

# Идентификация технологического фронта

Евгений Балацкий

Профессор, директор<sup>a</sup>, главный научный сотрудник<sup>b</sup>, ebalatsky@inbox.ru

<sup>a</sup> Центр макроэкономических исследований, Финансовый университет при Правительстве РФ, 125993, Москва, Ленинградский проспект, 49

<sup>b</sup> Центральный экономико-математический институт РАН, 117418, Москва, Нахимовский проспект, 47

## Аннотация

**П**редметом исследования является рынок инноваций. Для понимания закономерностей его функционирования в статье вводится понятие технологического фронта — условной отметки, достижение которой делает оправданным для развивающихся экономик переход от широкомасштабного заимствования иностранных новых технологий к их разработке внутри страны. Предложена простая модель расчета указанной границы на базе международной статистики по 61 стране мира.

Для повышения точности оценок осуществлена кластеризация стран на передовые (преодолевшие

технологический фронт и разрабатывающие собственные технологии) и догоняющие. Согласно расчетам современное среднемировое значение технологического фронта находится в районе 70% производительности труда в США. Сравнение с предыдущими оценками показывает, что данная величина увеличивается, усложняя переход догоняющих государств от заимствования к собственным разработкам. Учет технологического фронта позволяет избежать как неправомерной задержки в развитии собственных технологий, так и преждевременного перехода к созданию инноваций при игнорировании возможностей заимствования.

**Ключевые слова:** технологический фронт;  
производительность труда; заимствование технологий;  
инновации

**Цитирование:** Balatsky E. (2021) Identification of the Technology Frontier. *Foresight and STI Governance*, 15(3), 23–34. DOI: 10.17323/2500-2597.2021.3.23.34

# Identification of the Technology Frontier

**Evgeny Balatsky**

Professor and Head<sup>a</sup>, Principal Research Scientist<sup>b</sup>, ebalatsky@inbox.ru

<sup>a</sup> Macroeconomic Regulation Center, Financial University under the Government of the Russian Federation, 49 Leningradsky Prospekt, Moscow, 125993, Russian Federation

<sup>b</sup> Central Economics and Mathematics Institute of the Russian Academy of Sciences, 47 Nakhimov Prospekt, Moscow, 117418, Russian Federation

## Abstract

The subject of this study is the innovation market. To understand the laws of its functioning, this article introduces the concept of a technology frontier. This is understood as the relative productivity of labor (relative to the technological leader – the United States), the achievement of which makes it justified for developing economies to move from large-scale borrowing of foreign new technologies to their development within the country. The purpose of the article is to determine the specified frontier, for which a simple econometric model based on international statistics for 61 countries is proposed.

To improve the accuracy of the calculations, countries were clustered into two groups: advanced, for which

the technology frontier has been crossed and their own developments of new technologies prevail, and developing, for which the problem of the technology frontier remains important. The current value of the technology frontier is in the region of 70% of labor productivity in the United States. The comparison with previous estimates shows that this value tends to increase, which creates additional difficulties for the transition of catching-up countries from the mode of borrowing to the mode of creating new technologies. Taking into account the technological frontier allows avoiding both an undue delay in the development of proprietary technologies as well as a premature transition to the creation of innovations while ignoring the possibilities of borrowing.

**Keywords:** technology frontier; labor productivity; technology borrowing; innovation

**Citation:** Balatsky E. (2021) Identification of the Technology Frontier. *Foresight and STI Governance*, 15(3), 23–34. DOI: 10.17323/2500-2597.2021.3.23.34

По уровню технологического развития страны делятся на лидеров (ядро) и догоняющих (периферия и полупериферия). Для сокращения технологического отставания в разных пропорциях могут использоваться стратегии создания новых технологий (инновационная) и заимствований (имитационная). Несмотря на кажущуюся несложность имитационного подхода, лишь немногие государства, избравшие эту модель, смогли приблизиться к лидерам.

Проведению эффективной инновационной политики препятствуют многие факторы. Среди них — трудность определения технологического фронта (ТФ) — критической отметки (выражающей относительную производительность труда на фоне страны-лидера), после преодоления которой целесообразно переходить от заимствования чужих технологий к собственным разработкам. Недоучет данного фактора приводит к тому, что, если уровень развития вышел за пределы ТФ, а ставка на заимствование технологий сохраняется, страна попадает в ловушку и дальнейший прогресс тормозится [Дементьев, 2006]. Напротив, попытка реализовать масштабные исследования и разработки (ИиР) при нахождении национальной экономики существенно ниже ТФ влечет неоправданные расходы в силу невостребованности производителями передовых технологий.

Задача статьи состоит в разработке алгоритма идентификации ТФ на базе международной статистики. Учет данного параметра даст значительные преимущества, поскольку позволит своевременно определить момент для переключения с имитационной стратегии на инновационную.

## Понятие технологического фронта

В экономической литературе концепция ТФ возникла в рамках теории эндогенного экономического роста и тесно связана с понятием совокупной, или общей факторной производительности (ОФП). Данный термин, фигурирующий иногда в качестве остатка Солоу, обозначает оценку уровня технологического прогресса в экономике и представляет собой разность взвешенных темпов прироста между выпуском и остальными факторами производства [Solow, 1956]. К таковым в канонических моделях относятся труд и физический капитал, а в усложненных модификациях добавляются человеческие ресурсы, качество институтов, инфраструктуры и т. п. В классической модели Солоу существуют такие предпосылки, как постоянная отдача от масштаба, условия совершенной конкуренции, оперирование компаний на границе производственных возможностей.

Для устранения указанных факторов были предложены «граничные» способы оценки технологического прогресса: непараметрические методы огибающих (линейное программирование) [Farrell, 1957] и модели стохастической границы производственных возможностей (панельные данные) [Aigner et al., 1977]. Оба метода ориентированы на оценку величины технологического прогресса на основе моделирования производственной границы (фронта) посредством поиска предель-

ной эффективности технологического фактора. В ряде исследований фронт называется технологическим [Caselli et al., 2006]. Однако при таком понимании ТФ речь идет о технологических возможностях экономики и подразумевается расширенная коннотация указанного понятия. Подобная трактовка довольно сложна, так как подразумевает совокупность наиболее эффективных способов производства, доступных при определенных условиях (для компании, отрасли или страны) [Sato, 1974]. Причем в английском языке данное понятие несет двойной смысл. Под пограничной или передовой (*frontier technology*) понимают технологию, способную радикально трансформировать устоявшиеся экономические или социальные процессы. К их числу относятся, например, возобновляемая энергия, искусственный интеллект, электромобили и т. д. [UNCTAD, 2018]. Совокупность таких технологий, действующих на рынке, образует ТФ как некоторый предел технологических возможностей.

Расширенная интерпретация ТФ отождествляет ее с технологическим фактором в самом широком смысле слова, тогда как в естественных и технических науках ТФ имеет более узкое значение — это пороговая величина (например, температура), при которой наблюдаемый объект или процесс принципиально меняет свои свойства (например, температура плавления). Именно такое понимание все чаще используется экономистами, моделирующими поведение компании или страны при переключении с режима инвестиций в зарубежные технологии (имитация) на проведение собственных разработок (инновации).

Попытки моделирования поведения организации в условиях смены режимов предпринимаются с 1960-х гг. [Scherer, 1967; Baldwin, Childs, 1969]. Изначально в основу модели закладывался затратный подход: расходы на покупку технологии (имитацию) имеют преимущество в силу быстрой окупаемости. Однако из-за того, что компания теряет долю рынка, прибыль, получаемая от внедрения приобретенной технологии, быстро падает. Издержки, связанные с собственными разработками, напротив, менее привлекательны в краткосрочном периоде, но в долгосрочном — оправдываются с избытком. Таким образом, с учетом особенностей рынка предприятие всегда находится перед выбором: имитировать инновации или их создавать.

Подобный подход выглядит плодотворным, однако усложняется из-за необходимости учитывать межвременное соизмерение альтернативных эффектов. В дальнейшем он был перенесен на макроуровень. Разработана модель, рассматривающая отрасль как конкурентное поле компаний — новаторов и имитаторов и описывающая влияние корпоративных стратегий на экономический рост и эффективность государственных субсидий на ИиР [Segerstrom, 1991]. В дальнейшем разделение стран на технологических лидеров и догоняющих позволило обозначить направления политики, обеспечивающей максимальные темпы экономического роста для каждой группы государств [Sala-i-Martin, Barro, 1995]. Введена дихотомия в отношении не только технологического режима компании (страны), но и

многочисленных участников рынка, ставшая основой для будущих эмпирических исследований. Термин ТФ здесь напрямую не упоминался, но именно эти публикации создали предпосылки для выработки его нового понимания.

Сформулировано простое правило: прорывные инновации (то есть переход к ТФ) становятся выгодными, когда растет отдача от технологических достижений, а масштабы инновации перекрывают стоимость ИиР [Paulson Gjerde et al., 2002]. Изначально это правило относилось к отдельным компаниям, тем не менее оно легко применимо к отраслям и странам. Выявлена базовая закономерность: государства с отсталой экономикой выбирают имитационный путь, а более развитые берут на вооружение инновационную стратегию. Мерой зрелости экономики служит расстояние до мировой ТФ [Acemoglu et al., 2003, 2006]. Очевидно, переключение режимов происходит относительно плавно, когда возможно сосуществование обоих способов технологического обновления. По мере приближения к ТФ возрастают сложность заимствуемых технологий и значимость собственных инноваций, основанных на человеческом капитале и научно-технологических заделах страны [Acemoglu, 1997]. Инновации появляются в отраслях (экономике), находящихся в пограничной зоне или вблизи нее, а потребность в заимствовании технологий возрастает с отдалением национальной экономики от мировой планки ТФ [Cincera, van Pottelsberghe, 2001; Полтерович, 2009]. Таким образом, была предложена идея комбинированной стратегии, когда одновременно имеют место заимствование и разработки новых технологий, а динамика развития проявляется в увеличении инновационной активности.

В целом расширенное понимание ТФ объясняется ускоренной динамикой самих технологических изменений. Например, коммерциализация одной из пограничных технологий способна существенно переместить ТФ во всем мире. Существует принципиальное различие между инновациями «для себя», реализуемыми в том числе при заимствовании технологий, и реальными инновациями — для рынка. Их приобретение означает признание потребителями, что в определенной мере отодвигает ТФ [Ясин, Снеговая, 2018]. Следовательно, расширенная трактовка ТФ более абстрактна и сложнее верифицируема, при этом содержательно объясняет траектории развития компаний и стран, а также служит элементом в системе проектирования дальнейшего прогресса.

## Практика количественной оценки ТФ

Рассмотрим некоторые подходы к идентификации ТФ.

1. *Определение ТФ как ОФП в традиционных производственных функциях* [Бессонова, 2007]:

$$Y = AK^\alpha L^{1-\alpha},$$

где:

Y — совокупный выпуск;

K — капитал;

L — труд;

$\alpha$  — эластичность;

A — совокупная факторная производительность, которая трактуется как ТФ.

Напомним, что более сложные и реалистичные модификации достигаются введением дополнительных факторов или дезагрегированием базовых составляющих (например, труда на квалифицированный и неквалифицированный) [Caselli et al., 2006]. Основным преимуществом подобного подхода выглядит возможность введения двух категорий ТФ: 1) расстояние страны относительно ее условной границы, т. е. максимально достижимого уровня производительности; 2) мера дистанции между условной границей страны и мировой планкой [Filippetti, Peyrache, 2017]. Второй подход доказал свою плодотворность в объяснении темпов экономического роста с учетом масштабов технологического отставания страны [Battisti et al., 2018; Rabe, 2016]. Он ориентирован на абстрактный маргинальный технологический потенциал государства, выраженный в безразмерных единицах.

2. *Понимание ТФ как соотношения производительности труда в рассматриваемом государстве с показателями лидера* (обычно США) с учетом паритета покупательной способности (ППС) [Aghion et al., 2005] позволяет воспринимать эту величину в качестве разделительной полосы между режимами имитации и создания инноваций. Часто значение ТФ вводится в уравнения, содержащие другие макроэкономические переменные — добавленную стоимость, затраты на ИиР, стоимость промежуточной продукции и т. д. Аналогичная схема применяется и на микроуровне с той лишь разницей, что в систему уравнений вводятся одна или несколько компаний-конкурентов для расчета рентабельности выбора инновационного режима, а ТФ оказывается равным максимальной производительности среди всех предприятий [Benhabib et al., 2017]. Тем самым в указанных исследованиях само понятие ТФ фактически подменяется показателем относительной производительности труда. В результате учитывается дистанция от технологического лидера, но точка смены режима с заимствования на создание инноваций, строго говоря, не определяется.

Если на уровне стран или отраслей эмпирические данные обычно собираются национальными статистическими ведомствами, то для оценки ТФ отдельных компаний применяются социологические исследования. Так, на основе опроса представителей испанского бизнеса удалось смоделировать влияние удаленности от технологического уровня компании-лидера на выбор между инновациями и заимствованием для отдельных предприятий, при этом ТФ был представлен через ОФП [Gombau, Segarra, 2011]. Аналогичное обследование проводилось по африканским странам, однако ТФ не рассматривался в контексте имитации либо генерации инноваций [Cirera et al., 2017]. На примере португальских предприятий изучено влияние структурных реформ на изменение дистанции от ТФ [Gouveia et al., 2017]. Существует опыт оценки эффективности издержек на ИиР в зависимости от близости к ТФ на базе опросных данных о примерно 550 компаниях, харак-

теризующихся самыми высокими затратами на ИиР в мире [Andrade et al., 2018]. Из сказанного видно, что и здесь в качестве ТФ используется не слишком прозрачная конструкция — относительная ОФП. Кроме того, определение величины ТФ является относительно простым, а расчеты вновь сводятся к вычислению разрыва между максимальным (граничным) и фактическим уровнем ОФП для многих субъектов рынка.

3. *Идентификация ТФ на основе качественных опросов компаний.* Подход базируется на закрытом вопросе (с заданными вариантами ответа) об оценочном уровне технологий, используемых компанией (более продвинутые по сравнению с конкурентами, примерно идентичные либо отстающие) [Alder, 2010]. В частности, такой подход встречается в исследовании Всемирного банка 2002–2008 гг., охватившем более 9 тыс. предприятий<sup>1</sup>. Другой вариант вопроса сформулирован в социологическом обследовании корейских компаний: «Какова цель внедрения инноваций?». Предлагаемые ответы позволяют классифицировать технологические стратегии игроков: открытие нового рынка (уровень ТФ), увеличение рыночной доли или диверсификация линейки продуктов (последователи), изменение дизайна продукции (аутсайдеры) [No, Seo, 2014]. Слабость подхода обусловлена нерегулярностью социологических исследований, отсутствием международной сопоставимости результатов и группировкой компаний по нерепрезентативной выборке.

4. *Косвенная оценка ТФ на основе коэффициента Тобина* (соотношение рыночной стоимости предприятия и балансовой стоимости активов) [Coad, 2008]. Оперативное получение данных с фондового рынка позволяет идентифицировать смену поведенческого паттерна компании в зависимости от ее производительности. Однако увеличение коэффициента Тобина не всегда является следствием роста технологического уровня фирмы.

Итак, каждый из представленных в мировой литературе методов «оцифровки» имеет сильные и слабые стороны, которые детерминируются контекстом анализа. В России термин «технологический фронт» имеет исключительно описательное назначение, и случаев его количественной интерпретации, а следовательно, включения в макроэкономические модели обнаружить не удастся. В рамках наиболее перспективного подхода к пониманию ТФ предложена теория перехода от заимствования к разработке новых технологий [Polterovich, Tonis, 2005]. ТФ трактовался как относительная производительность труда (база сравнения — США), превышение которой делает экономически оправданными собственные разработки страны. Получены две эконометрические зависимости, описывающие затраты на имитацию и инновации, которые в нашей предыдущей работе [Балацкий, 2012] служили для непосредственного расчета ТФ. Продемонстрирована принципиальная возможность простого аналитического решения аналитической задачи. Насколько нам известно, других попыток количественно оценить ТФ в современном пони-

мании точки переключения с одного режима на другой в России не было. Вместе с тем исходные данные в указанной работе носили весьма обобщенный характер и нуждаются в существенных уточнениях. Следовательно, сама задача о ТФ предполагает более тонкие методические аранжировки. Так, остается открытым вопрос о том, насколько универсален ТФ — в пространстве и во времени. Неясны, например, степень различия ТФ по группам государств, находящихся на разных уровнях экономического развития, а также направление, в котором он дрейфует с течением времени. На эти вопросы призваны ответить последующие построения.

## Теоретическая модель рынка инноваций

Продолжая линию, начатую в работах [Polterovich, Tonis, 2005; Балацкий, 2012], рассмотрим две стороны рынка инноваций. Возможны две интерпретации рыночных взаимодействий — на микроуровне (затратном) и макроэкономическом (рыночном). Микроуровень получил развитие в упомянутых работах и является более традиционным.

Пусть  $S$  — удельные расходы страны на закупку на открытом рынке технологий (сальдо роялти), а  $D$  — на осуществление ИиР. Основное допущение состоит в том, что данные издержки являются функциями производительности труда  $P$ . Резонно предположить, что с ростом технологического уровня страны (относительной производительности труда, как правило, на фоне условного лидера — США) снижаются удельные затраты на ИиР, а рост продуктивности ведет к увеличению издержек на заимствование из-за необходимости покупать все более современные и дорогие технологии. В этом случае задача выбора национальной инновационной стратегии может описываться обобщенной функцией удельных издержек  $W$ , сочетающей два типа затрат с весовым коэффициентом  $\zeta$ :

$$W = \zeta S + (1 - \zeta)D. \quad (1)$$

Оптимизация комбинации (1) по весовому коэффициенту дает простейшее условие:

$$dW/d\zeta = S - D. \quad (2)$$

Таким образом, оптимум достигается при равенстве двух видов удельных издержек. Рациональная стратегия государства состоит не в выборе правильной пропорции между двумя видами издержек и реализации комбинированного подхода. Напротив, она предполагает следование простому правилу: если  $D > S$ , то  $dW/d\zeta < 0$  и страна реализует преимущественно собственные ИиР. В противном случае речь идет о массовом заимствовании технологий. На практике обычно применяется смешанная стратегия с явным доминированием одного типа затрат. Для нас важен указанный момент преобладания одной из чистых инновационных стратегий.

Для простоты, как и во многих предыдущих работах, будем полагать, что зависимости издержек описываются простейшими линейными функциями производительности труда:

<sup>1</sup> <https://www.enterprisesurveys.org/en/enterprisesurveys>, дата обращения 21.06.2021.

$$D = \alpha + \beta P, \quad (3)$$

$$S = \alpha^* + \beta^* P, \quad (4)$$

где  $\alpha$ ,  $\alpha^*$ ,  $\beta$  и  $\beta^*$  — параметры.

Тогда равновесное значение производительности труда  $P^*$  при  $S=D$  будет выступать в качестве искомого ТФ:

$$P^* = -\frac{\alpha^* - \alpha}{\beta^* - \beta}. \quad (5)$$

Согласно второй интерпретации (рыночной, макроэкономической) уравнение (3) описывает спрос на технологические ноу-хау, тогда как уравнение (4) — предложение технологических инноваций. Здесь резонно предположить, что спрос (потребности страны в инновациях) убывает по мере роста производительности труда, а предложение (ее возможности по созданию роялти) возрастает. Тогда равновесие на рынке роялти возникает при равенстве спроса и предложения, что и определяет ТФ (5).

Несмотря на относительную простоту, предложенная модель рынка инноваций дает содержательные и хорошо верифицируемые результаты. Рассмотрим возможность ее эконометрической проверки, для чего достаточно построить регрессии вида (3) и (4).

## Методология исследования

### Исходные данные

Прикладные расчеты в целях идентификации ТФ базируются на статистических данных базы World Development Indicators<sup>2</sup> за период 1996–2017 гг. (22 наблюдения). Использовались следующие переменные:

- $P$  — относительная производительность труда (объем ВВП к численности занятых)<sup>3</sup>;
- $D$  — доля внутренних затрат на ИиР в ВВП (прокси-переменная для удельных затрат на создание инноваций);
- $S$  — удельный вес инвестиций в основной капитал в ВВП (*gross fixed capital formation*);
- $S$  — отношение объемов поступлений (экспорт технологий) и платежей (импорт технологий) за использование интеллектуальной собственности к ВВП (прокси-переменная для удельных затрат на заимствование технологий).

Выбор прокси-переменных опирается на распространенную практику моделирования инновационной (затраты на ИиР) и имитационной (покупка готовых технологий) стратегий бизнеса или национальных экономик [Schewe, 1996; Slivko, Theilen, 2014]. Все показатели обрабатывались на исследуемом интервале методом среднего геометрического, за исключением  $S$ , к которому применялся принцип среднего арифметического из-за отрицательных значений. В итоговую статистическую выборку вошло 61 государство, для которых имелись данные хотя бы по 11 наблюдениям в отношении каждой переменной. Пропущенные значения восстанавливались как среднее от двух соседних

точек. В нескольких случаях усреднение происходило по неполному временному ряду. Соответственно эконометрические зависимости строились на базе пространственной выборки, так как анализ панельных данных не соответствует цели идентификации общей зависимости на определенном временном срезе с последующим сравнением ТФ во времени. Кроме того, на длительных временных участках имеет место высокая волатильность  $S$ . Все переменные за исключением доли инвестиций в основной капитал подвергались стандартной нормировке  $x: x_n = (x - x_{min}) / (x_{max} - x_{min})$  по выборке в целом или соответствующему кластеру.

### Кластеризация стран

Для корректных расчетов предварительно следует определить, какие страны подпадают под задачу о ТФ, а для каких она не имеет смысла. С этой целью проводится кластеризация исходного массива стран, чтобы в дальнейшем для полученных групп строить отдельные регрессионные зависимости. Очевидно, что для разных кластеров государств с соответствующим уровнем развития зависимости окажутся неодинаковыми. Универсальная модель для всей выборки, скорее всего, будет давать завышенные либо заниженные оценки. Здесь уточняются модели, которые ранее использовались для единого массива стран [Polterovich, Tonis, 2005]. Кроме того, мы используем свежие данные, что вносит корректировки относительно предыдущих оценок.

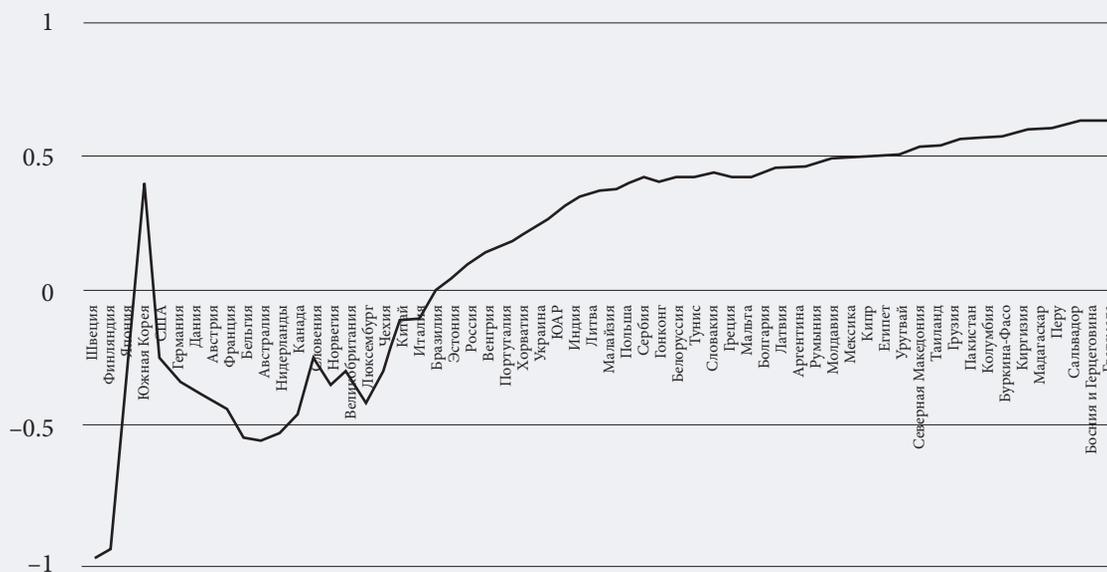
Задача кластеризации состоит в разделении стран на передовые и догоняющие. Для этого принята двухшаговая процедура. Первый этап — применение машинных методов для первичной идентификации нескольких эшелонов государств. Чаще всего для определения расстояния между кластерами используются вычисления одиночной, полной и средней связей, центроиды, метод Уорда (*ward.D*). Наибольшую корреляцию с другими инструментами демонстрирует центроидный, а уникальность — метод Уорда. Все подходы, кроме последнего, генерируют варианты с одним непропорционально большим кластером и несколькими небольшими. Подобный результат является неудовлетворительным, поскольку слишком малые выборки не позволяют строить статистически значимые регрессии. Тем не менее на этом этапе просматривается первичная закономерность: при любых методах группировки в первый эшелон попадают преимущественно страны с долей затрат на ИиР в ВВП больше 1.5%. По результатам предварительной сортировки сформировались две группы стран, для которых ключевым признаком стала величина затрат на ИиР. В дальнейшем значимых регрессий для полученных кластеров составить не удалось, несмотря на четко прослеживаемую связь между переменными.

Второй этап — калибровка машинной кластеризации, состоящая из трех последовательных операций: сортировка стран по убыванию показателя  $D$ , расчет коэффициентов корреляции между  $D$  и  $P$  (последо-

<sup>2</sup> <https://datacatalog.worldbank.org/dataset/world-development-indicators>, дата обращения 21.06.2021.

<sup>3</sup> Значение производительности каждой страны относилось к аналогичному показателю США, который был выбран в качестве базы (эталоны).

Рис. 1. Скользящие коэффициенты корреляции между показателями D и P



Источник: составлено автором.

вательная оценка корреляции для верхних двух государств, трех, четырех и т. д.), поиск пороговых точек, в которых меняется знак коэффициента корреляции, а также «горбов», сигнализирующих об изменениях силы связи (рис. 1). За исключением Южной Кореи, на рис. 1 просматривается разделение стран по характеру связи между показателями D и P. По этой причине в первый кластер отнесены все страны выше Чехии, так как начиная с нее коэффициент корреляции становится по модулю меньше 0.2, что говорит об относительно слабой связи. Примечательно, что 16 из 18 стран первого кластера включены в него машинным методом. Выделение субкластеров в эшелоне догоняющих стран не дало положительного результата. Причем повторение ручной калибровки второго кластера с использованием скользящих коэффициентов корреляции показало, что для него параметр D не является определяющим, равно как и S. Однако сортировка второго кластера по показателю P дала положительный результат, хотя такая явная синусоида, как в первом кластере, не просматривается. Окончательное число стран второго кластера — 43.

## Эмпирическое определение технологического фронта

Исходной гипотезой дальнейших расчетов выступает тезис о том, что для различных страновых кластеров характерны разные значения ТФ. Окончательная проверка сформулированной гипотезы и правильности кластеризации стран состоит в построении двух эконометрических зависимостей. Если модели строятся по каждому кластеру, имеют хорошие статистические характеристики и дают непротиворечивые результаты, то можно полагать, что и кластеры идентифицированы верно. В противном случае группировка признается не-

удачной, и для ее выполнения следует воспользоваться иными процедурами. Различия значений ТФ по кластерам должны подтвердить гетерогенность данного параметра для мировой экономики. Для первого кластера, включающего передовые страны, получена следующая пара эконометрических зависимостей:

$$D = 0,813 - 0,231P \quad (6)$$

$N=18; R^2=0.157; BP=2.18$  (уровень значимости — 0,14);  $GQ=0.18$  (0.99).

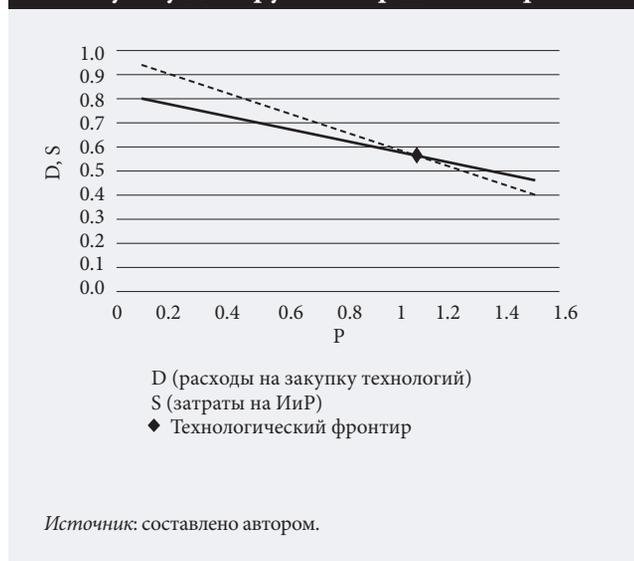
$$S = 0,970 - 0,376P \quad (7)$$

$N=18; R^2=0.236; BP=0.01$  (0.96);  $GQ=3.29$  (0.07).

Построенные модели (6) и (7) имеют удовлетворительные статистические характеристики. Коэффициент  $\beta$  в модели (6) является значимым на 11-процентном уровне, что допустимо для используемой выборки с усредненными значениями на длительном временном интервале. Отсутствие гетероскедастичности проверено с помощью тестов Бройша–Пагана (BP) и Голдфелда–Куандта (GQ) — для обеих моделей получены удовлетворительные результаты. Более тщательная верификация модели (5)–(6) не проводилась, так как ее результаты используются для прикладных расчетов «виртуального» ТФ, носящего вспомогательный характер (см. ниже).

С учетом среднего значения доли инвестиций в ВВП по первой группе стран в 22.6% расчет ТФ для моделей (6) и (7) дает величину  $P^*=108.2\%$ , выходящую за область допустимых. Иными словами, эконометрические расчеты подтвердили, что для кластера передовых государств задача о ТФ не имеет смысла, а сам ТФ становится «виртуальным». Подобный факт требует комментария с точки зрения структуры моделей (6) и (7). Для

Рис. 2. Кривые спроса и предложения ноу-хау для группы передовых стран



традиционной ситуации, как правило, действуют два эффекта — обучения применительно к сфере ИиР ( $\beta < 0$ ) и удорожания заимствуемых технологий ( $\beta^* > 0$ ). Однако для прогрессивных стран последний из упомянутых эффектов претерпевает инверсию ( $\beta^* < 0$ ), что имеет довольно прозрачную интерпретацию: в государствах, которые самостоятельно поставляют на рынок инновации, вследствие роста производительности труда технологии становятся еще более доступными и дешевыми. Таким образом, для стран-лидеров обе кривые спроса и предложения становятся убывающими. Их пересечение происходит за пределами отметки в 100%, так как на всей области определения оси абсцисс удельные издержки создания «своих» новых технологий для них ниже удельной стоимости «чужого» оборудования (рис. 2).

Для второго кластера (догоняющие страны) получены следующие эконометрические зависимости:

$$D = -0.427 + 0.677P + 0.028C \quad (8)$$

(2.468) (4.318) (3.862)

$N=43$ ;  $R^2=0.448$ ;  $BP=0.31$  (0.86);  $GQ=0.33$  (0.99);  $Chow=1.01$  (0.40).

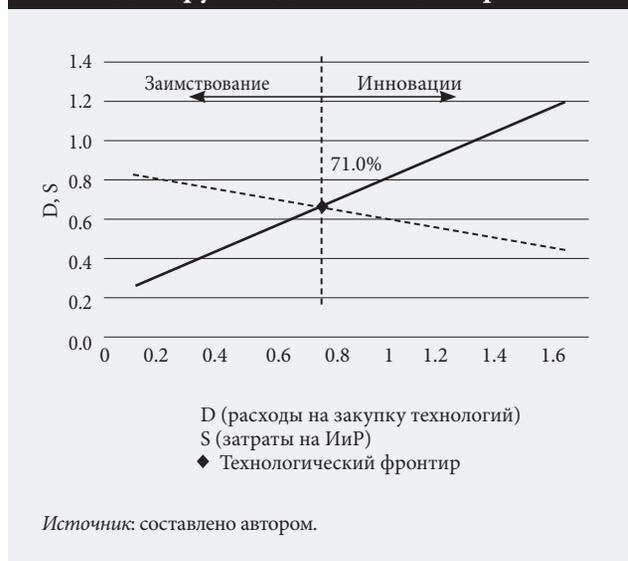
$$S = 0.086 - 0.275P \quad (9)$$

(15.504) (1.974)

$N=43$ ;  $R^2=0.087$ ;  $BP=1.27$  (0.26);  $GQ=2.75$  (0.02),  $BP_{wt}=1.51$  (0.47);  $Chow=1.84$  (0.17).

Построенные модели (8) и (9) также имеют удовлетворительные статистические характеристики. Коэффициент  $\beta^*$  в модели (9) является значимым на 6-процентном уровне, что практически не снижает достоверность полученных оценок. Признаки гетероскедастичности обнаружены в модели (9) по одному из тестов, но дополнительный тест Уайта ( $BP_{wt}$ ) указывает на ее отсутствие. Верификация моделей для второго кластера была проведена при помощи теста Чоу (Chow) — в отношении обоих уравнений получены удовлетворительные результаты, что говорит об устойчивости вычисленных зависимостей.

Рис. 3. Кривые спроса и предложения ноу-хау для группы догоняющих стран



Поскольку доля инвестиций в ВВП по второй группе государств составляет 21.8%, расчет ТФ для моделей (8) и (9) дает величину  $P^*=71.7\%$ . Тем самым для «догоняющих» стран задача о ТФ имеет высокую актуальность. Эффекты обучения и удорожания в их случае имеют классический вид, а кривые спроса и предложения (8) и (9) являются разнонаправленными (рис. 3). Более того, полученная величина ставит серьезный инновационный барьер для развивающихся экономик. Следовательно, прежде чем начинать собственные разработки, им предстоит обеспечить производительность труда не менее чем 2/3 от уровня США, в том числе за счет заимствования и внедрения иностранных технологий. Лишь после этого имеет смысл разворачивать национальные инициативы по разработке собственных инноваций.

Полученные результаты выглядят интересными и неожиданными в двух аспектах.

Первый заключается в увеличении ТФ с течением времени. В нашей предыдущей работе [Балацкий, 2012] получена «грубая» оценка ТФ на уровне 61.5%, тогда как приведенные выше более «свежие» расчеты дают величину в 71.7%, т. е. на 10 п.п. больше. Если не списывать получившиеся расхождения на нюансы алгоритмов получения двух оценок, можно предположить, что для стран «позднего старта» затрудняется переход к активной инновационной политике. Ловушка заимствования становится все более глубокой и прочной — опоздавшие государства вынуждены надолго оставаться в качестве пользователей чужих технологий. Чтобы вырваться из нее, нужно не просто сократить дистанцию с лидерами, но вплотную приблизиться к ним по производительности труда.

Вторым фактором, понижающим величину ТФ, является инвестиционная активность. Расчеты показывают, что рост инвестиций в основной капитал с 21 до 30% позволяет сократить ТФ с 71.7 до 47.5%. В итоге

ловушка технологического заимствования не выглядит фатальной. Если догоняющие страны стремятся ее преодолеть, они должны на время сознательно отказаться от потребительской установки в пользу высокой инвестиционной активности. Подобной стратегии в свое время придерживались СССР, Южная Корея и Китай. В противном случае период преследования может растянуться бесконечно.

## Успешные и неудачные стратегии преодоления ТФ

Учет ТФ имеет большое значение для догоняющих стран, помогая избежать двух типов ошибок — отставания инновационной активности на фоне общего экономического потенциала и преждевременного ее наращивания в отсутствие надлежащей базы. Задержки с формированием национальной инновационной системы при соответствующих технологических предпосылках столь же губительны, как и попытки создания таковой в условиях отсутствия прочного экономического фундамента. Многими странами накоплен опыт ошибок и достижений. Проиллюстрируем контрастность роли ТФ в инновационной политике на примерах Южной Кореи, Китая и России.

### Китай

Еще в 1980-х гг. архаичная китайская экономика не могла претендовать на достойный технологический уровень. Местный бизнес начал с копирования и незначительного улучшения зарубежной продукции [Yip, McKern, 2016]. Позже была введена политика встраивания китайских компаний в транснациональные цепочки добавленной стоимости в ИКТ-отраслях. Сотрудничество с Intel, Google, MediaTek создало предпосылки для масштабной технологической диффузии и формирования национальных предприятий, производящих высокотехнологичные товары под китайскими брендами. С 2004 г. создаются собственные инновации, расширяется сфера ИиР [König et al., 2018], локальная генерация новых технологий становится системным процессом. Поскольку выход на ТФ пока не состоялся, развитие инноваций не обрело масштабного характера. Однако устойчивый рост доли затрат на ИиР в ВВП позволяет стране уверенно двигаться к данной отметке (табл. 1). Стратегия имитации, дополненная локальными инновациями, обеспечила высокие достижения: в 2018 г. в первую сотню компаний мира по уровню затрат на ИиР вошли девять китайских компаний, специализирующихся в передовых отраслях экономики<sup>4</sup>.

### Южная Корея

Технологический путь Южной Кореи можно условно разделить на четыре этапа [El Fakir, 2008]. На первых двух активно приобретались зарубежные технологии. В 1962–1982 гг. было совершено более 2000 закупочных сделок, суммарная стоимость которых соответствова-

Табл. 1. Производительность труда в странах относительно уровня США (по ППС), %

Год	Китай	Южная Корея	Россия
1975	н/д	9.4*	н/д
1985	1.5*	16.5*	н/д
1992	4.1	37.8	43.9
1995	5.5	43.4	35.8
2000	7.0	48.2	34.1
2005	9.9	51.0	39.4
2010	15.6	57.3	43.4
2015	21.7	59.3	45.2
2017	24.5	61.4	46.0

\* без учета ППС.

Источник: составлено автором.

ла почти половине объема всех прямых инвестиций за этот период [Suh, Chen Derek, 2007]. Допускались и протекционистские меры по отношению к местным корпорациям (чеболям) [Lee et al., 1996]. На третьей стадии (1980–1990-е гг.) начался переход в режим генерации инноваций. В результате объем внутренних ИиР увеличился, возникли высокотехнологичные компании. Четвертый этап (с конца 1990-х гг.) характеризуется кластерным подходом к управлению развитием национальной промышленности и поддержкой корпораций — мировых лидеров. С этой целью страна поделена на зоны по принципу ведущих базовых отраслей, а инновации стимулируются с учетом особенностей каждой из них [Kim, 2008]. Сегодня Южная Корея приблизилась к ТФ (см. табл. 1), радикально увеличила внутренние затраты на ИиР, а в 2018 г. четыре корейские компании вошли в число глобальных лидеров по уровню затрат на ИиР<sup>5</sup>.

Таким образом, Южная Корея и Китай благодаря последовательной инновационной политике перешли от заимствования иностранных технологий к созданию инноваций в ограниченном круге перспективных отраслей (высокотехнологичных кластерах). Учитывается фактор зрелости: понимая, что ТФ пока не преодолен, руководство обеих стран не стремится к полномасштабному освоению рынка высоких технологий.

### Россия

В России с начала масштабных экономических реформ в 1992 г. были приняты многочисленные стратегические документы, направленные на развитие сферы инноваций. Однако реальных изменений в повышении технологического уровня производства не произошло. Среди возможных причин: специфика макроэкономических условий, структуры рынков и корпоративного управления, несоответствие институциональной системы требованиям инновационного развития [Гохберг, Кузнецова, 2009], чрезмерная ставка на госкорпорации [Симачёв и др., 2014]. По нашему мнению, главный фак-

<sup>4</sup> <https://www.strategyand.pwc.com/innovation1000#VisualTabs1>, дата обращения 21.06.2021.

<sup>5</sup> <https://www.strategyand.pwc.com/innovation1000#VisualTabs1>, дата обращения 21.06.2021.

тор, обусловивший провал всех планов по созданию высокотехнологичной сферы, состоит в попытке «перепрыгивания» этапа имитации к разработке инноваций. В результате Россия не смогла заметно улучшить свои мировые позиции производительности труда и все еще далека от ТФ (см. табл. 1).

Кроме того, многочисленные внутренние и внешние инновации оказались невостребованными российским бизнесом, который нуждался в простых, но более продуктивных технологиях, тогда как разработчики предлагали усложненные и непроверенные решения. Подобная непоследовательная политика привела к стагнации затрат на ИиР и отсутствию среди национальных высокотехнологических компаний глобальных лидеров. В рейтинге 2018 г. компаний, выделяющих максимальные затраты на ИиР, присутствовал российский «Газпром» (448-е место). Не заостряя внимания на тактических ошибках национальной инновационной политики, вряд ли будет преувеличением сказать, что главная проблема модернизации экономики состоит в отсутствии внутренних и внешних механизмов диффузии технологий. Опыт даже преуспевающих отечественных предприятий по-прежнему не перенимается компаниями аналогичного профиля. Внешние механизмы заимствования до конца не выстроены и к тому же во многом осложняются международными санкциями.

## Обсуждение результатов

Рассмотренная трактовка ТФ и алгоритм ее количественного определения пополняют арсенал полезных аналитических инструментов в экономике. Учет данного индикатора предоставляет ряд преимуществ. Идентификация ТФ позволяет предельно точно выявить тот «клуб» стран, в который входит конкретное государство. Если фактическая относительная производительность труда намного ниже ТФ, то речь идет о технологически отсталом государстве, в ином случае его можно отнести к лидерам. Подтвердилось предположение о том, что для технологически развитых стран само понятие ТФ как порогового значения бессмысленно, ибо они уже находятся на инновационной стадии развития. В случае догоняющих экономик ТФ, напротив, имеет большое значение для определения собственного места в мировой системе.

Понимание положения страны относительно ТФ дает возможность определить, какой вид технологической политики для нее является приоритетным — заимствование или создание инноваций. Приведенные в предыдущем разделе страновые примеры показывают, что учет данного обстоятельства способствует выстраиванию адекватной технологической политики и ускорению экономической модернизации. В то же время игнорирование существующего технологического барьера приводит к дезориентации властей, несбалансированности научно-производственной стратегии, хаотично-

му экспериментированию с разными инновационными институтами и неправильному определению приоритетов в финансировании и организации производств.

Ряд особенностей не позволяют пользоваться ТФ автоматически и шаблонно. Его содержание и алгоритм определения требуют аккуратного использования. Оценку ТФ нельзя абсолютизировать, так как эконометрический аппарат, несмотря на свои возможности, не гарантирует высокой точности столь непростого индикатора. На наш взгляд, реальная величина ТФ находится в радиусе  $\pm 3$  п.п. от ее идентифицированного значения.

Определенная нами ТФ носит макроэкономический характер. Вместе с тем во многих странах, включая Россию, производительность труда между отраслями может различаться в разы, а показатели компаний внутри одной отрасли и между регионами — в десятки раз [Балацкий, Екимова, 2020]. В связи с этим макрооценка ТФ показывает общий ориентир для экономики в проведении технологической политики. Отраслевой и региональный анализ позволит выделить соответствующие зоны, в которых целесообразно заимствование технологий либо создание собственных. В идеале ТФ нужно определять отдельно по каждой отрасли, чтобы обеспечить сопоставимость исходных данных. Однако в настоящее время для этого недостаточно статистической базы, в связи с чем можно ограничиться хотя бы общим правилом относительно критической величины ОПТ.

Предложенная теоретическая схема носит крайне упрощенный характер, в связи с чем оперирует чистыми стратегиями — заимствование либо разработка новых технологий. В реальности многие страны придерживаются смешанных стратегий, когда для определенных, наиболее отсталых сегментов экономики используется режим заимствования, а для других — собственные разработки, что заведомо отрицает бинарный характер экономической и технологической политики. Следовательно, ТФ указывает на доминирующую модель модернизации, а селекция зон на два режима является прерогативой более тщательного анализа национальной экономики и ее технологического уровня.

Даже предельно корректное определение ТФ для всей экономики или отдельного сектора не объясняет, какие именно механизмы должны задействоваться при заимствовании или разработке инноваций. Формирование подобных инструментов представляется искусством и определяется компетентностью государственного менеджмента. Иными словами, ТФ позволяет на качественном уровне понять, как надо осуществлять технологический прогресс — преимущественно за счет имитации или создания собственных инноваций.

Сказанное позволяет сформулировать тезис о целесообразности использования концепции ТФ в российской инновационной политике с учетом указанных

<sup>6</sup> В расчетах использовалась статистика по валовой добавленной стоимости (<http://data.un.org/Data.aspx?q=Gross+Value+Added+by+Kind+of+Economic+Activity&d=SNAAMA&f=grID%3a202%3bcurrID%3aUSD%3bpcFlag%3a0>, дата обращения 21.06.2021) и численности занятых ([https://www.ilo.org/shinyapps/bulkexplorer29/?lang=en&segment=indicator&id=EMP\\_TEMP\\_SEX\\_ECO\\_NB\\_A](https://www.ilo.org/shinyapps/bulkexplorer29/?lang=en&segment=indicator&id=EMP_TEMP_SEX_ECO_NB_A), дата обращения 21.06.2021).

нюансов и ограничений. Вместе с тем проведенные расчеты показывают, что в России заимствование новых технологий осуществлялось крайне неэффективно. В качестве критериев его эффективности выступают степень и темпы приближения к ТФ. Так, в 2017 г. Южную Корею от ТФ отделяло всего 10 п.п., тогда как Россию — более 25. Скорость приближения к ТФ на временном интервале 1992–2017 гг. у Южной Кореи была в 11.2 раза выше, чем у России. В последние годы ситуация в России улучшилась, но по-прежнему далека от оптимальной (см. табл. 1). Еще ярче указанные критерии проявлялись в обрабатывающих производствах, где производительность труда в России по отношению к США составляла 16.7%, а в Южной Корее — 71.2% (уровень ТФ!)<sup>6</sup>. Подобное положение дел подтверждается интенсивностью закупки промышленных роботов: по данным Международной федерации робототехники, плотность роботизации промышленности в Южной Корее в 2018 г. составила 774 ед. (на 10 тыс. занятых), а в России — только пять.<sup>7</sup>

В нормативных документах страны, касающихся научно-технологического развития, не ставится задача организации продуманного заимствования зарубежных и внедрения собственных разработок. Между тем именно на это ориентирует идентификация ТФ. Здесь у России имеется недоиспользованный регулятивный резерв в модернизации экономики и существует потенциал для плодотворного применения нового индикатора<sup>8</sup>.

## Заключение

Выполненные построения показывают, что шумпетерианский анализ инновационной сферы по-прежнему продуктивен и способен давать новые интересные резуль-

таты. Применение понятия ТФ в узкой интерпретации как порогового значения ОФП позволяет существенно углубить концепцию Й. Шумпетера о двух фазах технологического развития — имитации (заимствовании) и инновации (создании) технологий [Schumpeter, 1964]. Для догоняющих стран, включая Россию, эффективный переход от одной фазы развития к другой предполагает свои закономерности и условия. Одно из них состоит в достижении развивающимся государством ТФ, и нарушение этого принципа приводит к неэффективным затратам и торможению развития.

Несмотря на простоту концепции ТФ, на практике она может непреднамеренно нарушаться по разным причинам. После распада СССР и потери промышленного потенциала Россия перешла в разряд догоняющих стран, однако в силу институциональной инерции за три десятилетия так и не были созданы эффективные механизмы широкого заимствования технологий. Страна не является уникальной в этом отношении — сегодня многие государства стремятся обрести независимость и солидный международный вес благодаря наращиванию сектора ИиР при недостаточном технологическом уровне национальной экономики. По всей видимости, к разряду таких стран можно отнести Пакистан, Иран и Нигерию. Подобные стратегии не только тормозят развитие, но и провоцируют различные экономические дисбалансы и социальную напряженность.

*Статья подготовлена в рамках государственного задания Правительства Российской Федерации Финансовому университету на 2021 год по теме «Технологические, структурные и социальные факторы долгосрочного экономического роста». Автор выражает искреннюю признательность анонимным рецензентам за полезные замечания к рукописи.*

## Библиография

- Балацкий Е.В. (2012) Технологическая диффузия и инвестиционные решения. *Журнал Новой экономической ассоциации*, 15(3), 10–34.
- Балацкий Е.В., Екимова Н.А. (2020) Внутренние источники роста производительности труда в России. *Мир новой экономики*, 14(2), 32–43. <https://doi.org/10.26794/2220-6469-2020-14-2-32-43>
- Бессонова Е.В. (2007) Оценка эффективности производства российских промышленных предприятий. *Прикладная эконометрика*, 2, 13–35.
- Гохберг Л.М., Кузнецова И.А. (2009) Инновации в российской экономике: стагнация в преддверии кризиса? *Форсайт*, 3(2), 28–46.
- Дементьев В.Е. (2006) Ловушка технологических заимствований и условия ее преодоления в двухсекторной модели экономики. *Экономика и математические методы*, 42(4), 17–32.
- Полтерович В.М. (2009) Проблема формирования национальной инновационной системы. *Экономика и математические методы*, 45(2), 3–18.
- Симачёв Ю.В., Кузык М.Г., Фейгина В.В. (2014) Государственная поддержка инноваций в России: что можно сказать о воздействии на компании налоговых и финансовых механизмов? *Российский журнал менеджмента*, 12(1), 7–38.
- Ясин Е.Г., Снеговая М.В. (2018) Роль инноваций в развитии мировой экономики. *Вопросы экономики*, 9, 15–31. <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2009-9-15-31>
- Acemoglu D. (1997) Training and innovation in an imperfect labour market. *The Review of Economic Studies*, 64(3), 445–464. <https://doi.org/10.2307/2971723>
- Acemoglu D., Aghion P., Zilibotti F. (2003) Vertical integration and distance to frontier. *Journal of the European Economic Association*, 1(2–3), 630–638. <https://doi.org/10.1162/154247603322391260>
- Acemoglu D., Aghion P., Zilibotti F. (2006) Distance to frontier, selection, and economic growth. *Journal of the European Economic Association*, 4(1), 37–74. <https://doi.org/10.1162/jeea.2006.4.1.37>
- Aghion P., Howitt P., Mayer-Foulkes D. (2005) The effect of financial development on convergence: Theory and evidence. *The Quarterly Journal of Economics*, 120(1), 173–222. <https://doi.org/10.1162/0033553053327515>

<sup>7</sup> <https://roscongress.org/en/materials/perspektivnye-napravleniya-primeniya-robototekhniki-v-biznese/>, дата обращения 21.06.2021.

<sup>8</sup> Существуют разнообразные механизмы заимствования: введение налоговых льгот для зарубежных компаний на территории страны, поощрение отечественных предприятий к закупке и внедрению современного оборудования путем введения инвестиционных вычетов из прибыли и т. п. Однако этот практический вопрос заслуживает отдельного обсуждения и выходит за рамки нашей статьи, которая носит преимущественно инструментальный характер.

- Aigner D., Lovell C., Schmidt P. (1977) Formulation and Estimation of Stochastic Frontier Production Function Models. *Journal of Econometrics*, 6(1), 21–37. [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(77\)90052-5](https://doi.org/10.1016/0304-4076(77)90052-5)
- Alder S. (2010) Competition and innovation: Does the distance to the technology frontier matter? *SSRN Electronic Journal*, June 1. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1635789>
- Andrade L.R., Cardenas L.Q., Lopes F.D., Oliveira F.P.S., Fernandes K.C. (2018) The Impact of R&D Investments on Performance of Firms in Different Degrees of Proximity to the Technological Frontier. *Economics Bulletin*, 38(2), 1156–1170.
- Baldwin W.L., Childs G.L. (1969) The fast second and rivalry in research and development. *Southern Economic Journal*, 36(1), 18–24. <https://doi.org/10.2307/1056804>
- Battisti M., Del Gatto M., Parmeter C.F. (2018) Labor productivity growth: Disentangling technology and capital accumulation. *Journal of Economic Growth*, 23(1), 111–143. <https://doi.org/10.1007/s10887-017-9143-1>
- Benhabib J., Perla J., Tonetti C. (2017) *Reconciling models of diffusion and innovation: A theory of the productivity distribution and technology frontier* (NBER Working Paper w23095), Cambridge, MA: National Bureau of Economic Research.
- Caselli F., Coleman I.I., John W. (2006) The world technology frontier. *American Economic Review*, 96(3), 499–522. DOI: 10.1257/aer.96.3.499
- Cincera M., van Pottelsberghe de la Potterie B. (2001) International R&D Spillovers: A Survey. Brussels: Université libre de Bruxelles.
- Cirera X., Fattal Jaef R.N., Maemir H.B. (2017) *Taxing the good? Distortions, misallocation, and productivity in Sub-Saharan Africa*, Washington, D.C.: The World Bank. <http://documents.worldbank.org/curated/en/492891485178180375/Taxing-the-good-distortions-misallocation-and-productivity-in-Sub-Saharan-Africa>, дата обращения 15.02.2020.
- Coad A. (2008) *Distance to frontier and appropriate business strategy* (DRUID Working Paper 0807), Copenhagen: Copenhagen Business School. <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/31801/1/572410638.pdf>, дата обращения 15.02.2020.
- El Fakir A. (2008) South Korean system of innovation: From imitation to frontiers of technology, successes and limitations. In: *Management of Technology Innovation and Value Creation. Selected Papers from the 16th International Conference on Management of Technology* (eds. M.H. Sherif, T.M. Khalil), pp. 275–292. [https://doi.org/10.1142/9789812790545\\_0017](https://doi.org/10.1142/9789812790545_0017)
- Farrell M.J. (1957) The Measurement of Productive Efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)*, 120(3), 253–290. <https://doi.org/10.2307/2343100>
- Filippetti A., Peyrache A. (2017) Productivity growth and catching up: A technology gap explanation. *International Review of Applied Economics*, 31(3), 283–303. <https://doi.org/10.1080/02692171.2016.1249831>
- Gombau V., Segarra A. (2011) *The Innovation and Imitation Dichotomy in Spanish Firms: Do Absorptive Capacity and the Technological Frontier Matter?* (XREAP Working Paper 2011-22). [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=1973790](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1973790), дата обращения 15.02.2020.
- Gouveia A.F., Santos S., Goncalves I. (2017) *The impact of structural reforms on productivity: The role of the distance to the technological frontier* (OECD Productivity working paper № 8), Paris: OECD. [https://www.oecd-ilibrary.org/economics/the-impact-of-structural-reforms-on-productivity\\_6e4a4bf7-en;jsessionid=ocD4z8zimAYXeuT-JLPTgBRG.ip-10-240-5-160](https://www.oecd-ilibrary.org/economics/the-impact-of-structural-reforms-on-productivity_6e4a4bf7-en;jsessionid=ocD4z8zimAYXeuT-JLPTgBRG.ip-10-240-5-160), дата обращения 15.02.2020.
- Kim Y.S. (2008) Regional Industrial Policy in Korea — Its Outcomes and Implications. *KIET Industrial Economic Review*, 2, 17–26.
- König M., Storesletten K., Song Z., Zilibotti F. (2018) *From Imitation to Innovation? Where Is All That Chinese R&D Going?*, New Haven, CO: Yale University. [https://economics.stanford.edu/sites/g/files/sbiybj9386/f/kssz\\_180403\\_webpage.pdf](https://economics.stanford.edu/sites/g/files/sbiybj9386/f/kssz_180403_webpage.pdf), дата обращения 15.02.2020.
- Lee M., Son B., Om K. (1996) Evaluation of national R&D projects in Korea. *Research Policy*, 25(5), 805–818. [https://doi.org/10.1016/0048-7333\(96\)00879-7](https://doi.org/10.1016/0048-7333(96)00879-7)
- No J.Y.A., Seo B. (2014) Innovation and Competition. *Korea and the World Economy*, 15(2), 155–183.
- Paulson Gjerde K.A., Slotnick S.A., Sobel M.J. (2002) New product innovation with multiple features and technology constraints. *Management Science*, 48(10), 1268–1284. <https://doi.org/10.1287/mnsc.48.10.1268.270>
- Polterovich V., Tonis A. (2005) *Innovation and Imitation at Various Stages of Development: A Model with Capital* (NES Working Paper). [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=1753531](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1753531), дата обращения 15.02.2020.
- Rabe C. (2016) Capital controls, competitive depreciation, and the technological frontier. *Journal of International Money and Finance*, 68, 74–102. <https://doi.org/10.1016/j.jimonfin.2016.06.003>
- Sala-i-Martin X.X., Barro R.J. (1995) Technological diffusion, convergence, and growth (Center Discussion Paper 735). <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/160652/1/cdp735.pdf>, дата обращения 15.02.2020.
- Sato K. (1974) The neoclassical postulate and the technology frontier in capital theory. *The Quarterly Journal of Economics*, 88(3), 353–384. <https://doi.org/10.2307/1881941>
- Scherer F.M. (1967) Research and development resource allocation under rivalry. *The Quarterly Journal of Economics*, 81(3), 359–394. <https://doi.org/10.2307/1884807>
- Schewe G. (1996) Imitation as a strategic option for external acquisition of technology. *Journal of Engineering and Technology Management*, 13(1), 55–82. [https://doi.org/10.1016/0923-4748\(96\)00005-7](https://doi.org/10.1016/0923-4748(96)00005-7)
- Schumpeter J.A. (1964) *Business Cycles: A Theoretical, Historical and Statistical Analysis of the Capitalist Process*, New York: McGraw-Hill
- Segerstrom P.S. (1991) Innovation, imitation, and economic growth. *Journal of Political Economy*, 99(4), 807–827. <http://dx.doi.org/10.1086/261779>
- Slivko O., Theilen B. (2014) Innovation or imitation? The effect of spillovers and competitive pressure on firms' R&D strategy choice. *Journal of Economics*, 112(3), 253–282. <https://doi.org/10.1007/s00712-013-0361-5>
- Solow R.M. (1956) A contribution to the theory of economic growth. *The Quarterly Journal of Economics*, 70(1), 65–94. <https://doi.org/10.2307/1884513>
- Song B.J., Lim D. (2006) Korean Industry Vision 2020 and Megatrends. *KIET Industrial Economic Review*, 1, 8.
- Suh J., Chen Derek H.C. (2007) *Korea as a Knowledge Economy: Evolutionary Process and Lessons Learned*, Washington, D.C.: World Bank Institute, Korea Development Institute.
- UNCTAD (2018) *The Technology and Innovation Report 2018: Harnessing Frontier Technologies for Sustainable Development*, Geneva: UNCTAD. [https://unctad.org/en/PublicationsLibrary/tir2018\\_en.pdf](https://unctad.org/en/PublicationsLibrary/tir2018_en.pdf), дата обращения 15.02.2020.
- Yip G.S., McKern B. (2016) *China's next strategic advantage: From imitation to innovation*, Cambridge, MA: MIT Press.