения устаревшей технологии новой, потенциально более эффективной. Этот процесс является важной составляющей технологического прогнозирования.

Прогнозирование процесса замещения технологий основывается на следующих предпосылках. Производственный потенциал существующей технологии и временной резерв ее конкурентоспособного развития определяются

сравнением ее технологического предела с пределом новой, замещающей ее технологии⁴. Для оценки этих пределов используются логистические кривые жизненных циклов соответствующих технологий, а также экспертные оценки. Процесс замещения технологий может протекать более или менее быстро. В зависимости от этого всякий процесс технологической замены характеризуется более или менее длительным периодом отсутствия ведущей технологии в данной отрасли, когда обреченность старой технологии и ее несоответствие общественно нормальным условиям производства уже очевидны, а новая технология, способная занять ее место, еще недостаточно распространена, либо еще не определилась среди претендующих на эту роль нескольких конкурирующих технологий. Такой период называется периодом технологического разрыва.

Технологический разрыв – период, при котором несоответствие старой технологии требованиям современных реалий очевидно, но новая технология еще недостаточно распространена или не определена.

Процесс замещения технологий, динамика каждой из которых выражается логистической кривой, схематично изображен на рисунке (Рисунок 5). Для практических расчетов периодом технологического разрыва можно считать, как это показано на рисунке, время между ближайшими друг к другу точками локального максимума мгновенной кривизны двух соседних логистических кривых (т. е. между ближайшими друг к другу точками, где эти соседние кривые наиболее «выпуклы»; это корни третьей производной соответствующих логистических функций)⁵.

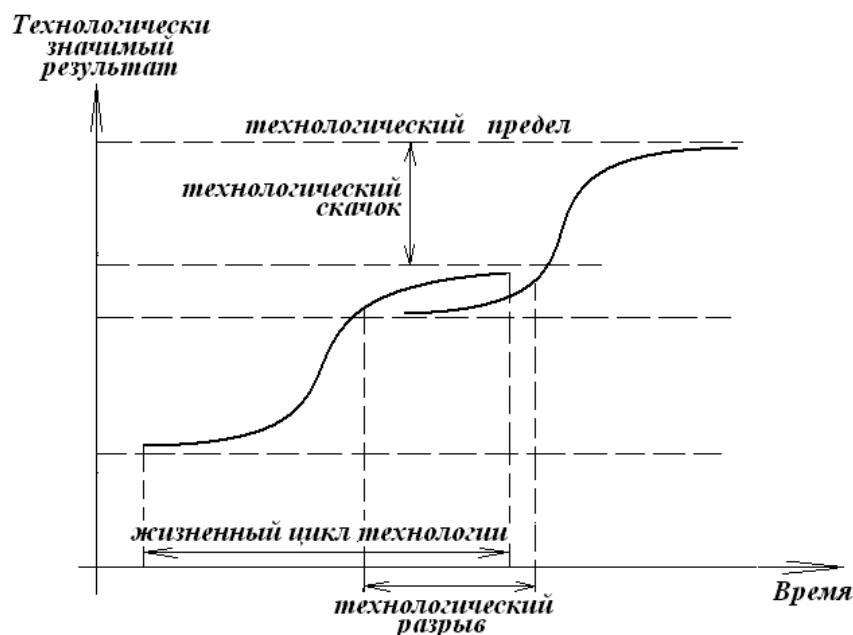


Рисунок 5. Динамика технологических сдвигов

⁴ Нижегородцев Р.М. Экономика инноваций. М.: Русайн, 2016.

⁵ Нижегородцев Р.М. Информационная экономика. Книга 1 Информационная Вселенная: Информационные основы экономического роста. Москва-Кострома, 2002. С. 63-64.

Важным фактором распространения технологии является ее взаимодействие с соответствующим социально-экономическим окружением, существенным элементом которого являются конкурирующие технологии. Общей методологической основой для многих моделей взаимодействия, в том числе замещения технологий, стала система дифференциальных уравнений Волтерра-Лотка⁶, решением которой в общем случае является семейство кривых с периодическими колебаниями⁷.

В реальной экономике диффузия новой технологии обычно действительно сопровождается вытеснением альтернативной старой, поэтому моделирование процессов замещения технологий представляет большой практический интерес. Предел распространения нововведения зависит от количества потенциальных субъектов, способных к его восприятию, появлением нового, более эффективного, нововведения, внедряемого в практику еще до завершения жизненного цикла предшествующего. Для описания этого процесса в эмпирических исследованиях используется модель Фишера-Прая⁸, которая отражает процесс замещения устаревшей технологии новой на основе модифицированной экспоненциальной зависимости между их долями в соответствующем экономическом пространстве:

$$\frac{F(t)}{1-F(t)} = \exp(at + b), \quad (3)$$

где $F(t)$ – доля новой технологии, $1-F(t)$ – доля вытесняемой ею устаревшей технологии в общем экономическом пространстве.

В основе этой модели лежат следующие предпосылки: замещение технологий является конкурентным процессом; если замещение одной технологии другой началось, оно будет продолжаться до ее полного вытеснения; скорость замещения пропорциональна доле вытесняемой технологии.

Петерка предложил обобщение данной модели для случая последовательного замещения более чем двух технологий. Для этого он ввел две дополнительные предпосылки: технология, достигшая предела распространения вследствие внедрения и роста новых более эффективных технологий, является самой старой среди распространяющихся в данный момент времени; доля технологии, достигшей предела распространения, определяется как остаток от суммы долей технологий,

⁶ Lotka A. Elements of Physical Biology. N.-Y., 1924; Volterra V. Lecons sur la theorie mathematique de la lutte pour la vie, 1931.

⁷ Классическим примером модели этого типа может служить модель Мэнсфилда (см.: Mansfield E. Technical Change and Rate of Imitation // Econometrica. 1961. V. 29. P. 741-766).

⁸ Модель Фишера-Прая является частным случаем модели Блэкмана, предложившего описание диффузии нововведений в терминах доли фирм, освоивших потенциальный рынок новой технологии (см. Blackman A.W. The Market Dynamics of Technological Substitution/TFSC.1974).

взаимодействующих в данный момент в соответствии с моделью Фишера-Прая. Это взаимодействие описывается уравнением:

$$f_i(t) = V_1 + \exp(-\alpha_i t - \beta_i), i \neq j, \quad (4)$$

где i – номер растущей технологии. Соответственно доля устаревшей технологии, вступившей в фазу насыщения, описывается уравнением:

$$f_j = 1 - \sum_{i \neq j} f_i(t). \quad (5)$$

Модель хорошо отражает реальные процессы последовательных технологических изменений в макроэкономических системах.

Пример использования этой модели – для описания процессов замещения базовых первичных энергоносителей, ведущих технологических процессов в металлургии, определяемых технологическими сдвигами в мировой экономике. Были разработаны и более общие модели, включающие переменные диффузионных параметров, обобщающие упомянутые выше уравнения диффузии нововведений⁹.

Наглядным примером последовательного замещения технологий является развитие вычислительной техники. В 50-е гг. прошлого века появились ламповые электронно-вычислительные машины, которые использовали известные в математике алгоритмы на примитивной технической базе. Эти ламповые ЭВМ занимали огромные площади, требовали гигантского количества энергии. В то время экономисты прогнозировали, что общий спрос на ЭВМ в мире будет измеряться сотнями штук со стороны правительств, банков и вооруженных сил, которым требовались большие вычислительные мощности. Но сейчас в кармане у каждого человека лежит мощнейшая ЭВМ, превосходящая вычислительные мощности всех компьютеров того времени, в виде мобильного телефона.

Технология производства и совершенствования ЭВМ прошла несколько жизненных циклов. Прорыв был осуществлен с появлением интегральной схемы в 1960 г. и микропроцессора в 1968 г., когда появилась возможность на базе микроэлектронных технологий провести резкое удешевление производства и эксплуатации ЭВМ, обеспечить их миниатюризацию и резкое удешевление стоимости единицы мощности. С тех пор каждые несколько лет в этой области происходит смена технологий с кардинальным повышением эффективности. Согласно открытой Г. Муром эмпирической закономерности развития технологической траектории производства интегральных схем, каждые полтора года происходит удвоение их плотности.

⁹ Это подтверждают эмпирические исследования – см. Grubler A. The Rise and Fall of Infrastructures. Wien, 1990; Marchetti C. Society as a Learning System. Discovery, Invention and Innovation Cycles Revisited // Technological Forecasting and Social Change. 1980. V.18.

Логика конкурентного развития современной микроэлектроники, являющейся основой микропроцессорной техники, заставляет производителей повышать быстродействие процессоров, увеличивать емкость памяти, уменьшать габариты устройств и удешевлять их. Поскольку основные технические характеристики электронных приборов во многом определяются размером электронных компонентов, их минимизация стала генеральным направлением технологической траектории развития микроэлектроники (Рисунок 6-Рисунок 7), охватившим все составляющие технологического процесса – литографическое оборудование, включающее эксимерный лазер, оптическую систему переноса изображения, систему позиционирования, сканирования и совмещения пластины и фотошаблона. Более сорока лет общая тенденция определялась так называемым законом Мура (Гордон Мур – один из основателей Intel), в соответствии с которым плотность компонентов интегральных электронных схем возрастала вдвое за каждые полтора года (соответственно размер схемных элементов уменьшался вдвое). Эта закономерность стала своего рода эмпирическим правилом в компьютерной промышленности, и вскоре оказалось, что не только память, но и каждый показатель производительности компьютера – размер микросхем, скорость процессора и т. д. – подчиняется этому правилу. Таким образом, был сделан вывод о том, что при сохранении этой тенденции мощность вычислительных устройств за относительно короткий промежуток времени может вырасти экспоненциально. Это наблюдение получило название – закон Мура.

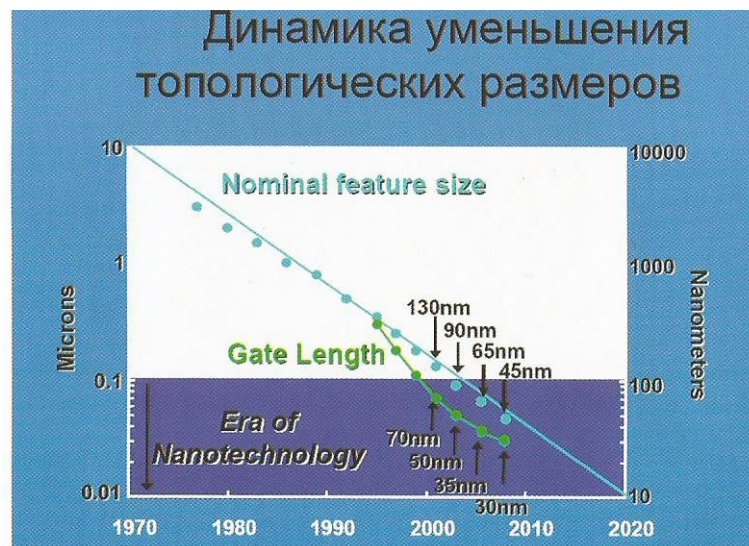


Рисунок 6. Динамика уменьшения топологических размеров полупроводниковых элементов по данным Intel

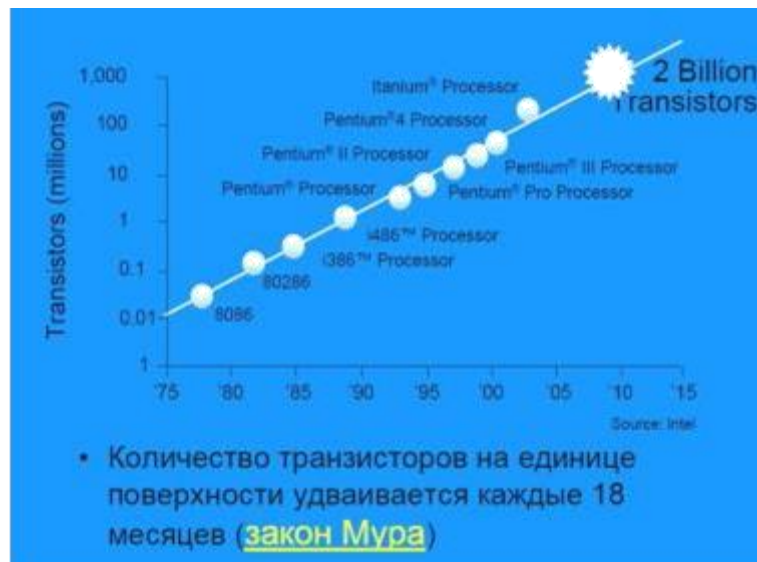


Рисунок 7. Динамика роста количества транзисторов на единицу поверхности БИС

В результате в начале XXI века в производстве микросхем был освоен наноразмер в 100 нм (Рисунок 8). Рубежом перехода этой технологической траектории к шестому технологическому укладу следует считать освоение диапазона экстремального ультрафиолетового излучения с длиной волны 13 нм.

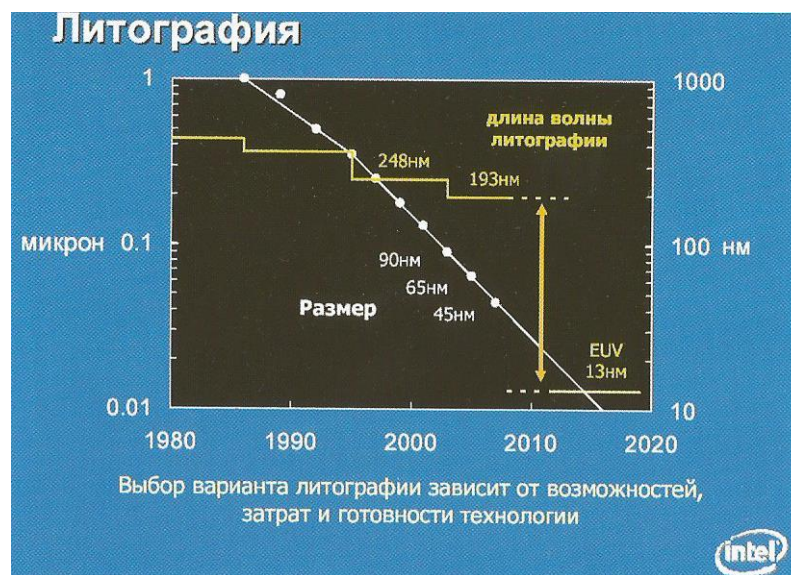


Рисунок 8. Динамика освоения длин волн литографии в производстве микросхем

Особенностью вхождения электронной промышленности в nano уровень является множество одновременных новаций в разработках материалов, конструкции интегральных схем, методах производства и др. Технологическая сопряженность уже сложившихся производств обуславливает синхронизацию взаимодополняющих и поддерживающих друг друга нововведений. Например, выпуск небольшого объема микросхем для супер ЭВМ позволяет создать вычислительные средства для систем автоматизированного проектирования (САПР)

в авиастроении и судостроении. Это, в свою очередь, создает возможность проектирования сложной аппаратуры и повышает спрос на информационные системы. Такого рода обратные связи с сильным положительным эффектом формируют траекторию роста нового технологического уклада. Хотя переход к новому технологическому укладу влечет за собой закрытие старых производств, строительство новых заводов, обеспечивает рост производства и подъем экономической активности. Так, некоторые западные фирмы (Аналог Дивайсиз, Интел и др.) закрывают большое число старых заводов и строят новые в разных странах. Технологическое обновление сопровождается быстрым ростом показателей эффективности и интенсивности производства одновременно с повышением его капиталоемкости (Таблица 1; Рисунок 9).

Об этом говорит «второй закон Мура», сформулированный в 1998 г. Юджином Мейераном, согласно которому стоимость фабрик по производству микросхем экспоненциально возрастает с усложнением производимых микросхем. Так, стоимость фабрики, на которой корпорация Intel производила микросхемы динамической памяти емкостью 1 Кбит, составляла \$4 млн., а оборудование по производству микропроцессора Pentium по 0,6-микрометровой технологии с 5,5 млн транзисторов обошлось в \$2 млрд. Стоимость же Fab32, завода по производству процессоров на базе 45-нм техпроцесса, составила \$3 млрд.

Таблица 1. Цены производства БИС в новых технологиях при массовом выпуске и в начале освоения небольшими партиями

Уровень технологии, нм	Цена БИС при массовом производстве, долл.	Цена БИС средних партий, долл.
500	30	100
180	15	200
130	15	300
95	10	500

Динамика развития и распространения нанотехнологий в электронной промышленности наглядно иллюстрирует логику формирования технологической траектории ядра нового технологического уклада. Если в начальной фазе его жизненного цикла, когда сфера применения нанотехнологии весьма ограничена, а соответствующая технологическая база только формируется, затраты на инвестиции в создание производственных мощностей невелики, то по мере развертывания технологической траектории быстро растут объемы как производства, так и инвестиций, резко поднимается эффективность производства, позволяя финансировать дальнейшее развитие. При этом лидеры быстро наращивают технологическое превосходство, а вход нанотехнологии в данную технологическую траекторию для новичков оказывается все более дорогостоящим и экономически рискованным.

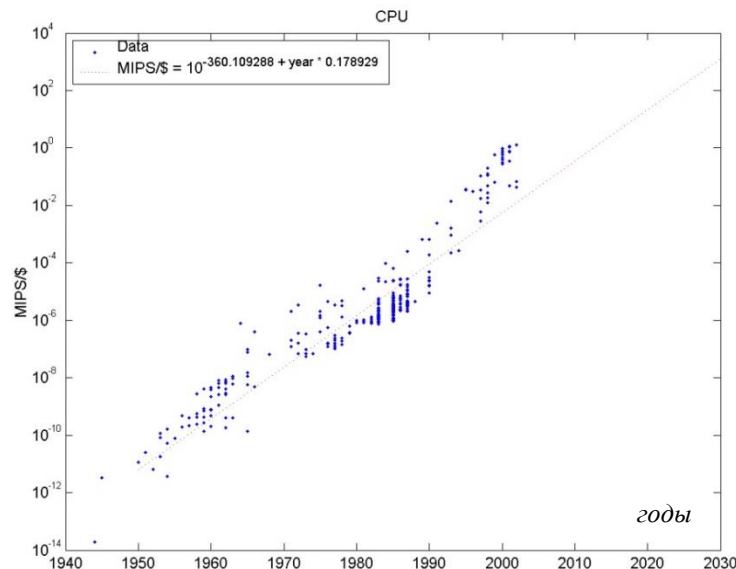


Рисунок 9. Рост вычислительной мощности процессора (CPU), доступной на 1 долл. США (MIPS/\$ в ценах 2007 года). Источник: <https://aiimpacts.org/historical-growth-trends/>

Особенно впечатляющим является динамика снижения цены единицы вычислительной мощности (Рисунок 9), которая наглядно демонстрирует антиинфляционный характер НТП. Нет сомнений, что в жизненном цикле нового технологического уклада эта тенденция продолжится.

Таким образом, мы видим, как деньги, вкладываемые в новые технологии, приводят к кардинальному повышению эффективности техники и удешевлению услуги по обработке и передаче информации в миллионы раз. Это наглядное подтверждение высокой практической значимости технологического прогнозирования для выбора приоритетов технико-экономического развития.

Охарактеризованная ранее (раздел 1.1) 12-этапная модель жизненного цикла технологий удобна для использования технологического прогнозирования в целях определения технологической стратегии фирм, находящихся на разных уровнях освоения достижений технического прогресса в данной области:

- 1) Технологические лидеры. Если технологическое воплощение следующего нововведения, осуществляемого фирмой (второй этап), совпадает по времени с пятым этапом (пробным испытанием) предыдущего нововведения, то фирма опережает события, она находится в числе технологических лидеров, работает на острие технического прогресса, и ее задача заключается в извлечении максимальных выгод из технологического лидерства (стратегия прорыва).
- 2) «В ногу со временем». Если второй этап жизненного цикла следующего нововведения приходится на восьмой этап предшествующего (этап его модификации), то такая ситуация соответствует общественно нормальному уровню темпов технологического развития, фирма идет в ногу с

техническим прогрессом, и ее задача – прочное удержание позиций в данной области и выход в число научно-технических лидеров (стратегия эволюционного развития).

- 3) Технологические аутсайдеры. Если же технологическое воплощение следующего нововведения, разрабатываемого фирмой, соответствует по времени этапу насыщения (одиннадцатому этапу жизненного цикла) предшествующего нововведения, – это значит, что данная фирма отстала, она не владеет новейшими технологическими достижениями в своей области и не видит существующих в ней актуальных технологических проблем. Ее основная задача заключается в ликвидации технологического отставания от основных конкурентов, в овладении текущей информацией о технологическом состоянии занимаемой ею рыночной ниши (стратегия выживания).

1.3. Прогнозирование технологических изменений на макроэкономическом уровне

Наиболее сложным предметом технологического прогнозирования является агрегирование жизненных циклов различных технологий в технологические сдвиги на макроэкономическом уровне. На этом уровне для прогнозирования макроэкономических показателей применяются эконометрические модели, основанные на статистическом совпадении динамики ВВП с динамикой основных факторов производства в соответствующей экономической системе (национального или регионального уровня): совокупного объема основного капитала (фондов), трудовых ресурсов (численности занятых), объема природных ресурсов (земли и полезных ископаемых). В современных эконометрических моделях пытаются учесть еще фактор НТП в виде необъяснимого остатка при разложении прироста ВВП по факторам производства. Но внутренняя структура этого «фактора НТП» никак не моделируется, вследствие чего эконометрические модели «не видят» технологических изменений и могут применяться только при прогнозировании динамики макроэкономических показателей в краткосрочной перспективе.

Для технологического прогнозирования на макроэкономическом уровне необходимо понимать логику сопряжения различных технологических процессов в развитии крупных производственных систем. Технологическая сопряженность обуславливает синхронность в развитии производственных комплексов различного уровня. Совокупности технологически сопряженных производств, в свою очередь, складываются в технологические уклады. Согласно классическому определению, технологический уклад – воспроизводящая целостность технологически

сопряженных однородных по техническому уровню производств в процессе развития мировой и национальных экономик.

***Технологические уклады** – это группы совокупностей технологически сопряженных производств, выделяемых в технологической структуре экономики, связанные друг с другом однотипными технологическими цепочками и образующие воспроизводящиеся целостности. Каждый такой уклад представляет собой целостное и устойчивое образование, в рамках которого осуществляется полный макропроизводственный цикл, включающий добычу и получение первичных ресурсов, все стадии их переработки и выпуск набора конечных продуктов, удовлетворяющих соответствующему типу общественного потребления.*

Технологический уклад составляет производственно-технологический каркас воспроизводства экономики, включающий технологии добычи первичных ресурсов, все стадии их переработки и выпуск набора конечных продуктов, удовлетворяющих соответствующий тип общественного потребления. ТУ, рассматриваемый в динамике функционирования, представляет собой воспроизводящуюся целостность - воспроизводственный контур. Это позволяет моделировать жизненный цикл ТУ как единого целого, используя тот же инструментарий, который был рассмотрен выше по отношению к ЖЦТ. Технологическая сопряженность влечет синхронность воспроизводства всех образующих ТУ производств. Его ядро составляет комплекс базисных технологий, к которому в течение жизненного цикла достраиваются дополняющие и улучшающие технологии. Они пронизывают всю экономику, локомотивом развития которой являются несущие отрасли, наиболее интенсивно использующие базисные технологии соответствующего ТУ. Поэтому для технологического прогнозирования на макроэкономическом уровне в качестве ориентира следует использовать жизненные циклы базисных технологий ТУ. К ним достраиваются жизненные циклы дополняющих и улучшающих технологий, которые синхронизируются в фазе роста ТУ. В каждой отрасли экономики методами технологического прогнозирования можно выявить и описать соответствующие процессы замещения технологий по мере смены ТУ.

Технологическое развитие экономики происходит в виде последовательной смены технологических укладов. К настоящему времени можно выделить жизненные циклы 5 последовательно сменявших друг друга ТУ, включая доминирующий в структуре современной экономики, ядро которого составляет комплекс информационно-коммуникационных технологий и микроэлектроника (Рисунок 10). Смена ТУ опосредуется технологическими революциями, кардинально меняющими структуру экономики и систему экономических оценок.

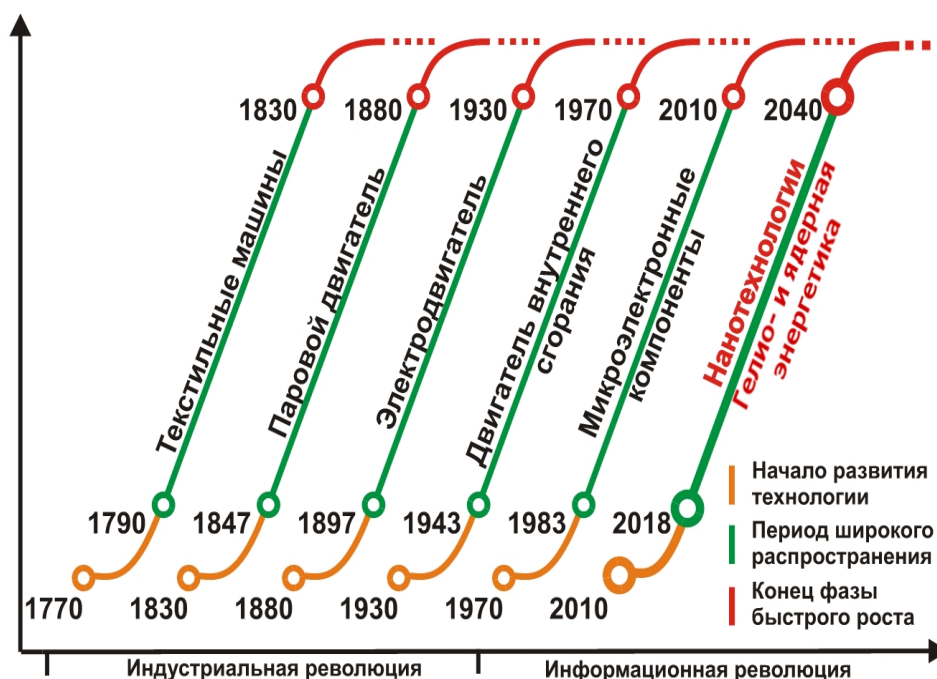


Рисунок 10. Ритм смены технологических укладов (ТУ)

Процесс замещения ТУ начинается с резкого роста цен на энергоносители и сырьевые материалы, обусловленного их избыточным потреблением в разросшихся технологических цепочках перезревшего ТУ. Этот всплеск цен соответствует максимуму отклонения энергопотребления от векового тренда. Скачок цен на энергоносители и сырье приводит к резкому падению прибыльности производства в технологических совокупностях доминирующего ТУ. Это служит сигналом к массовому внедрению новых, менее энерго- и материалоемких технологий. Одновременно происходит высвобождение капитала из достигших пределов роста производств перезревшего технологического уклада. По мере его перетока в производства нового ТУ происходит рост последнего.

Замещение ТУ требует, как правило, соответствующих изменений в социальных и институциональных системах, которые не только снимают социальную напряженность, но и способствуют массовому внедрению технологий нового ТУ, соответствующему ему типу потребления и образа жизни. После этого начинается фаза быстрого расширения нового ТУ, который становится основой экономического роста и занимает доминирующее положение в структуре экономики. В фазе роста нового ТУ большинство технологических цепочек предшествующего уклада перестраиваются в соответствии с его потребностями. Фаза роста нового ТУ сопровождается снижением издержек и повышением эффективности производства. С насыщением соответствующих общественных потребностей, снижением потребительского спроса и цен на продукцию нового ТУ, а также с исчерпанием технических возможностей совершенствования и удешевления составляющих его производств рост эффективности общественного

производства замедляется. В заключительной фазе жизненного цикла ТУ, совпадающей с фазой зарождения следующего, происходит снижение темпов экономического роста, а также относительное, а возможно, и абсолютное снижение эффективности общественного производства.

В это же время зарождается следующий, новейший ТУ, который пребывает в эмбриональной фазе до достижения доминирующим ТУ пределов роста, после чего начинается очередная технологическая революция. По мере развития очередного ТУ создается новый вид инфраструктуры, преодолевающий ограничения предыдущего, а также осуществляется переход на новые виды энергоносителей, которые закладывают основу для становления следующего ТУ.

Формирование воспроизводственного контура нового ТУ – длительный процесс, имеющий два качественно разных этапа. Первый – появление его ключевого фактора и ядра в условиях доминирования предшествующего ТУ, который объективно ограничивает становление производств нового ТУ потребностями собственного расширенного воспроизводства. На этом этапе традиционные методы макроэкономического прогнозирования не позволяют выявить перспективные направления развития экономики в долгосрочной перспективе. Они показывают лишь тенденцию падения макроэкономических показателей в силу постепенного исчерпания возможностей экономического роста на основе существующего ТУ. Перспективные направления развития можно определить только методами технологического прогнозирования. Второй этап наступает после технологической революции, когда начинается замещение базисных технологий доминирующего ТУ принципиально новыми и экономика выходит на новую длинную волну экономического роста. На этом этапе базисные технологии нового ТУ входят в фазу экспоненциального роста, обеспечивая устойчиво высокие темпы роста всей экономической системы. Наряду с методами технологического прогнозирования с хорошей достоверностью могут использоваться стандартные методы эконометрического прогнозирования.

Формирование нового ТУ может происходить в одной или нескольких странах, в которых созрели для этого условия. Страна может стать лидером нового уклада, не будучи лидером предыдущего. При этом технологически отстающие страны получают преимущество: в формировании воспроизводственного контура нового ТУ они могут ориентироваться на уже накопленный инвестиционно-технологический опыт развитых стран, оптимизируя состав создаваемых технологических цепочек для обеспечения целостности и оптимального масштаба соответствующих технологических совокупностей. Для выявления потенциальных преимуществ в технико-экономическом развитии и возможностей совершения скачка в экономическом развитии не обойтись без прогнозирования жизненного

цикла ТУ в передовых странах и предвидения появления базисных технологий нового ТУ. Это можно сделать комбинацией различных методов технологического прогнозирования, рассмотренных ранее.

Форма жизненного цикла ТУ определяется хорошо известной в теории НТП ограниченностью жизненного цикла любой технологии, который описывается логистической кривой, проходя фазы вызревания, бурного роста, зрелости и упадка. При достижении предпоследней фазы жизненного цикла инвестиции в развитие технологии приносят убывающую отдачу, переходящую в отрицательную одновременно с началом фазы упадка. В силу технологической сопряженности составляющих ТУ производств их развитие синхронизируется, вследствие чего форма жизненного цикла ТУ приобретает аналогичную форму логистической кривой, растянутой почти на столетие.

На рисунке (Рисунок 11) приведена актуальная иллюстрация жизненного цикла ТУ, в которой совмещается проходящий в настоящее время фазу родов новый ТУ и достигший пределов роста уходящий ТУ с соответствующими фазами длинных волн Кондратьева. На схеме заметно, что жизненный цикл ТУ описывается двумя последовательными логистическими кривыми. Первая из них отражает эмбриональную фазу его развития в условиях доминирования предшествующего ТУ, достижение которым пределов роста влечет переход экономики на понижающую фазу «длинной волны» и депрессию, которая влияет не только сложившиеся, но и новые производства. Вследствие общего ухудшения экономической конъюнктуры снижается инвестиционная и инновационная активность, новый подъем которой начинается с переходом нового технологического уклада в фазу роста, которая описывается многократно более масштабной логистической кривой, отражающей подъем всей экономики на новой технологической основе.

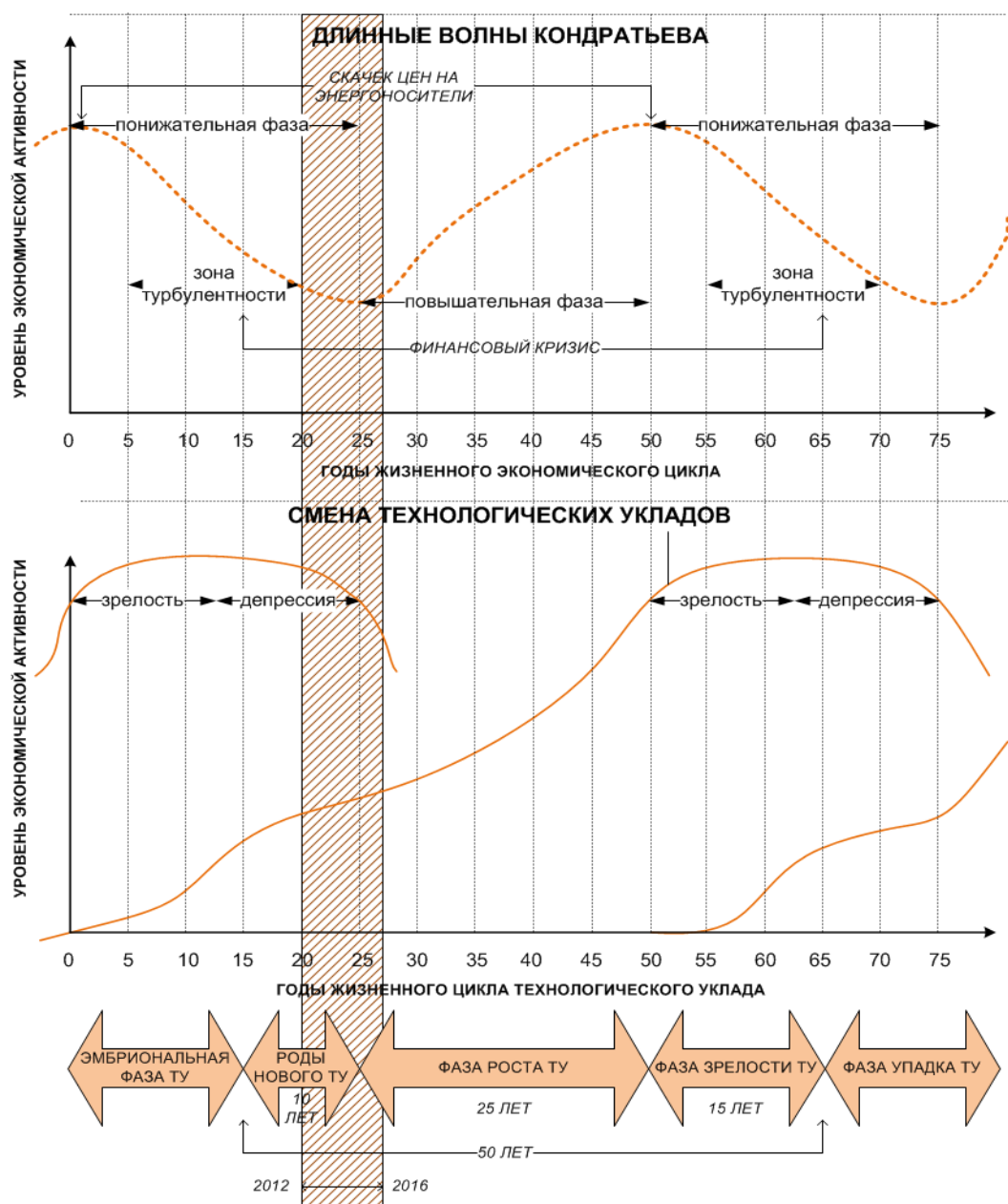


Рисунок 11. Жизненный цикл технологического уклада (ТУ)

В силу охарактеризованных выше закономерностей технико-экономического развития и воспроизводства общественного капитала жизненный цикл ТУ на поверхности экономических явлений отражается в форме «длинной волны» экономической конъюнктуры с фазами, соответствующими этапам этого цикла. Фаза депрессии соответствует этапу зарождения соответствующего ТУ, фаза оживления – этапу его становления, фаза подъема «длинной волны» – этапу его роста, фаза рецессии – этапу его зрелости, характеризующемуся исчерпанием возможностей дальнейшего экономического роста, продолжение которого становится возможным с переходом к новому ТУ.

Фаза роста нового ТУ сопровождается не только снижением издержек производства, происходящим особенно быстро с формированием его производственного контура, но и перестройкой экономических оценок в

соответствии с условиями его воспроизводства. Изменение соотношения цен способствует повышению эффективности составляющих новый ТУ технологий, а с вытеснением традиционного ТУ – эффективности всего общественного производства. Наиболее четко эти изменения проявляются в периодически происходящих колебаниях цен на энергоносители – с резкого повышения этих цен начинается падение эффективности доминирующего ТУ и процесс его замещения новым, более эффективным. По мере роста последнего энергоемкость общественного производства сокращается, падает спрос на энергоносители, снижаются цены на них, а также на энергоемкие материалы и сырье, что создает благоприятные условия для возобновления экономического роста на базе нового ТУ.

Резкое повышение цен на энергоносители заставляет всю остальную экономическую среду выходить на путь технологических изменений и запускает тем самым процесс перехода к новому ТУ. Однако перераспределение ресурсов из технологических совокупностей устаревающего ТУ в новый – длительный процесс, опосредованный финансовым рынком. Высвобождение капитала из устаревших производств занимает 10-15 лет, на которые приходится понижательная фаза длинной волны – падает экономическая активность. Это период, когда становятся востребованными новые технологии, начинается рост нового ТУ. Но, поскольку, эти новые базовые технологии неизвестны рынку, малопонятны инвестору особого перетока капитала не наблюдается. Экономика погружается в депрессию, что мешает перетоку капитала в новые технологии и значительная часть капитала задерживается в сфере обращения, что создает благоприятные условия для появлений финансовых «пузырей». Этот период нестабильности, турбулентности, резкого сокращения горизонта планирования с одной стороны стимулирует техническую революцию, с другой стороны общее подавление инвестиционной активности не позволяет новому ТУ быстро расти.

Теория долгосрочного экономического развития как процесса смены ТУ может служить основой для технологического прогнозирования на макроэкономическом уровне.

Результаты измерений, классификация и описание ТУ, состоявшиеся прогнозы связанных с их сменой технологических сдвигов подтверждают достоверность открытия закономерности периодической смены ТУ в развитии мировой и национальных экономик. Это создает научную основу для долгосрочного прогнозирования процесса технико-экономического развития, выбора приоритетных направлений НТП и формирования стратегии развития национальной экономики.

Научное и практическое значение открытия закономерности развития и смены ТУ состоит в следующем.

1. Меняет представление о долгосрочном экономическом развитии.

Если ранее развитие экономики представлялось как линейный равномерный стационарный процесс повышения ее эффективности вокруг некоторого равновесного состояния, то с открытием закономерности смены ТУ становится понятным принципиально неравновесный и нелинейный характер долгосрочного развития, как мировой, так и национальных экономик.

2. Объясняет неравномерность развития экономики, периодически происходящие затяжные депрессии и глубокие кризисы.

3. Доказывает отсутствие пределов экономического роста, которые преодолеваются при смене технологических укладов.

4. Позволяет достоверно прогнозировать долгосрочные технологические изменения в мировой и национальных экономиках, выявлять перспективные направления экономического роста.

5. Создает научную основу для формирования стратегии развития национальной экономики. В частности, в отношении отечественной экономики – стратегию опережающего развития на базе форсированного роста нового ТУ.

6. Определяет требования к системе регулирования экономики и макроэкономической политике.

С точки зрения настоящего периода состояние мировой экономики на основе теории ТУ можно охарактеризовать следующим образом.

В настоящее время происходит становление нового, 6-го ТУ. Сегодня формируются ключевые направления экономического роста в долгосрочной перспективе. Своевременное развитие ключевых производств 6-го ТУ формирует сравнительные преимущества, которые будут определять геоэкономическую конкуренцию до середины XXI века.

Ведущие страны мира успешно осваивают комплекс нано-, биоинженерных и аддитивных технологий, которые, наряду с информационно-коммуникационными, составляют ключевой фактор роста нового ТУ. Его «ядро» – комплекс нано-, биоинженерных, информационно-коммуникационных, аддитивных и цифровых технологий – расширяется с темпом около 35% в год, формируя технологические траектории новой «длинной волны» экономического роста. Наибольшая активность в освоении новых технологий наблюдается в солнечной энергетике, робототехнике, светотехнике, лазерных, информационных и биоинженерных технологиях. Самой большой отраслью становится здравоохранение, благодаря революции в медицине, которая происходит на основе клеточных технологий. Вторая отрасль по величине –

образование, поскольку с ростом продолжительности жизни приходится постоянно переобучать кадры, образование становится непрерывным (Рисунок 12).



Рисунок 12. Структура нового 6-го технологического уклада (ТУ)

Дальнейшее развитие получают гибкая автоматизация производства, космические технологии, производство конструкционных материалов с заранее заданными свойствами, атомная промышленность, авиаперевозки. Рост атомной энергетики и потребления природного газа будет дополнен расширением сферы использования водорода в качестве экологически чистого энергоносителя, существенно развернется применение возобновляемых источников энергии.

Производства нового ТУ многократно менее энергоемки и происходящая по мере их распространения технологическая революция влечет быстрое повышение энергоэффективности экономики, снижение энергоемкости ВВП, относительное сокращение спроса на энергоносители и падение их цены.

Развитие нового ТУ определяется динамикой воспроизводства человеческого капитала: на долю отраслей социальной сферы вскоре будет приходиться более половины ВВП. Соответственно, повышается приоритетность внедрения новых технологий в здравоохранении и образовании, социальных услугах. Меры по борьбе с пандемией коронавируса дали мощный толчок развитию биотехнологий, фармацевтики, информационных технологий в образовании, торговле и социальной сфере.

Произойдет еще большая интеллектуализация производства, переход к непрерывному инновационному процессу в большинстве отраслей и непрерывному образованию в большинстве профессий. Завершится переход от «общества потребления» к «интеллектуальному обществу», в котором важнейшее значение

приобретут требования к качеству жизни и комфортности среды обитания. Производственная сфера перейдет к экологически чистым и безотходным технологиям. В структуре потребления доминирующее значение займут информационные, образовательные, медицинские услуги, обеспечивающие воспроизводство человеческого капитала.

Переход к 6-му ТУ совершается через очередную технологическую революцию, кардинально повышающую эффективность ключевых направлений развития экономики. Стоимость производства и эксплуатации средств вычислительной техники на нано-технологической основе снизится еще на порядок, многократно возрастут объемы ее применения в связи с миниатюризацией и приспособлением к конкретным потребительским нуждам. Медицина получит в свое распоряжение технологии борьбы с болезнями на клеточном уровне, предполагающие точную адресную доставку лекарственных средств к пораженным участкам организма в минимальных объемах и с максимальным использованием способностей организма к регенерации. Наноматериалы обладают уникальными потребительскими свойствами, создаваемыми целевым образом, в том числе для многократного повышения прочности, износостойкости, надежности создаваемых из них изделий. Трансгенные культуры многократно снижают издержки, увеличивают эффективность и улучшают потребительские качества фармацевтического и сельскохозяйственного производства. Генетически модифицированные микроорганизмы будут использоваться для извлечения металлов и чистых материалов из горнорудного сырья, революционизируя химико-металлургическую промышленность. В машиностроении на основе системы «нанокomпьютер-наноманипулятор» создаются сборочные автоматизированные комплексы и 3D принтеры, способные собирать любые макроскопические объекты по заранее снятой либо разработанной трехмерной сетке расположения атомов. С развитием наномедицинских роботов и клеточных технологий в медицине кардинально расширяются возможности профилактического лечения и продление человеческой жизни.

К настоящему времени новый ТУ вступил в фазу экспоненциального роста, обеспечивая глубокую модернизацию всех отраслей экономики, проявляясь в опережающем росте и носит более гуманитарный характер, чем предыдущие ТУ.

II. Технологическое прогнозирование в рамках традиционных методов разработки экономических прогнозов

2.1. Возможности и ограничения традиционных методов

Наиболее популярный традиционный метод прогнозирования состоит в анализе временных рядов отдельных индикаторов.

Временной ряд есть последовательность, в которой каждое значение содержит в себе прошлое для последующих состояний. Любая попытка предвидеть в перспективе изменение индикаторов экономического развития без исследования прошлого является малообоснованной. Поэтому для получения достаточно точных и надежных прогнозов индикаторов, необходимо, прежде всего, изучать настоящее состояние и ретроспективу уровня экономического развития. Это вовсе не очевидная задача, решение которой требует применения ряда диагностических методов, учитывающих, что временные ряды индикаторов экономического развития формируются под воздействием тенденций, случайной и сезонной компонент.

Главный вопрос состоит в поиске наиболее подходящих индикаторов, которые отражают связь затрат на исследования и разработки (ИиР) и параметров технологических изменений, включая формирование спроса на технологии.

При этом, если в развитых странах эта связь, прежде всего, определяется уровнем вложений в ИиР (прямые затраты - Таблица 2), то для развивающихся стран речь может идти об анализе спроса на результаты ИиР, производимых в других странах (косвенные затраты).

Таблица 2. Усредненные затраты на НИОКР по отношению к выпуску в странах технологических лидеров

Вид деятельности	Средние отраслевые затраты на НИОКР в % к выпуску - Германия, Япония, Корея, США							Среднее за 2012-2016 гг.
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
Сельское хозяйство	0,18	0,11	0,11	0,10	0,10	0,11	0,13	0,11
Добыча полезных ископаемых	0,37	0,38	0,46	0,46	0,41	0,52	0,51	0,47
Производство пищевых продуктов, напитков, табачных изделий	0,28	0,43	0,44	0,49	0,47	0,57	0,44	0,48
Производство текстильных изделий, одежды, кожи и изделий из кожи	0,50	1,31	1,33	1,42	1,40	1,38	1,67	1,44
Обработка древесины и производство изделий из дерева и пробки, кроме мебели, производство изделий из соломки и материалов для плетения	1,49	1,50	1,49	1,31	1,20	1,20	1,29	1,30
Производство кокса и нефтепродуктов	0,18	0,20	0,15	0,13	0,14	0,20	0,23	0,17
Производство химических веществ и химических продуктов	1,84	2,01	2,04	2,03	2,06	2,26	2,37	2,15
Производство лекарственных средств и материалов, применяемых в медицинских целях	12,95	12,57	13,41	12,94	12,89	12,74	13,17	13,03
Резиновые и пластмассовые изделия	1,09	1,09	1,24	1,31	1,30	1,16	1,49	1,30
Производство прочей неметаллической минеральной продукции	0,81	1,15	1,26	1,23	1,17	1,07	1,10	1,17
Металлургия	0,39	0,41	0,44	0,43	0,46	0,48	0,50	0,46
Производство готовых металлических изделий, кроме машин и	0,51	0,56	0,53	0,56	0,54	0,57	0,57	0,55

Вид деятельности	Средние отраслевые затраты на НИОКР в % к выпуску - Германия, Япония, Корея, США							Среднее за 2012-2016 гг.
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
оборудования								
Производство компьютеров, электронных и оптических изделий	9,93	10,84	12,15	12,47	12,96	12,96	13,43	12,79
Производство электрического оборудования	2,22	2,22	2,08	2,51	2,47	2,26	2,48	2,36
Производство машин и оборудования, не включенных в другие группировки	2,39	2,82	2,84	2,92	2,87	2,93	2,97	2,91
Производство автотранспортных средств, прицепов и полуприцепов	3,95	4,42	4,46	4,27	4,48	4,39	4,50	4,42
Производство прочих транспортных средств и оборудования	4,11	4,06	4,01	5,18	4,84	4,94	2,80	4,35
Строительство	0,18	0,24	0,26	0,24	0,23	0,18	0,17	0,22
Услуги транспорта	0,03	0,06	0,05	0,08	0,06	0,05	0,05	0,06
Туризм, гостиницы, рестораны	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01
IT услуги	1,96	1,88	1,95	1,95	2,15	2,07	2,10	2,04
Финансовые и страховые услуги	0,07	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08	0,11	0,08
Профессиональные, научные и технические услуги	1,09	1,18	1,11	1,12	1,12	1,19	1,13	1,13
Деятельность в области спорта, отдыха и развлечений	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

Ключевым этапом реализации методики анализа тенденции в изменении индикаторов экономического развития является их моделирование – нахождение аналитической функции, выражающей развитие макроэкономических показателей за рассматриваемый период времени. Данный процесс, состоящий в определении математической функции, которая наиболее полно и адекватно отражает реально существующие тенденции и закономерности, которые имеют место в изменении индикаторов, называют методом аналитического выравнивания.

В ходе данного метода решаются следующие задачи:

- выбор вида уравнения, отображающего тип развития на том или ином временном периоде;
- оценка параметров модели;
- определение степени близости эмпирических значений признаков от теоретических, полученных по уравнению тренда.

Для отображения тенденции изменения индикаторов экономического развития во времени применяются различные формы трендовых моделей, полиномы разной степени, экспоненты, логистические кривые и другие функции.

Выбор формы трендовой модели, наилучшим образом аппроксимирующей реально существующие тенденции, может быть осуществлен методом разностного исчисления.

Из эмпирических методов выбора формы трендовой модели могут быть использованы средняя квадратическая ошибка; критерий минимизации суммы квадратов отклонений эмпирических значений признака от теоретических, полученных по уравнению тренда и т.д.

Статистическое прогнозирование индикаторов предопределяет оценку индикаторов и дает характеристику показателей в будущем. Одним из наиболее распространенных методов статистического прогнозирования экономического развития является *экстраполяция*.

Экстраполяцию в общем виде можно представить формулой вида:

$$\hat{y}_{t+L}^* = f(y_i, L, a_i), \quad (6)$$

где y_i – текущий уровень исходного временного ряда;

L – период упреждения;

a_i – параметр уравнения тренда.

Прогнозы индикаторов экономического развития на основе экстраполяции временных рядов, как и любые статистические прогнозы, могут быть точечными или интервальными. Точечный прогноз есть оценка прогнозируемого показателя в точке (в конкретном году, месяце, дне) по уравнению, описывающему тенденцию показателя. Величина доверительного интервала определяется из выражения вида:

$$\hat{y}_t \pm t_\alpha \times \delta_{\bar{y}_t}, \quad (7)$$

где $\delta_{\bar{y}_t}$ – средняя квадратическая ошибка тренда;

$\hat{y}_t$ – расчетное значение уровня;

t_α – доверительное значение критерия Стьюдента.

Метод прогнозирования на основе экстраполяции тренда базируется на следующих предпосылках:

- исходный временной ряд должен описываться плавной кривой;
- общие условия, определяющие тенденцию развития изучаемого явления в прошлом и настоящем не должны претерпевать значительных изменений в будущем;
- исходный ряд динамики должен иметь достаточное число уровней, с тем, чтобы отчетливо проявилась тенденция.

Трендовые модели индикаторов экономического развития выражаются различными функциями, на основе которых строятся модели прогноза и осуществляется их оценка.

Существенной проблемой применения трендовых моделей является обеспечение точности прогноза, которая условна в силу следующих причин:

- выбранная для прогнозирования функция не является единственно возможной;

- наличие случайного компонента в уровнях временных рядов приводит к тому, что любой прогноз осуществляется с определенной долей вероятности.

Прогнозирование индикаторов экономического развития методом экстраполяции тренда основывается на анализе тенденций развития одномерных временных рядов. Однако прогноз по аналитическому выражению тренда строится только на базе детерминированной составляющей временного ряда и не учитывает случайный компонент. Чтобы избежать этой ошибки и обеспечить точность прогноза индикаторов, необходимо определить закономерность изменения во времени случайного компонента, после чего построить прогноз случайной составляющей временного ряда. Результаты обоих прогнозов комбинируются мультипликативно или аддитивно.

Кроме того, методы прогнозирования на основе временных рядов основаны на равнозначной оценке исходной информации, независимо от того отражала ли эта информация новейшие тенденции развития.

С целью решения данного недостатка применяют принцип дисконтирования, согласно которому для построения точных и надежных прогнозов более поздняя информация имеет больший удельный вес по степени информативности, чем более ранняя информация. На базе данного принципа разработаны такие методы статистического прогнозирования, как метод экспоненциального сглаживания и метод гармонических весов. Основным достоинством метода экспоненциального сглаживания является то, что метод взвешивает исходный ряд, описывающий экономический процесс и придает бóльший вес последним значениям. Это дает возможность построения прогнозной модели не на основе среднего уровня процесса, а на основе тенденции, сложившейся в последние периоды наблюдения (промежутки времени) экономического процесса.

Общая модель экспоненциального сглаживания представлена в виде:

$$St^{[k]}(y) = \alpha St^{[k-1]}(y) + (1 - \alpha)St_{t-1}^{[k]}(y), \quad (8)$$

где α – параметр сглаживания ($0 < \alpha < 1$);

k – порядок сглаживания.

Главной проблемой метода экспоненциального сглаживания является выбор оптимального параметра сглаживания α . На основании данного параметра происходит адаптация метода к изменению временного ряда, описывающего экономический процесс. Очевидно, что при различных значениях α модель прогнозирования будет давать различные результаты, что скажется на ее точности. Чем ближе α к единице, тем меньше последних значений временного ряда учитывается при экспоненциальном сглаживании, и наоборот, чем ближе α к нулю, тем в большей степени будут учитываться прошлые значения ряда.

При прогнозировании адаптивными методами следует учитывать, что прогноз будет получен на основе только временного ряда. В связи с этим для проверки корректности построенной модели прогнозирования необходима проверка автокорреляционной функции временного ряда, полученного на основе используемой модели прогнозирования. Автокорреляционная функция должна уменьшаться с ростом сдвига.

У адаптивных методов прогнозирования есть ряд недостатков, которые связаны со временем выявления изменений в исследуемом процессе. Так, изменения должны быть достаточно продолжительными, чтобы адаптационная модель могла их уловить и при этом сами изменения в построенной модели будут происходить с запаздыванием. Кроме того, адаптационные методы прогнозирования не смогут уловить изменения, происходящие слишком резко, без тенденции. Поэтому важно анализировать «особые случаи» («выбросы») в динамике.

Дальнейшее повышение точности прогнозирования связывают с использованием класса прогнозных моделей, основанных на одновременном исследовании всех компонентов временного ряда, описывающего исследуемый экономический процесс. В их основе лежит идея о построении модели с использованием авторегрессии и скользящего среднего (AutoRegressive Integrated Moving Average, ARIMA), объединяющей авторегрессию, скользящее среднее, тренд и сезонные колебания в единое целое. При всей своей формализации эти модели требуют больше временных затрат и опыта прогнозирования. Кроме того, для использования моделей ARIMA необходимо, чтобы временной ряд, описывающий рассматриваемый процесс, состоял из достаточно большого количества наблюдений.

Для повышения точности прогнозирования и адаптации для моделей ARIMA используют метод адаптивной фильтрации. Однако целесообразнее его использовать в качестве составной части другого метода прогнозирования с целью повышения точности первоначального прогноза. Кроме того, метод адаптивной фильтрации имеет много нерешенных проблем, таких как выбор параметров обучения, определение начальных условий, стационарность исходных данных.

Существенным недостатком рассматриваемых моделей является то, что их нельзя использовать в случае, если во временном ряде исследуемого процесса присутствует гетероскедастичность – непостоянство дисперсии временного ряда.

2.2. Выделение научно-технологической компоненты с помощью межстрановых таблиц «Затраты - Выпуск»

Анализ тенденций развития фундаментальных и прикладных научных исследований, технологических инновационных разработок, оценка мультипликативных эффектов будут не полными без использования такого инструмента, как расширенные межстрановые таблицы «Затраты - Выпуск» МТЗВ (и статические модели межотраслевого баланса на их основе), в явном виде учитывающие технологическую структуру экономик стран-партнеров ЕАЭС.

Однако есть ограничения. Ни одна из свободно-доступных на сегодня систем МТЗВ (WIOD, ОЭСР, Eora) не включают государства – члены ЕАЭС (за исключением Российской Федерации). К тому же даже наиболее современные МТЗВ (ОЭСР) датированы 2015 годом, при том, что межстрановой баланс ЕАЭС относится к 2016 году. Также МТЗВ ЕАЭС имеют структуру «продукт на продукт», а МТЗВ ОЭСР и WIOD являются отраслевыми и, следовательно, не могут быть использованы в качестве основы для расширенной МТЗВ. Таким образом, для построения искомого межстранового баланса дополнительно решаются следующие задачи:

- 1) построение продуктового межстранового баланса в максимально широкой номенклатуре стран за исключением ЕАЭС за год, максимально близкий к 2016 (далее – основа);
- 2) пересчет основы к 2016 году с помощью статической модели МОБ;
- 3) встраивание МТЗВ ЕАЭС в основу с учетом данных по международной торговле товарами и услугами.

Другое ограничение связано с выделением как таковой инновационной деятельности. В межстрановых таблицах «Затраты – Выпуск» (МТЗВ) научно-технологическая компонента включается в отрасль под названием «Услуги, связанные с научной, инженерно-технической и профессиональной деятельностью + административные и вспомогательные услуги» (по ОКПД2 разделы 69-82), которую с учетом видового состава сокращенно можно было бы так же назвать инновационной деятельностью.

Предлагаемая отраслевая классификация в МТЗВ ЕАЭС не позволяет выделить научно-технологическую компоненту в чистом виде. Речь не идет о том, что МТЗВ составлена в хозяйственно-отраслевом разрезе, а о том, что продукт с номером ОКПД 69-82 содержит не только компоненты инновационной деятельности, но содержит и такие, как аренда машин и оборудования, чистка и уборка производственных и жилых помещений, оборудования и транспортных средств и др. В этом смысле рассматриваемый продукт 69-82 не является чисто инновационной деятельностью.

Указанная выше отрасль, условно названная «инновационной деятельностью», включает такие составляющие, как «Аренда машин и оборудования», «Чистка и уборка производственных и жилых помещений, оборудования и транспортных средств», «Услуги туристических агентств, туроператоров и прочие услуги по бронированию и сопутствующие им услуги», «Услуги по проведению исследований и обеспечению безопасности».

***Инновационная деятельность** определяется как совокупность семи ее видов: исследования и разработки, маркетинг новой продукции, патентная деятельность, финансовые и организационные изменения, разработка конструкции и проектирование конечного продукта, инструментальная подготовка и организация производства, запуск производства.*

Опыт работы с мировыми и национальными таблицами «Затраты - Выпуск» показывает, что доля «неинновационной примеси» здесь приблизительно оценивается на уровне 10-15%.

В сравнении структура отрасли «Услуги, связанные с научной, инженерно-технической и профессиональной деятельностью + административные и вспомогательные услуги» для РФ, рассчитанная по таблице ресурсов за 2016-й год (Таблица 3; Таблица 4), показывает, что доля отраслей «Чистка и уборка производственных и жилых помещений, оборудования и транспортных средств», «Услуги туристических агентств, туроператоров и прочие услуги по бронированию и сопутствующие им услуги» и «услуги по проведению исследований и обеспечению безопасности» составляет 10,1%.

На первый взгляд принадлежность отрасли «Аренда машин и оборудования» к инновационной деятельности вызывает вопросы, но более детальный анализ состава отрасли указывает, что кроме аренды и лизинга машин и оборудования, в том числе производственного, включает «Услуги по предоставлению лицензий на право использования интеллектуальной собственности и аналогичных продуктов, кроме произведений, охраняемых авторским правом», имеющие непосредственное отношение к инновационной деятельности.

Такая оценка рассчитана по базовой, детализированной таблице ресурсов за 2016-й год, позволяющей, выделить долю таких «неинновационных» отраслей, как «Чистка и уборка производственных и жилых помещений, оборудования и транспортных средств» и «Услуги по проведению исследований и обеспечению безопасности» сохраняя, при этом, состав отрасли «Услуги, связанные с научной, инженерно-технической и профессиональной деятельностью + административные и вспомогательные услуги» согласно ОКПД2.

Таблица 3. Таблицы ресурсов и использования на примере Российской Федерации за 2016 г. в ОКВЭД 2

Деятельность в области права и бухгалтерского учета; деятельность головных компаний; консультации по вопросам управления.	Деятельность в области архитектуры и инженерно-технического проектирования, технических испытаний, исследований и анализа.	Научные исследования и разработки.	Деятельность рекламная и исследование конъюнктуры рынка.	Прочая профессиональная, научная и техническая деятельность; ветеринарная деятельность.	Аренда и лизинг.	Деятельность по трудоустройству и подбору персонала.	Деятельность туристических агентств и прочих организаций, предоставляющих услуги в сфере туризма.	Деятельность по обеспечению безопасности и исследованиям, обслуживанию зданий и территорий, административно-управленческого, хозяйственного и прочего вспомогательного обслуживания.	Всего
14,4	14,7	22,9	13,4	1,4	15,3	1,3	2,2	14,3	100,0

Таблица 4. Видовая структура отрасли «Услуги, связанные с научной, инженерно-технической и профессиональной деятельностью + административные и вспомогательные услуги» на примере Российской Федерации за 2016-й год, в % от суммарного выпуска

Услуги по аренде машин и оборудования (без оператора), бытовых изделий и предметов личного пользования.	Услуги, связанные с научными исследованиями и экспериментальными разработками.	Услуги юридические, услуги в области бухгалтерского учета и аудита; консультации по вопросам налогообложения, предпринимательской деятельности и управления предприятиями и организациями; услуги по изучению конъюнктуры, рынка и общественного мнения; услуги холдингов	Услуги в области архитектуры, инженерно-технического проектирования и смежных областях; услуги в области технических испытаний и исследований	Услуги по производству и распространению рекламы.	Услуги по подбору кадров, найму рабочей силы и предоставлению персонала.	Услуги туристических агентств, туроператоров и прочие услуги по бронированию и сопутствующие им услуги.	Услуги по проведению исследований и обеспечению безопасности.	Услуги по чистке и уборке помещений, оборудования и транспортных средств.	Разные услуги, связанные с предпринимательской деятельностью.	Всего.
15,5	23,1	16,7	14,9	11,4	1,3	2,2	5,9	2,0	7,0	100

Выпуски отрасли «Услуги, связанные с научной, инженерно-технической и профессиональной деятельностью + административные и вспомогательные услуги» несущественно отличаются (на 1%). Соответственно, так же незначительно отличаются видовые структуры, приведенные в таблицах.

Таким образом, анализ видовой структуры отрасли «Услуги, связанные с научной, инженерно-технической и профессиональной деятельностью + административные и вспомогательные услуги», к примеру в РФ, показывает, что ее «неинновационная примесь» не превышает вышеуказанного уровня в соответствующей отрасли известных мировых таблиц «Затраты - Выпуск» (10-15%).

Отмеченное позволяет анализировать показатели межстрановых связей государств – членов ЕАЭС в инновационной сфере на основе данных отрасли «Услуги, связанные с научной, инженерно-технической и профессиональной деятельностью + административные и вспомогательные услуги» межстрановой таблицы «Затраты - Выпуск» для 5 стран – МТЗВ ЕАЭС 2016 (2020).

Отдельно следует отметить возможности анализа научно-технологической деятельности на основе МТЗВ ЕАЭС 2016 (2020). Отрасль «Научные исследования и разработки» согласно СНС 2008 являются частью валового накопления и почти весь ее выпуск отражается в валовом накоплении основного капитала (ВНОК). Кроме «Научных исследований и разработок» во ВНОК отражаются результаты «Деятельности в области архитектуры и инженерно-технического проектирования, технических испытаний, исследований и анализа» (по данным ТРИ-2016 для РФ – 44% от выпуска), также входящей в состав отрасли «Услуги, связанные с научной, инженерно-технической и профессиональной деятельностью + административные и вспомогательные услуги». Причем остальные виды деятельности, входящие в состав отрасли «Услуги, связанные с научной, инженерно-технической и профессиональной деятельностью + административные и вспомогательные услуги» во ВНОК не присутствуют.

Таким образом, хотя научно-технологическая компонента отдельно и не отражается в МТЗВ ЕАЭС 2016 (2020), тем не менее, в какой-то степени ее можно идентифицировать на основе раздела ВНОК отрасли «Услуги, связанные с научной, инженерно-технической и профессиональной деятельностью + административные и вспомогательные услуги».

Однако проведенный указанным образом анализ нельзя считать всеобъемлющей характеристикой инновационной интеграции, поскольку значимая доля инновационной сферы в виде «Научных исследований и разработок», а также часть отрасли «Деятельность в области архитектуры и инженерно-технического проектирования, технических испытаний, исследований и анализа» не включены в промежуточное потребление и отражены только в валовом накоплении основного капитала. Поэтому анализ коэффициентов полных затрат должен быть дополнен отслеживанием движения результатов научно-технических исследований в виде накопления основного капитала. Само по себе накопление основного капитала и его связь с производством – предмет исследований динамической модели межотраслевого баланса. Но движение инвестиционных товаров и услуг между государствами – членами ЕАЭС через экспорт вполне можно отследить на основе статической модели межстранового межотраслевого баланса.

Для целей анализа научно-технической интеграции государств – членов ЕАЭС можно использовать позицию «валовое накопление основного капитала» отрасли «Услуги, связанные с научной, инженерно-технической и профессиональной деятельностью + административные и вспомогательные услуги», так как эта позиция представлена только подотраслями «Научные исследования и разработки» и «Деятельность в области архитектуры и инженерно-технического проектирования, технических испытаний, исследований и анализа».

Проведенный анализ коэффициентов полных затрат результатов инновационной деятельности в какой-то степени позволяет составить представление о межстрановых связях национальных инновационных систем государств – членов ЕАЭС. Вместе с тем, только анализа значений коэффициентов полных затрат недостаточно для оценки уровня кооперации государств – членов ЕАЭС в научно-технологической и инновационной сферах. Анализ коэффициентов полных затрат должен сопровождаться исследованием количественных параметров цепочек добавленных стоимостей инновационной деятельности – оцениваются не столько глобальные потоки добавленной стоимости, сколько межстрановые цепочки для государств – членов ЕАЭС.

В мировой практике для оценки параметров применяется модель мирового межотраслевого баланса (МОБ) вида IRIO (Межстрановая модель межотраслевого баланса Inter-Regional Input-Output Model – IRIO), которая записывается в виде:

$$X = AX + f, \quad (9)$$

где A – матрица коэффициентов прямых затрат размерности $m \times n$;

X – вектор выпусков размерности $m \times 1$;

f – вектор конечного спроса размерности $m \times 1$;

m – количество стран;

n – количество отраслей.

Именно использование матрицы коэффициентов полных затрат позволяет учитывать не только прямое, но и косвенное участие отраслей и стран в создании конкретного продукта в составе вектора конечного спроса.

В связи с особой структурой МТЗВ ЕАЭС 2016(2020) расчет параметров несколько видоизменяется: поскольку стоимость промежуточного импорта из остального мира полностью переносится на стоимость конечной продукции ЕАЭС, эта величина равна импортированной из Остального мира добавленной стоимости. Следует отметить, что при таком подходе доля добавленной стоимости, импортированной из Остального мира, в стоимостной структуре конечного спроса ЕАЭС несколько преувеличивается, по сравнению с классическим подходом оценки параметров.

III. Альтернативные методы технологического прогнозирования

3.1. Форсайт-исследования

Форсайт-исследования являются наиболее простой формой, альтернативой традиционному методу прогнозирования (форкасту), состоящему в анализе трендов развития ключевых факторов и существующих неопределенностей и построении сценариев с количественными оценками, упорядочивающими возникающие неопределенности перспективного периода.

В отличие от форкаста форсайт предполагает привлечение широких слоев заинтересованных лиц к формированию образов возможного будущего. Осуществляется на основе Дельфи-опросов реальных участников бизнес- или научно-технологического процесса. Формируется совместное видение «повестки дня», являющееся, одновременно, элементом управления соответствующим процессом.

Главным направлением форсайт-исследований является оценка как глобальных процессов, воздействующих на состояние национальной экономики, так и возможностей оказания положительного влияния на их последствия, для чего используются имеющиеся материальные и интеллектуальные ресурсы. Исходя из тезиса о многовариантности развития ставится задача подобрать при каждом из нескольких возможных вариантов линию действия, позволяющую с высокой вероятностью вписаться в мировые процессы на более благоприятных условиях.

Эти исследования, проводимые в разных странах, на первом этапе (1991–1998) в полном соответствии с названием Technology Foresight имели исключительно технологическую направленность. Впоследствии большее значение стали приобретать проблемы социального, экологического характера, устойчивости экономического развития и т.д. В этой связи определение «технологическое» к термину «прогнозирование» сегодня едва ли применимо. Тем не менее оно по инерции продолжает часто использоваться в прогностических исследованиях, выходящих далеко за «технологические» рамки. Исследования категории форсайт направлены на длительную перспективу — от 10 до 30 лет.

Организация и методика форсайт-исследований существенно различаются по целому ряду параметров. Для того, чтобы быть эффективным, Форсайт должен следовать следующей логике:

1. Соединять в себе два подхода к определению перспективных областей стратегических исследований – определение «со стороны предложения» (исходя из логики развития технологий) и «со стороны спроса» (исходя из перспективных потребностей общества). Одним из результатов реализации первого подхода

становится определение списка критических технологий, второго – критических потребностей общества.

При этом разработки в рамках второго подхода должны обладать более высоким статусом.

Достаточно важным оказалось использование международных сопоставлений для выявления факторов, сдерживающих технологическое развитие и определение областей, требующих международной кооперации.

2. С самого начала должна быть ясность в отношении целей и конечных пользователей форсайта. Это позволяет не отклоняться от цели в процессе работы и кастомизировать форсайт под будущих пользователей.

3. Чтобы форсайт имел смысл, он должен проводиться в интересах ключевых действующих лиц и под наблюдением назначаемых ими кураторов. К работе над форсайтом должны вовлекаться представители основных лиц, имеющих интересы и ресурсы в рассматриваемых вопросах. Это позволяет (1) придерживаться заданных целей форсайта, концентрируя усилия участников форсайта, (2) упрощает привлечение практикующих отраслевых специалистов и (3) обеспечивает востребованность результатов форсайта, что на новом цикле работ позволит учесть просчёты предыдущего форсайта и доработать методологию с учётом полученного практического опыта.

Преимущества форсайта вытекают из того, что в этом случае прогноз формируется самими участниками процесса:

- позволяет учитывать реально существующие и реализующиеся планы активных участников научно-технического и экономического развития. За счёт включения в процесс прогнозирования большого количества участников, удаётся учесть разнообразный опыт, разные точки зрения на прогнозируемые процессы;
- «автоматически» формируется сеть взаимодействия участников процесса между собой (представителей бизнеса, науки и технологий, экспертного сообщества, государства). «Мягко» формируется управляющее воздействие долгосрочного характера.

При этом, форсайт имеет свои недостатки – принципиально не снимаемые в его рамках:

- высокий риск трансляции коллективных мифов, в данный момент популярных в опрашиваемом сообществе. Формулируя своё мнение о перспективах развития, участники форсайта могут пересказывать модные тенденции и недооценивать другие факторы;
- для долгосрочного форсайта необходимо наличие соответствующего, долгосрочного видения у участников процесса (а именно с долгосрочным

видением у субъектов бизнеса и науки имеются существенные разногласия). При этом отсутствие консенсуса будет вести к разбалансировке ожиданий (например, одни участники опросов могут исходить из ожиданий ускорения технологического развития, вплоть до «технологической сингулярности», другие – ожидать торможения технологического развития в рамках сценария «глобального структурного кризиса»);

- как правило, нет возможностей осуществления количественных оценок, без которых результаты форсайта будут сформулированы преимущественно в качественных характеристиках;
- высокий риск связан с формулировкой вопросов и характером интересов организационной группы форсайта, высок риск «скрытой подсказки».

Пример использования форсайт-метода для прогнозирования технологического развития государств – членов ЕАЭС представлен в Приложении № 3.

Дальнейшим развитием форсайт-метода может быть интеграция технологического форсайта с традиционным экономическим прогнозом, что позволило бы и усилить сильные стороны обоих методов.

Возможная схема реализации интегрированного метода (при «максимальном», дающем наибольшие результаты, но и наиболее трудоёмком, подходе) представлена на схеме (Рисунок 13).



Рисунок 13. Схема реализации интегрированного метода форкаст-форсайт

На *первом этапе* формируется набор форкаст-прогнозов. Это могут быть следующие прогнозы:

- прогноз мировой экономики (в том числе прогноз внешних условий экономического развития);

- предварительный прогноз развития науки и технологий. Производится увязка предварительного прогноза развития науки и техники с развитием экономики и общества (что позволяет оценить востребованность технологий и социально-этические риски их развития);
- макроэкономический прогноз, который станет основой для дальнейших работ по форсайту;
- прогноз развития важнейших отраслей (на базе макроэкономического прогноза), предварительно проводится анализ отраслевых аспектов спроса на технологические инновации;
- (дополнительно с учетом специфики форсайта в ЕАЭС): анализ сильных и слабых сторон научно-технологических комплексов государств-членов.

Такой набор форкаст-прогнозов позволяет сформулировать общие представления о внешних условиях для участников последующего технологического форсайта. Поскольку при прогнозировании научно-технического развития методом форсайта будут привлекаться специалисты в конкретных сферах науки и техники, важно задать внешние условия, которые оказывают значимое влияние на развитие соответствующих предметных областей. Производится информирование участников форсайта об основных параметрах социально-экономического прогноза в качестве основы для взаимодействия.

На *втором этапе* строится прогноз инновационного технологического развития на основе метода форсайта, реализуемый за счёт привлечения к прогнозированию специалистов в области науки и техники.

На *третьем этапе* на основе сформированного прогноза внешних условий и макроэкономического прогноза (проведённого методом форкаста) и прогноза развития техники (методом форсайта) формируется, методом форсайта, прогноз развития отдельных отраслей и спроса отраслей на технологии.

На *четвертом этапе* методом форкаста (на основе модельных расчётов) строится итоговый вариант макроэкономического прогноза с учётом достигнутых результатов инновационного технологического и отраслевого форсайтов. На его базе формируется уточнённый прогноз развития основных отраслей и, главное – оценки экономического и структурного эффекта инновационного технологического развития. Они, в свою очередь, позволяют объективно оценить экономическую эффективность развития технологий и определить экономически приоритетные направлений технологического сотрудничества.

В заключении проводится окончательный свод предметных и организационных результатов форсайта (предметные приоритеты, организационные механизмы, преодолеваемые барьеры).

Подобная методология позволит наиболее полно использовать потенциал участников форсайта в тех областях, в которых они наиболее компетентны. В своих прогнозах участники работы опираются на результаты (в том числе – в рамках традиционного форсайт-подхода) в тех областях, которые не являются для них их основной компетенцией и обогащают коллег новыми знаниями в тех областях, которыми они занимаются профессионально.

3.2. Концепции мультивселенности технологий и экосистем

Одна из гипотез развития мира заключается в существовании мультивселенной, в рамках которой параллельно существует множество вариаций реальности, возможно, каждая со своим набором физических параметров, альтернативным ходом развития событий и т.д. Согласно концепции развития мультивселенных мир постоянно делится («отпочковывается») на все новые и новые реальности, каждая из которых начинает жить своей жизнью, хотя и с общим прошлым.

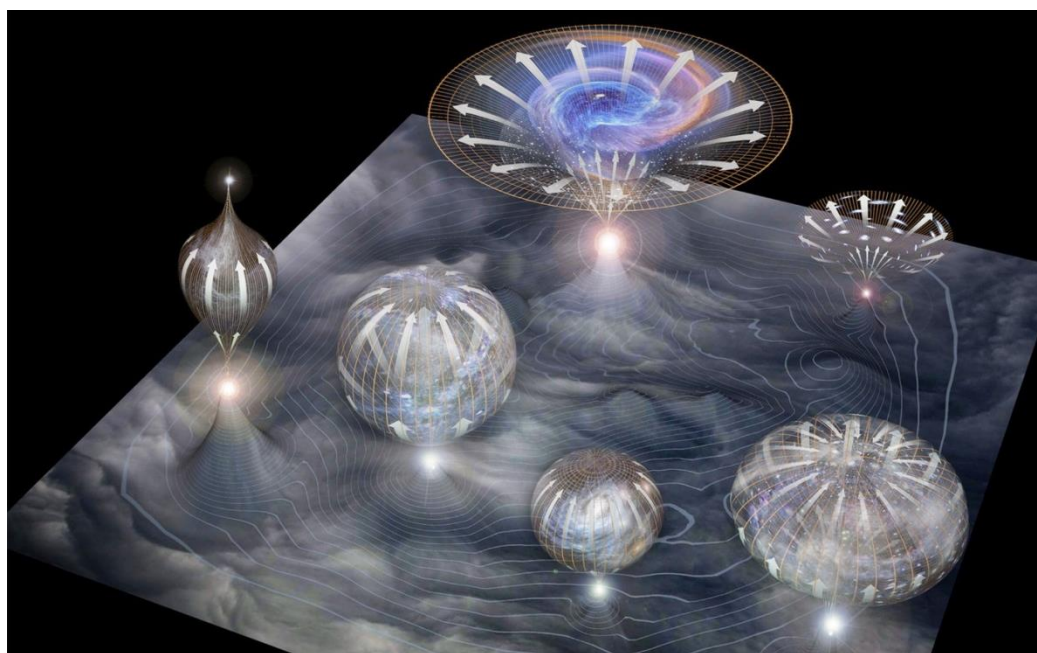


Рисунок 14. Простая визуализация мультивселенных. Источник: К. Кичинский

Особенность состоит в том, что если жить в какой-то конкретной вселенной, то мы оказываемся изолированными от восприятия альтернативной вселенной. В том месте, где начинает формироваться «новая» вселенная, наблюдателю виден лишь ее маленький кусочек — проекция начала развития. При этом если остаться в основной вселенной, рост и понимание новой вселенной оказываются недоступны.

Культурная аналогия – если мы выросли в одной среде, где принято, что черный — цвет смерти, нам трудно принять другую среду, где черный — цвет жизни.

Концепция мультивселенной нашла широкое применение прежде всего в сфере информационных технологий. К примеру, это может выглядеть следующим образом. На рынке длительное время существует десктопная технология (персональный компьютер). В какой-то момент появляется десктопная разработка в форм-факторе карманного устройства (PocketPC). Но новый мобильный рынок продолжает восприниматься через призму десктопного опыта. В какой-то момент «мобильная» вселенная начинает расширяться и развиваться. В ней появляются новые правила и решения, которых не было на десктопе — от тач-интерфейсов до официальных магазинов приложений, от встраиваемых покупок и подписок до централизованных механизмов продвижения, от специальных протоколов взаимодействия и приложений до механизмов бесконтактных платежей.

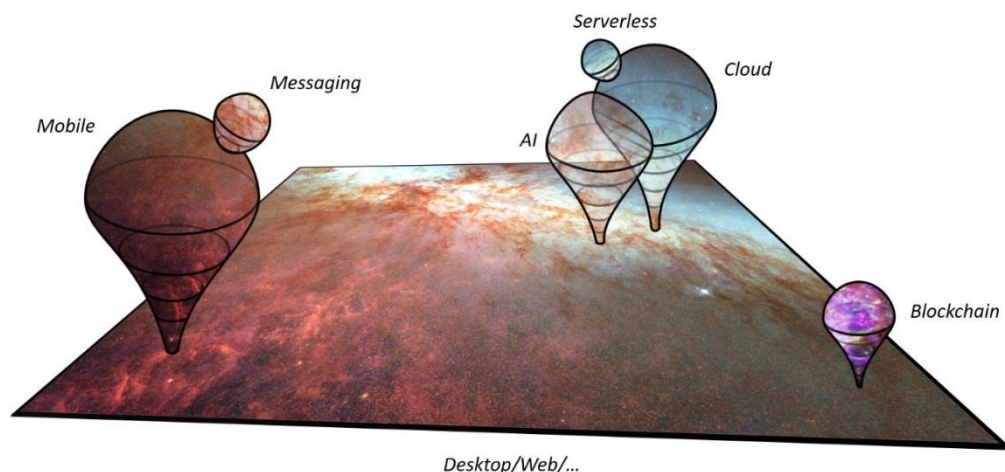


Рисунок 15. Мультивселенная технологий (условная визуализация). Источник: К. Кичинский

Потом аналогичный поворот происходит уже внутри самой «мобильной» вселенной. Появляются мессенджеры, и до какой-то поры для вас это просто очередные приложения для обмена сообщениями. Но в этой «мессенджеровой» вселенной тоже начинают формироваться свои правила и решения - боты, механизмы платежей и т.п.

Таких «вселенных» оказывается очень много, часть из них сталкивается и пересекается, одни вырастают на почве других (возможно, даже множества других). Проблема жителя таких вселенных в том, что чем плотнее вы увязли в любой из них, тем сложнее вам осознать наличие других и, тем более, понять, что в них происходит.

К примеру, растущая вселенная «блокчейна» со стороны выглядит полным хаосом криптовалют, регуляторов, ICO, финтеха и т.п.

Каждую вселенную можно представить в виде экосистемы - сети, состоящей из людей, организаций, использующих технологии в своих решениях или

оказывающих услуги на базе определенной платформы, и каналов коммуникаций (конференции, митапы, группы в Slack и Telegram).

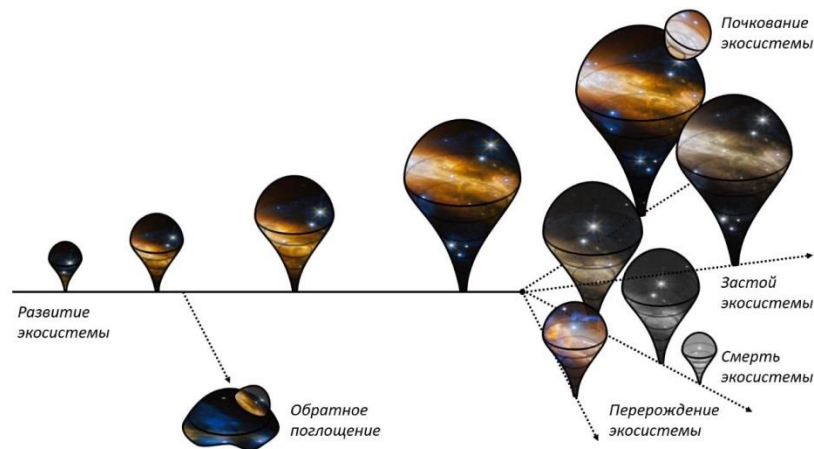


Рисунок 16. Эволюция технологических экосистем. Источник: К. Кичинский

Однако экосистемы не всегда растут. Единственный способ продолжить развитие — это почкование или перерождение, нелинейный и непоследовательный процесс. В целом они могут развиваться в 4 сценариях:

1. Стагнация – экосистема стагнирует, она достигает своего естественного потолка и дальше перестает активно развиваться, если только не происходит какого-то существенного переосмысления (фактически рождения новой экосистемы). Пример: мир десктопной разработки.

2. Смерть – экосистема умирает, она оказывается вытеснена другой экосистемой, у нее кончается ресурс для развития, выбивается основа, на которой она стоит. Скорость смерти может быть разной, даже растянутой на много лет в силу инерции и сложившихся зависимостей. Пример – flash-разработки.

3. Почкование – экосистема развивается через деление. То есть на базе одной экосистемы вырастает другая, которая заодно подпитывает базовую. Пример – продукт бессервисных вычислений Serverless.

4. Перерождение – экосистема получает новые ресурсы для развития, происходит пересмотр основ и содержания ее развития. На обломках старого фундамента строится новая экосистема (обычно, с учетом развития соседних). Пример – HTML5.

Приложение 1. Практические применения технологического прогнозирования на основе логистической кривой

Логистические кривые использовались, в частности, для описания уровня проникновения и совокупного объема продаж электронной продукции на рынках Тайваня.

Оценка уровня проникновения осуществлялась на основе набора данных по шести продуктам, включая цветные телевизоры, телефоны, стиральные машины, асимметричная цифровая абонентская линия (ADSL), мобильный интернет, широкополосные сети.

Оценка совокупного объема продаж осуществлялась на основе данных по шестнадцати продуктам, включая ЖК-телевизор, ЖК-мониторы, цифровые фотоаппараты, светочувствительные матрицы устройства (CCD DC), цифровые фотоаппараты (DC > 5 миллионов), устройства локальных сетей радио 802.11g (802.11g WLAN), кабельные модемы, оптические дисководы (ODD Combo), системные компьютерные блоки (Barebones), персональные системы беспроводного доступа (китайский PAS), ЖК-панели для ТВ, ЖК-панели для ноутбуков, цветных мобильных телефонов (цветной-65k мобильный телефон), серверы, широкие ЖК-телевизоры (диагональю более 30 дюймов), голосовая связь по интернет-протоколу VoIP IAD и маршрутизаторы голосовой связи по интернет-протоколу (VoIP).

Выборка и прогнозный период по данным оценкам сведены в таблицу (Таблица 5). Ввиду коротких временных рядов по отдельным продуктам, кроме телевизоров, телефонов и стиральных машин, данные использованы в квартальной разрезности.

Таблица 5. Структура данных для оценки уровня проникновения и совокупного объема продаж отдельных продуктов в Тайване на основе логистической кривой

Показатель	Продукт	Временной ряд (исторические данные)		Прогнозный период		Размер выборки
		От	К	От	К	
Уровень проникновения	Цветной телевизор	1974	1999	2000	2004	31
	Телефон	1970	1999	2000	2004	35
	Стиральная машина	1974	1999	2000	2004	31
	ADSL	2000кв.2	2005кв.2	2005кв.3	2006кв.3	26
	Мобильный Интернет	2001кв.4	2005кв.2	2005кв.3	2006кв.3	20
	Широкополосная сеть	2000кв.2	2005кв.2	2005кв.3	2006кв.3	26
Совокупный объем продаж	ЖК-ТЕЛЕВИЗОР	2003кв.1	2006кв.1	2006кв.2	2007кв.2	18
	19 дюймов.					
	ЖК-монитор	2003кв.1	2006кв.1	2006кв.2	2007кв.2	18
	ПЗС контроллер	2003кв.1	2006кв.1	2006кв.2	2007кв.2	18
	DC > 5 миллионов	2003кв.1	2006кв.1	2006кв.2	2007кв.2	18
	WLAN	2003кв.1	2006кв.1	2006кв.2	2007кв.2	18

Показатель	Продукт	Временной ряд (исторические данные)		Прогнозный период		Размер выборки
		От	К	От	К	
	(802.11g)					
	Кабельный модем	2003кв.1	2006кв.1	2006кв.2	2007кв.2	18
	Комб. оптический диск	2003кв.1	2006кв.1	2006кв.2	2007кв.2	18
	Системный блок	2003кв.1	2006кв.1	2006кв.2	2007кв.2	18
	Китайский САП	2003кв.1	2006кв.1	2006кв.2	2007кв.2	18
	ЖК-панель для ТВ	2003кв.1	2006кв.1	2006кв.2	2007кв.2	18
	ЖК-панель для ноутбука	2003кв.1	2006кв.1	2006кв.2	2007кв.2	18
	Цвет-65k мобильный телефон	2003кв.1	2006кв.1	2006кв.2	2007кв.2	18
	Сервер	2003кв.1	2006кв.1	2006кв.2	2007кв.2	18
	ЖК-МОНИТОР - ТВ> 30 дюймов.	2004кв.1	2006кв.2	2006кв.3	2007кв.2	14
	VoIP IAD	2004кв.1	2006кв.2	2006кв.3	2007кв.2	14
	Маршрутизатор VoIP	2004кв.1	2006кв.2	2006кв.3	2007кв.2	14

Источник: Главное бюджетное управление и главное управление телекоммуникаций, телекоммуникационная компания Chunghwa Telecom Co. (Тайвань)

В этом исследовании данные для цветных телевизоров, телефонов и стиральных машин классифицируются как длительные жизненные циклы продуктов с большими наборами данных для прогнозирования. Поскольку период выборки для этих данных превышает 30 лет, эти продукты отражают полный жизненный цикл продукта.

Другие наборы данных (ADSL, абоненты мобильного Интернета и т.д.) представляют быстро выводимые на рынок продукты. Такие данные относятся к категории продуктов с коротким жизненным циклом с ограниченными или небольшими (менее 30 точек данных) наборами данных для прогнозирования.

Результаты оценки уровня проникновения и уровня продаж представлены на рисунках ниже (Рисунок 17- Рисунок 18).

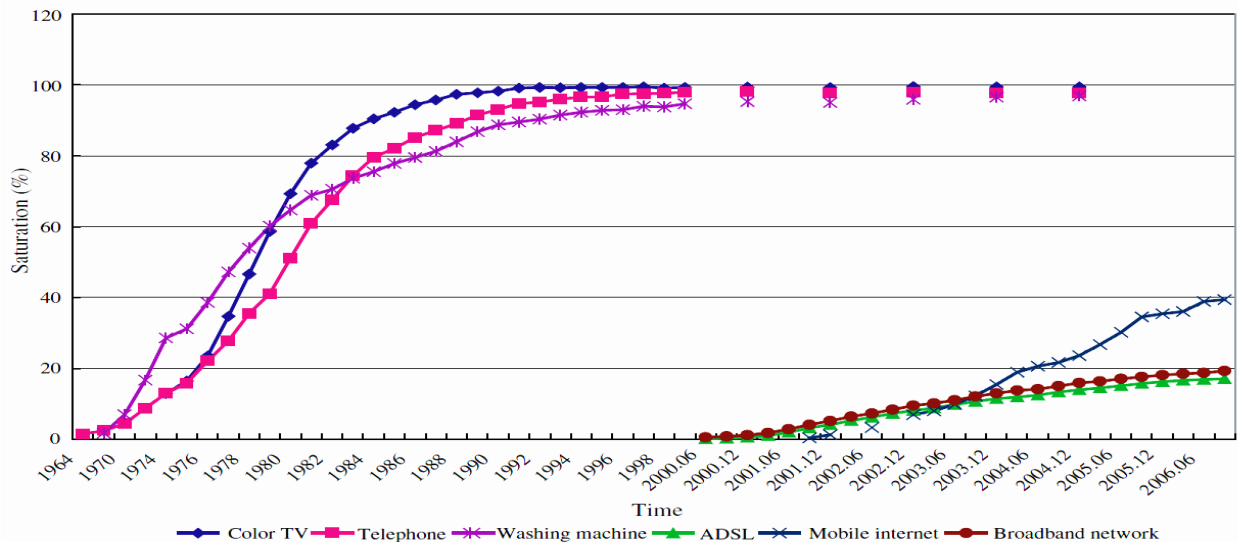


Рисунок 17. Оценка уровня проникновения 6-ти продуктов

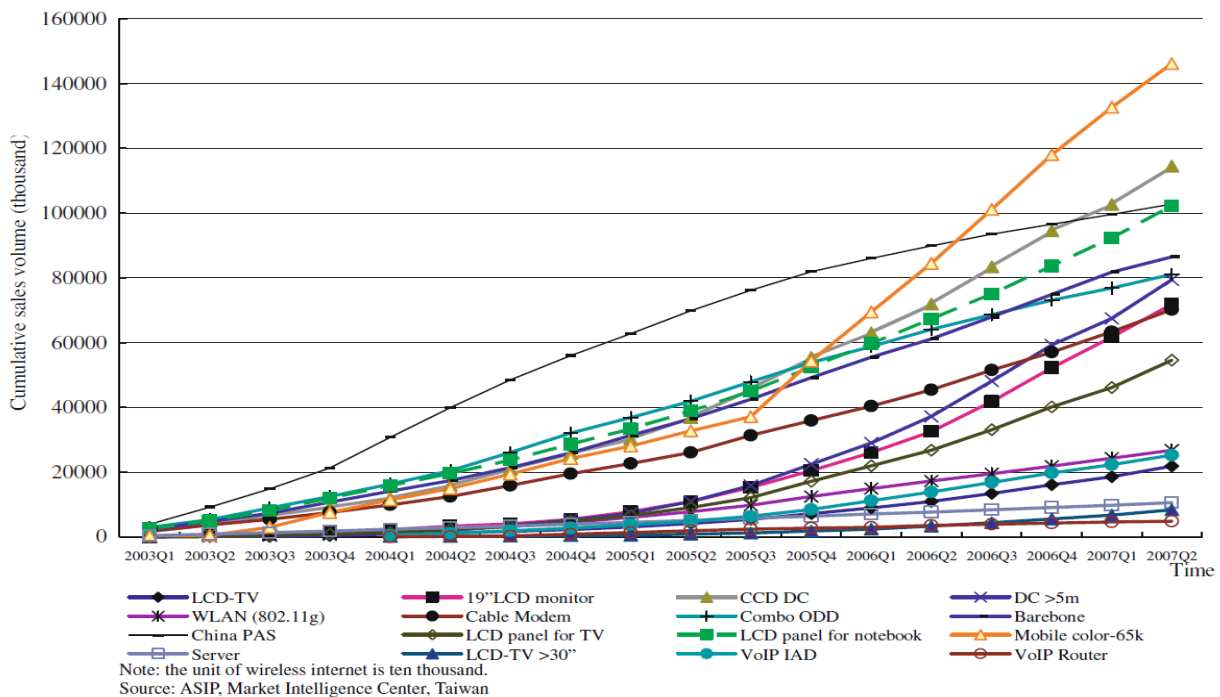


Рисунок 18. Оценка совокупного объема продаж по 16-ти продуктам

Еще несколько примеров применения логистических кривых – оценка распространения нанотехнологий и биоинженерных технологий (Рисунок 19-Рисунок 22).

Здесь важно отметить следующие особенности статистики по данным технологиям.

Официальные статистические данные государственных статистических учреждений о распространении новейших технологий 6-го ТУ либо ограничиваются данными об объёмах финансирования, патентах, количестве компаний, либо вовсе

отсутствуют. Отдельные данные об объёмах финансирования, патентах, количестве компаний имеются у ОЭСР.

Основной проблемой является отсутствие официальной классификации видов продукции и экономической деятельности, соответственно, изготавливаемых и осуществляемых с использованием новейших технологий 6-го ТУ. В частности, нанотехнологии и биоинженерные технологии, в лучшем случае, классифицированы только на уровне исследовательских видов экономической деятельности, однако, их классификация отсутствует на уровне промышленных видов экономической деятельности.

Остаётся использование данных отчётов консалтинговых компаний, у которых имеется ряд существенных недостатков, которые не позволяют доверять данным, приведённым в их отчётах. В основном, статистические оценочные данные по распространению технологий 6-го ТУ приводятся в отчётах иностранных консалтинговых компаний, обладающих гораздо большими финансовыми возможностями и контактами, в сравнении с отечественными.

В результате для формирования динамических рядов распространения технологий 6-го ТУ, в частности, нанотехнологий и биоинженерных технологий, в России и ведущих странах, необходимо использовать опубликованные в открытом доступе данные об объёмах рынков по соответствующим позициям за определённый год и с использованием показателя среднегодового роста ретроспективно построить соответствующие динамические ряды. Такие динамические ряды, с учётом изначальной неточности и возможной недостоверности публикуемых оценочных данных, могут отражать с высокой точностью имеющийся в мире уровень информированности о распространении технологий 6-го ТУ.

Информация, приводимая на других сайтах со статистической информацией, также зачастую не заслуживает доверия, поскольку почти всегда неизвестно на чём основаны приводимые оценки. Временные периоды динамических рядов не стандартизированы и подобные данные можно использовать только в качестве вспомогательных, учитывая низкий уровень их достоверности.

В целом, собранные данные и оценки распространения нанотехнологий и биоинженерных технологий позволяют создать впечатление о масштабах распространения данных технологий 6-го ТУ.

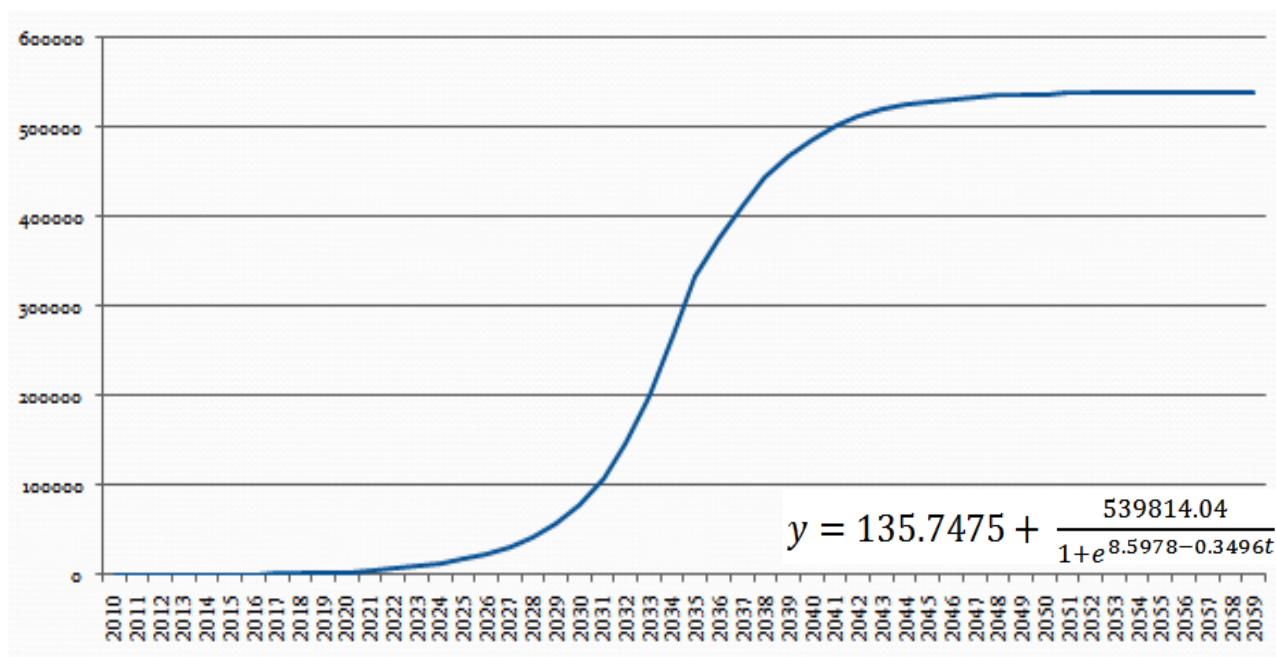


Рисунок 19. Логистическая кривая расширения объема мирового рынка нанотехнологий в 2010-2059 гг., млн долл. США

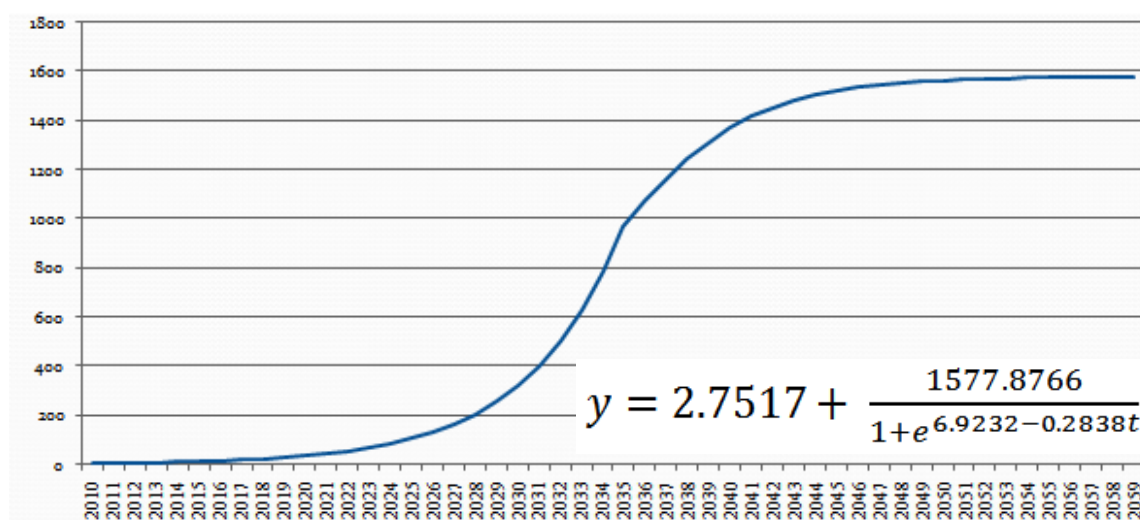


Рисунок 20. Логистическая кривая расширения объема мирового рынка наносенсоров в 2010-2059 гг., млрд долл. США

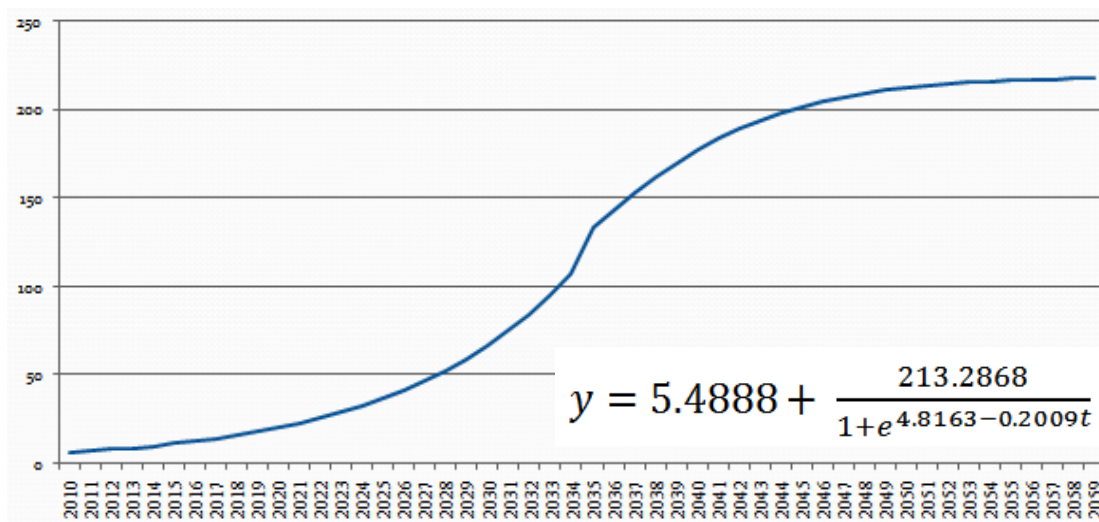


Рисунок 21. Логистическая кривая расширения объема мирового рынка клеточных культур в 2010-2059 гг., млрд долл. США

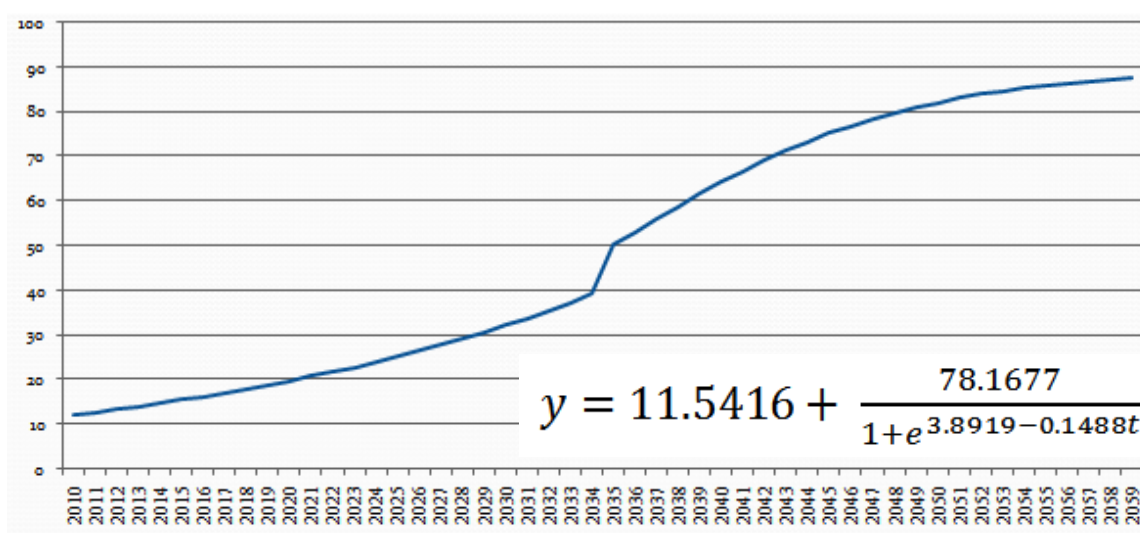


Рисунок 22. Логистическая кривая объема рынка биотехнологий Китая в 2010-2059 гг., млрд долл. США

**Приложение 2. Результаты использования межстрановых таблиц
«Затраты-Выпуск» для оценки инновационной компоненты
национальных экономик государств – членов ЕАЭС**

Таблица 6. Пример расчетов наиболее значимых отраслей-потребителей добавленной стоимости, созданной в инновационной сфере, в % от суммарного объема

Республика Армения		Республика Беларусь		Республика Казахстан		Кыргызстан		Российская Федерация	
Услуги по оптовой и розничной торговле; услуги по ремонту автотранспортных средств и мотоциклов	3,4	Услуги по оптовой и розничной торговле; услуги по ремонту автотранспортных средств и мотоциклов	7,6	Услуги по оптовой и розничной торговле; услуги по ремонту автотранспортных средств и мотоциклов	11,6	Сооружения и строительные работы	21,9	Услуги по оптовой и розничной торговле; услуги по ремонту автотранспортных средств и мотоциклов	11,9
Продукты пищевые + Напитки + Изделия табачные	2,9	Продукты пищевые + Напитки + Изделия табачные	7,0	Нефть сырая и газ природный	8,9	Услуги по оптовой и розничной торговле; услуги по ремонту автотранспортных средств и мотоциклов	7,7	Сооружения и строительные работы	6,6
Сооружения и строительные работы	2,7	Сооружения и строительные работы	3,9	Услуги в области государственного управления и обеспечения военной безопасности, услуги в области обязательного социального обеспечения	8,7	Услуги по операциям с недвижимым имуществом	3,4	Услуги в области государственного управления и обеспечения военной безопасности, услуги в области обязательного социального обеспечения	4,7
Продукция и услуги сельского хозяйства и охоты	2,1	Услуги в области информации и связи	2,3	Сооружения и строительные работы	3,4	Продукция и услуги сельского хозяйства и охоты	2,6	Продукты пищевые + Напитки + Изделия табачные	4,6
Услуги по операциям с недвижимым имуществом	2,0	Услуги сухопутного и трубопроводного транспорта + Услуги водного транспорта + Услуги воздушного и космического транспорта	2,0	Услуги по операциям с недвижимым имуществом	3,0	Услуги гостиничного хозяйства и общественного питания	2,6	Услуги сухопутного и трубопроводного транспорта + Услуги водного транспорта + Услуги воздушного и космического транспорта	2,9

Источник: расчеты ИНП РАН по МТЗВ ЕАЭС-2016 (2020)

Таблица 7. Пример расчетов наиболее значимых потоков добавленной стоимости, созданной в инновационной сфере, в отрасли других государств – членов ЕАЭС, в % от суммарного объема

Республика Армения			Республика Беларусь			Республика Казахстан			Кыргызская Республика			Российская Федерация		
Российская Федерация	Услуги по оптовой и розничной торговле; услуги по ремонту автотранспортных средств и мотоциклов	1,1	Российская Федерация	Услуги по оптовой и розничной торговле; услуги по ремонту автотранспортных средств и мотоциклов	1,7	Российская Федерация	Услуги по оптовой и розничной торговле; услуги по ремонту автотранспортных средств и мотоциклов	0,3	Российская Федерация	Услуги по оптовой и розничной торговле; услуги по ремонту автотранспортных средств и мотоциклов	0,9	Республика Беларусь	Кокс и нефтепродукты	0,1
Российская Федерация	Сооружения и строительные работы	0,6	Российская Федерация	Сооружения и строительные работы	1,2	Российская Федерация	Сооружения и строительные работы	0,3	Республика Казахстан	Услуги по оптовой и розничной торговле; услуги по ремонту автотранспортных средств и мотоциклов	0,7	Республика Казахстан	Нефть сырая и газ природный	0,1
Российская Федерация	Услуги, связанные с научной, инженерно-технической и профессиональной деятельностью + Услуги административные и вспомогательные	0,5	Российская Федерация	Продукты пищевые + Напитки + Изделия табачные	1,1	Российская Федерация	Металлы основные	0,2	Республика Казахстан	Нефть сырая и газ природный	0,6	Республика Казахстан	Услуги по оптовой и розничной торговле; услуги по ремонту автотранспортных средств и мотоциклов	0,1
Российская Федерация	Услуги в области государственного управления и обеспечения военной безопасности, услуги в области обязательного социального обеспечения	0,5	Российская Федерация	Услуги в области государственного управления и обеспечения военной безопасности, услуги в области обязательного социального обеспечения	0,8	Российская Федерация	Продукты пищевые + Напитки + Изделия табачные	0,1	Российская Федерация	Сооружения и строительные работы	0,5	Республика Беларусь	Сооружения и строительные работы	0,1
Российская Федерация	Продукты пищевые + Напитки + Изделия табачные	0,5	Российская Федерация	Услуги, связанные с научной, инженерно-технической и профессиональной деятельностью + Услуги административные и вспомогательные	0,7	Российская Федерация	Услуги в области государственного управления и обеспечения военной безопасности, услуги в области обязательного социального обеспечения	0,1	Российская Федерация	Услуги в области государственного управления и обеспечения военной безопасности, услуги в области обязательного социального обеспечения	0,5	Республика Беларусь	Продукты пищевые + Напитки + Изделия табачные	0,1

Приложение 3. Результаты форсайт-исследования технологического развития государств – членов ЕАЭС

В рамках исследования процессов технологического развития государств – членов ЕАЭС в мае 2021 года была проведена форсайт-сессия с экспертами в сфере научно-технологического развития, завершившаяся опросом участников сессии. В опросе принял участие 31 эксперт из всех государств – членов ЕАЭС (Рисунок 23).

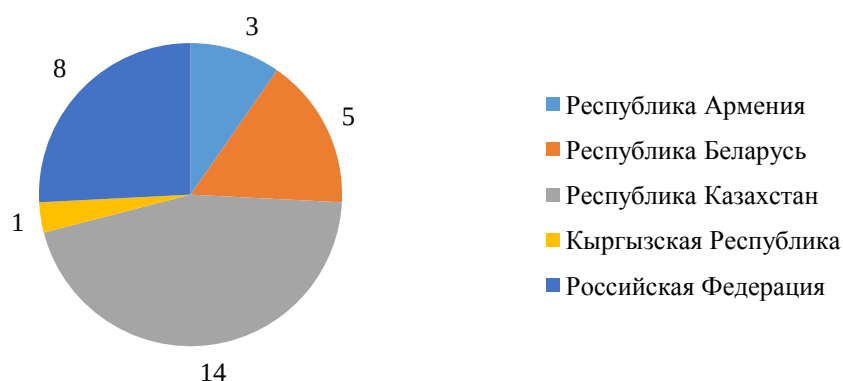


Рисунок 23. Количество экспертов государств – членов ЕАЭС, принявших участие в форсайт-сессии

Интервью проводилось в формате электронного опроса на базе сервиса Google Forms в соответствии с вопросами разработанного опросного листа.

По результатам исследования основными задачами социально-экономического развития государств – членов ЕАЭС, на которые должна быть направлена научно-технологическая политика, выступают повышение качественной конкурентоспособности и диверсификация экономики и рост производительности труда. Свыше 75% экспертов и порядка 70% экспертов, соответственно, отметили максимальную значимость данных задач. На втором месте по степени актуальности, согласно мнению экспертов, – задачи повышения энергоэффективности и экологической эффективности (более 40% оценок, Таблица 8).

Таблица 8. Оценка значимости основных задач социально-экономического развития стран ЕАЭС, на которые должна быть направлена инновационная технологическая политика

Балл	Повышение энергоэффективности	Рост производительности труда	Сокращение сроков разработки и производства продукции / услуг	Повышение качественной конкурентоспособности и диверсификация экономики	Повышение экологической эффективности
0	0	0	0	0	0
1	0	1	0	1	0
2	3	0	4	0	1
3	8	5	8	2	12
4	5	4	10	4	5
5	15	21	9	24	13

Все опрошенные эксперты положительно оценивают наличие потенциала наращивания научно-технологического сотрудничества в рамках ЕАЭС, причем большая часть – порядка 70% – считает данный потенциал значительным (Таблица 9). При этом относительно чаще о незначительном потенциале чаще говорят российские эксперты.

Таблица 9. Оценка потенциала наращивания научно-технологического сотрудничества в рамках ЕАЭС

Страна	Да, значительный	Да, незначительный	Итого
Республика Армения	3	0	3
Республика Беларусь	4	1	5
Республика Казахстан	11	3	14
Кыргызская Республика	1	0	1
Российская Федерация	3	5	8
Итого	22	9	31

Большинство экспертов (почти три четверти) считает, что значимых эффектов от расширения научно-технологического развития на пространстве ЕАЭС можно ожидать в среднесрочной перспективе – от 5 до 10 лет. Порядка 20% ожидает заметных эффектов уже в краткосрочной перспективе (до 5 лет). Лишь 5% считает, что значимых эффектов можно достигнуть в долгосрочной перспективе (Таблица 10).

Таблица 10. Оценка горизонта формирования значимых эффектов от расширения научно-технологического развития на пространстве ЕАЭС

Страна	до 5 лет	5-10 лет	более 10 лет	Итого
Республика Армения	1	2	0	3
Республика Беларусь	2	3	0	5
Республика Казахстан	3	9	2	14
Кыргызская Республика	0	1	0	1
Российская Федерация	0	8	0	8
Итого	6	23	2	31

Наиболее критичными для решения задач инновационного технологического развития в государствах – членах ЕАЭС выступают финансовые ограничения: свыше 65% экспертов отметили данный вид ограничений. На втором месте стоит кадровая проблема – нехватка квалифицированного персонала в научной сфере. В меньшей степени эксперты отмечают проблемы с инфраструктурой, включая информационную инфраструктуру (Таблица 11).

Таблица 11. Оценка дефицита ресурсов для реализации задач научно-технологического развития государств – членов ЕАЭС

Балл	Финансовые	Инфраструктура, включая информационную (в т.ч. площадки информирования и взаимодействия)	Научные кадры, квалифицированный персонал
0	0	0	0
1	0	2	0
2	1	4	3

Балл	Финансовые	Инфраструктура, включая информационную (в т.ч. площадки информирования и взаимодействия)	Научные кадры, квалифицированный персонал
3	5	10	3
4	4	6	14
5	21	9	11
Итого:	31	31	31

Наиболее значимыми, с точки зрения экспертов, выступают следующие технологии:

- производственные и транспортные технологии;
- информационно-коммуникационные технологии;
- энергетика и природопользование;
- биотехнологии.

Порядка 20% (в случае производственных и транспортных технологий – 25%) экспертов отметили данные технологии в числе приоритетных в настоящее время для своих стран (Рисунок 24).

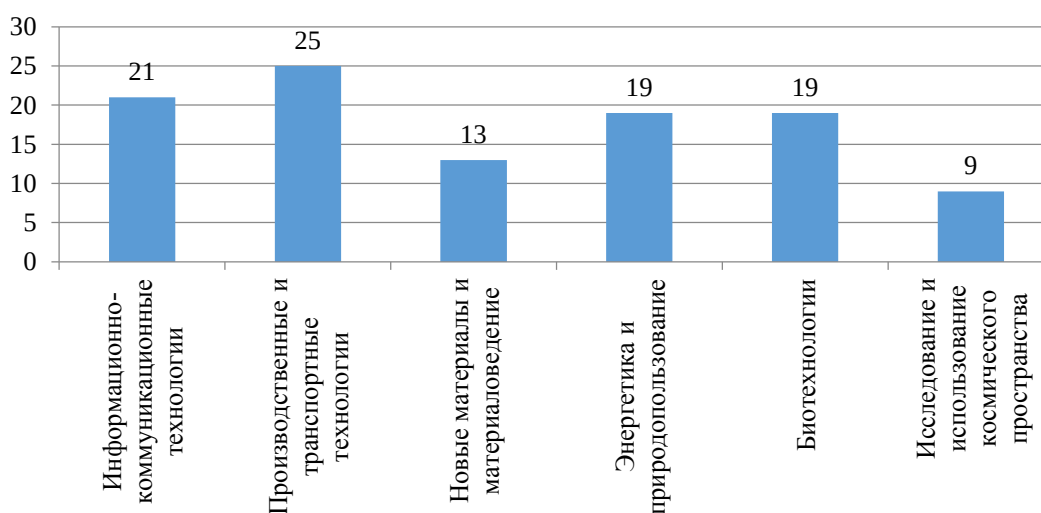


Рисунок 24. Приоритетные технологии для государств – членов ЕАЭС в настоящее время (число ответов)

Более приоритетными и реализуемыми, по мнению экспертов, являются следующие формы сотрудничества:

- единые фонды финансирования научно-технологических работ в интересах государств – членов ЕАЭС;
- площадки взаимодействия действующих национальных институтов, компаний и экспертов в сфере научно-технологического развития (Рисунок 25).

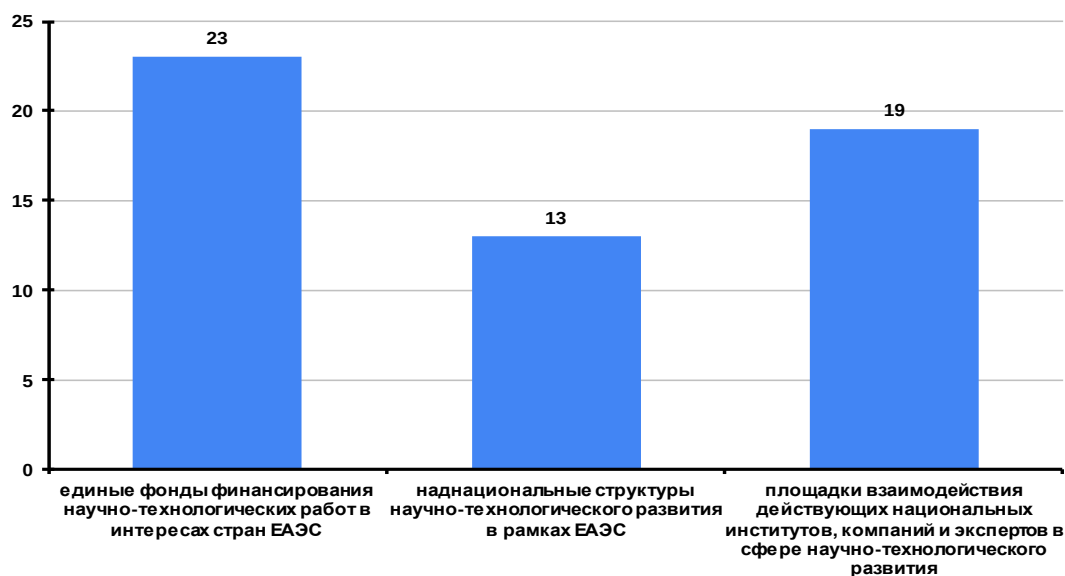


Рисунок 25. Механизмы сотрудничества для стран ЕАЭС в научно-технологической сфере (число упоминаний, возможно несколько вариантов ответа)

Помимо этого, в свободной форме были предложены такие варианты взаимодействия как:

- единые системы государственного финансирования фундаментальной науки;
- формирование в рамках Евразийской экономической комиссии проектного офиса по отбору наиболее интересных предложений по проектам и координации (подбору, при необходимости) участников (партнеров) таких проектов.

Наиболее острыми проблемами, по мнению экспертов, выступают неопределенность экономической ситуации, экономические и финансовые риски (почти половина экспертов считают данную проблему основной); недостаток поддержки кооперации внутри ЕАЭС, сохраняющиеся формальные и неформальные барьеры, ориентация на «традиционного национального партнера» и иностранная конкуренция (Таблица 12).

Таблица 12. Основные проблемы, препятствия и ограничения для реализации задач научно-технологического развития

Балл	Неопределенность экономической ситуации, экономические и финансовые риски	Национальное регулирование (контрольно-надзорная деятельность, защита авторских прав и т.д.)	Недостаток поддержки кооперации внутри ЕАЭС, сохраняющиеся формальные и неформальные барьеры, ориентация на «традиционного национального партнера»	Ограничения, связанные с санкциями против России (других стран ЕАЭС)	Иностранная конкуренция
0	0	3	0	4	3
1	0	2	0	4	1
2	5	2	2	5	1

Балл	Неопределенность экономической ситуации, экономические и финансовые риски	Национальное регулирование (контрольно-надзорная деятельность, защита авторских прав и т.д.)	Недостаток поддержки кооперации внутри ЕАЭС, сохраняющиеся формальные и неформальные барьеры, ориентация на «традиционного национального партнера»	Ограничения, связанные с санкциями против России (других стран ЕАЭС)	Иностранная конкуренция
3	5	9	7	7	8
4	6	9	9	8	7
5	15	6	13	3	11
Итого	31	31	31	31	31

Наиболее важны для государств – членов ЕАЭС, по мнению экспертов, фундаментальные исследования в следующих направлениях:

- науки о жизни;
- компьютерные науки;
- фундаментальные свойства вещества и энергии, включая квантовую физику, физику высоких энергий, технологии наноразмерных процессов.

Наименее значимая область – исследование космоса за пределами околоземной орбиты, космическая медицина (Таблица 13).

Таблица 13. Приоритетные направления фундаментальных исследований в ЕАЭС

Балл	Науки о жизни	Компьютерные науки	Науки о Земле, исследование процессов формирования полезных ископаемых, процессов в мантии и литосфере (включая надежное прогнозирование землетрясений)	Экология	Математика, теоретическая физика, астрофизика	Исследование космоса за пределами околоземной орбиты. Космическая медицина	Фундаментальные свойства вещества и энергии, включая квантовую физику, физику высоких энергий, технологии наноразмерных процессов
0	0	0	0	1	0	0	0
1	0	0	3	0	3	6	1
2	2	0	1	1	1	4	1
3	1	4	8	8	9	9	8
4	8	7	8	8	7	7	4
5	20	20	11	13	11	5	17
Итого	31	31	31	31	31	31	31

С точки зрения наиболее значительных для государств – членов ЕАЭС направлений прикладных исследований особенно следует отметить информационную безопасность и обработку больших данных – порядка 70% и 60% экспертов соответственно присвоили данным направлениям максимальную оценку (Таблица 14). Наименее значимыми оказались технологии виртуальной и дополненной реальности и использование результатов работы космической инфраструктуры (дистанционное зондирование Земли, связь, геопозиционирование и др.).

Таблица 14. Приоритетные направления прикладных исследований в сфере ИКТ

Балл	Искусственный интеллект, нейронные сети, самообучение, распознавание образов;	Обработка больших данных, распределенный реестр	Сети связи нового поколения (5G, технологии квантовой связи / криптографии);	Технологии производства элементной базы нового поколения, нано-метрология	Информационная безопасность	Виртуальная и дополненная реальность, технологии дистанционного обучения	Использование результатов работы космической инфраструктуры (ДЗЗ, связь, геопозиционирование и др.)	Технологическое импортозамещение / обеспечение экономической и информационной безопасности
0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1	0	1	3	2	4	3	2
3	6	1	4	3	3	9	8	5
4	10	11	9	7	4	8	9	8
5	14	19	17	18	22	10	11	16
Итого	31	31	31	31	31	31	31	31

К числу наиболее значимых технологий эксперты отнесли следующие:

- технологическое импортозамещение/обеспечение экономической безопасности (порядка 60% экспертов присвоили наивысший балл);
- «зеленые» производственные и транспортные технологии (порядка половины экспертов присвоили наивысший балл);
- технологии поиска и спасения попавших в бедствие, ликвидации их последствий (порядка половины экспертов присвоили наивысший балл).

Повышение роли «зеленых» технологий обусловлено ухудшением состояния окружающей среды и общим трендом на увеличение экологической эффективности производств. Значимость технологического импортозамещения особенно усиливается с учетом неопределенности экономической ситуации и возможных санкций.

Наименее значимы, по мнению экспертов, аддитивные технологии и другие новые производственные процессы; беспилотный наземный, морской и воздушный транспорт (Таблица 15).

Таблица 15. Приоритетные направления прикладных исследований в сфере производственных и транспортных технологий

Балл	Цифровые производственные технологии (цифровое проектирование, промышленный «интернет вещей» и т.д.)	Промышленная робототехника и сенсорика	«Зеленые» производственные и транспортные технологии (электротранспорт и т.д.)- утилизация углерода	Аддитивные технологии и другие новые производственные процессы	Беспилотный наземный, морской и воздушный транспорт	Высокоскоростная перевозка пассажиров и грузов воздушным, и наземным транспортом	Технологии поиска и спасения попавших в беду, ликвидация их последствий	Технологическое импортозамещение / обеспечение экономической безопасности
0	0	0	0	1	0	1	1	0
1	1	1	1	1	2	1	0	0
2	0	0	2	3	4	3	3	2
3	5	3	6	6	6	5	5	3
4	12	17	6	14	11	9	6	7
5	13	10	16	6	8	12	16	19
Итого	31	31	31	31	31	31	31	31

К числу наиболее значимых технологий эксперты отнесли следующие (Таблица 16):

- технологическое импортозамещение/обеспечение экономической безопасности (свыше 60% экспертов присвоили наивысший балл);
- композитные материалы (порядка половины экспертов присвоили наивысший балл);
- новые виды топлива (порядка половины экспертов присвоили наивысший балл).

Таблица 16. Приоритетные направления прикладных исследований в сфере новых материалов и материаловедения

Балл	Проектирование материалов с заданными свойствами, включая сплавы металлов	Композитные материалы	Аккумуляторы высокой удельной емкости	Новые виды топлива (включая экологически чистые)	Химия и нефтехимия	Технологическое импортозамещение / обеспечение экономической безопасности
0	0	0	0	1	0	0

Балл	Проектирование материалов с заданными свойствами, включая сплавы металлов	Композитные материалы	Аккумуляторы высокой удельной емкости	Новые виды топлива (включая экологически чистые)	Химия и нефтехимия	Технологическое импортозамещение / обеспечение экономической безопасности
1	0	0	1	0	1	1
2	0	1	0	1	0	1
3	4	4	3	5	7	5
4	12	10	12	8	10	4
5	15	16	15	16	13	20
Итого	31	31	31	31	31	31

Наиболее приоритетными в сфере энергетики и природопользования выступают следующие направления прикладных исследований:

- новые источники энергии, включая возобновляемые (солнечная, ветровая и т.д. энергетика);
- водородное топливо и топливные элементы;
- технологическое импортозамещение/обеспечение экономической и энергетической безопасности.

Порядка половины опрошенных экспертов присвоили высший балл каждому из данных направлений (Таблица 17).

Таблица 17. Приоритетные направления прикладных исследований в энергетике и природопользовании

Балл	Новые источники энергии, включая возобновляемые (солнечная, ветровая и т.д. энергетика)	Адаптивные сети, включая управление энергопотоками (в т.ч. реверсными), технологии запасаения энергии в сетях	Атомная энергетика, включая реакторы на быстрых нейтронах, замкнутый ядерный цикл	Водородное топливо и топливные элементы	Технологии экологически приемлемой традиционной энергетики	Технологическое импортозамещение / обеспечение экономической и энергетической безопасности
0	0	1	1	0	0	0
1	1	1	3	3	1	1
2	2	4	4	3	2	1
3	3	4	4	5	6	5
4	8	9	7	3	8	8
5	17	12	12	17	14	16
Итого	31	31	31	31	31	31

В сфере биотехнологий приоритетными выступают исследования, направленные на повышение эффективности диагностики заболеваний и фармацевтики – свыше 70% экспертов присвоили высший балл следующим сферам:

- создание средств оперативной диагностики и распознавания болезней (в том числе с использованием искусственного интеллекта и включая особо опасные инфекции, онкозаболевания и др.), биомаркеры заболеваний, системы поддержки принятия врачебных решений;
- фармацевтика, разработка и синтез молекул, технологии оперативный разработки и производства вакцин (Таблица 18).

Безусловно, важную роль в формировании именно таких приоритетов на текущий момент сыграла эпидемия новой коронавирусной инфекции COVID-19.

Таблица 18. Приоритетные направления прикладных исследований в сфере биотехнологий

Балл	Генная инженерия	Биопечать, включая печать органов и тканей	Создание средств оперативной диагностики и распознавания болезней (в том числе с использованием искусственного интеллекта и включая особо опасные инфекции, онкозаболевания и др.), биомаркеры заболеваний, системы поддержки принятия врачебных решений	Фармацевтика, разработка и синтез молекул, технологии оперативный разработки и производства вакцин	Протезирование и разработка биосовместимых материалов	Телемедицина	Технологическое импортозамещение / обеспечение национальной безопасности
0	1	0	0	0	0	0	1
1	0	0	0	0	0	0	1
2	3	1	1	0	2	3	2
3	5	7	2	3	4	6	3
4	10	11	6	5	9	10	6
5	12	12	22	23	16	12	18
Итого	31	31	31	31	31	31	31

Значимость прикладных исследований в исследовании и использовании космического пространства оценивается экспертами заметно ниже, чем рассмотренных ранее. Лишь порядка 20% экспертов присвоило высший балл. Отдельные технологические направления эксперты не указали при заполнении формы опросного листа.