

МЕНЕДЖМЕНТ

УДК 338.45:001.895:005.334:330.43

DOI: 10.17223/19988648/51/11

Е.Н. Акерман, А.А. Михальчук, В.В. Спицын, Н.О. Чистякова

ИННОВАЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ И ОЦЕНКА DEA – ДИНАМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ ОТРАСЛЕЙ ЭКОНОМИКИ РОССИИ¹

Актуальность исследования обусловлена технологическим отставанием и низкой эффективностью российских компаний, что придает особую значимость разработке методологии имитационных инновационных стратегий. Проведена апробация инструментария динамической эффективности DEA-модели для оценки потенциала и формирования имитационных инновационных стратегий значимых отраслей экономики России. Получены следующие результаты: рассчитаны показатели DEA-эффективности компаний по совокупности затратных и доходных финансово-хозяйственных показателей; выявлены неоднородности статических и динамических показателей эффективности компаний; проведена оценка временных трендов динамических показателей эффективности и сравнительный анализ исследуемых отраслей по совокупности статических и динамических показателей эффективности.

Ключевые слова: DEA-эффективность, догоняющее и опережающее развитие, отрасли, имитационное моделирование, дисперсионный анализ, панельные данные.

Введение

В условиях тотальной глобализации и наличия крупных транснациональных компаний, реализующих стратегию агрессивного инновационно-технологического лидерства, особую актуальность представляет разработка и реализация стратегий, позволяющих компаниям, находящимся в роли догоняющих, минимизировать издержки и удерживать свои позиции на рынке. Существуют две противоположные точки зрения на стратегии инновационного поведения экономических субъектов: стратегия прорывных инноваций – новые для рынка товары или способы производства [1]; имитационная стратегия (стратегия технологического арбитража) [2] – отражающая изменения в технологии и других внешних факторов, которые могут быть обнаружены и задействованы для предпринимателя [3]. В современных условиях концепция Кирцнера вызывает все больший интерес

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научно - исследовательского проекта РФФИ «Локальные инновации и глобальное технологическое лидерство: Переосмысление подходов к эффективному внутриотраслевому трансферу технологий», проект № 19-010-00946 (а).

научного сообщества. Многочисленные исследования [4–6] показывают, что компании используют имитационные стратегии, заимствуя новые технологические решения у фирм-конкурентов, вынужденно реагируя на прорывные технологические изменения.

Теоретические исследования имитационных стратегий в настоящее время проводятся в двух направлениях: теории, исследующие имитацию как стратегию получения информации [7]; теории, основанные на конкуренции, в соответствии с которыми имитация позволяет поддерживать паритет конкурентоспособности или ограничивает конкуренцию [8]. В результате имитационные стратегии стали рассматриваться как распространенная форма поведения, возникающая в различных сферах бизнеса: во внедрении новых продуктов и процессов, в принятии управленческих методов и организационных форм управления, в выходе на рынок и сроках вложений инвестиций [9].

В последнее время дискуссионным является вопрос исследования преимуществ и выгод от применения инновационных или имитационных стратегий. Исследуются различные рынки; условия внешней среды; факторы, обуславливающие целесообразность применения той или иной стратегии. Эмпирически доказано, что имитационные стратегии выгодны в условиях высокой степени технологической неопределенности, низких барьеров входа на рынок, низкого уровня защиты интеллектуальной собственности, подъема и бурного развития отрасли, короткого жизненного цикла продукта [10]. Кроме того, затраты имитатора значительно ниже, чем у инноватора, – 65–75% от затрат на инновацию, а временные – примерно 70% [10].

На практике выделяют различные виды имитационных стратегий (быстрого первого последователя, догоняющего последователя, первого импортера и т.д. [11]), у каждой из них есть преимущества и недостатки и для каждой требуются различные способности к имитации, поэтому важным является анализ и оценка имитационного потенциала компании и отрасли, в которой они функционируют.

Целью проведенного исследования послужила апробация инструментария динамической эффективности DEA-модели для оценки потенциала и формирования имитационных инновационных стратегий исследуемых отраслей экономики.

В этой связи приведем основные задачи, решаемые в рамках данного исследования:

1. Расчет показателей DEA-эффективности компаний значимых отраслей экономики России по совокупности затратных (оплаты труда и основные средства) и доходных (выручка) финансово-хозяйственных показателей.
2. Выявление неоднородности статических и динамических показателей эффективности компаний в разрезе исследуемых отраслей.
3. Оценка временных трендов динамических показателей эффективности компаний в разрезе исследуемых отраслей.
4. Сравнительный анализ исследуемых отраслей по совокупности статических и динамических показателей эффективности.

Методология исследования

Объект исследования. Объектом исследования являются компании шести отраслей экономики России (коды ВЭД указаны согласно ОКВЭД 2.0 [9]):

- ВЭД 21 – Фармацевтическая промышленность – 84 компании;
- ВЭД 20 – Химическая промышленность – 214 компаний;
- ВЭД 28 – Производство машин и оборудования – 291 компания;
- ВЭД 10 – Производство пищевых продуктов – 913 компаний;
- ВЭД 6 – добыча нефти и природного газа – 141 компания;
- ВЭД 62 и 63 – Сектор ИТ – 76 компаний.

Полная выборка составила 1 719 предприятий, или 8 595 наблюдений. Источник информации по показателям компаний – информационная система СПАРК [12].

Выбор отраслей обусловлен наличием особенностей и их значимостью для социально-экономического развития страны:

- фармацевтическая промышленность – социально значимая отрасль, обеспечивающая технологическую безопасность страны в условиях экономических санкций. Ее роль особенно возросла в настоящее время;

- химическая промышленность – одна из немногих отраслей обрабатывающей промышленности России, ориентированная на экспорт и не связанная напрямую с нефтью. В отрасли отмечается значительное количество иностранных и совместных предприятий;

- машиностроение – экономически значимая отрасль, создающая продукцию для остальных секторов и отраслей экономики. Играет существенную роль в обеспечении технологической безопасности страны. Поскольку отрасль производит инвестиционные товары, она испытывает серьезные проблемы в условиях кризисов и стагнации экономики, когда инвестиционная активность хозяйствующих субъектов снижается;

- пищевая промышленность – социально значимая отрасль, обеспечивающая технологическую безопасность страны. Отрасль характеризуется высокой устойчивостью к кризисным процессам и является одним из лидеров по объемам производства среди отраслей обрабатывающей промышленности;

- добыча нефти и газа – отрасль, обеспечивающая основной объем экспорта России, генерирует основной объем доходов в федеральный бюджет;

- сектор информационных технологий (сфера услуг) – динамично развивающаяся отрасль. В отрасли наблюдаются интенсивные процессы генерации нового бизнеса [20], устойчивость и тенденция к росту. В условиях длительной стагнации экономики России отрасль демонстрирует существенный прирост объемов оказываемых услуг, в том числе за счет создания и развития новых компаний [21, 22].

В рамках данного исследования проведена классификация отраслей по уровню технологичности согласно подходу «Организации экономического сотрудничества и развития» (далее – ОЭСР). Используемые на практике подходы отличаются критериями [7]:

1) классификация по секторам высоких технологий – интенсивность использования современных технологий в процессе производства;

2) классификация по продукту – конечный продукт и его наукоемкость.

В Европейском союзе и России используется первый подход. При этом разделение отраслей на высокотехнологичные, среднетехнологичные и низкотехнологичные в ЕС (в рамках действующей общей классификации отраслей NACE Rev.2 [13]) и России (согласно действующему ОКВЭД 2.0 [15] и статистическим сборникам Росстата и ВШЭ [16]) практически совпадает. Первоначально отрасли сферы услуг не рассматривались в инновационных исследованиях по причине их предполагаемой неинновационной природы. Однако позднее, как указывает М. Rodriguez [14], происходит выделение специальной группы отраслей услуг, так называемых Knowledge Intensive Business Services (KIBS), которая характеризуется тем, что выступает как источники, посредники и носители инноваций. В рамках KIBS в статистике выделяется подсектор, называемый «высокотехнологичные услуги (High-tech knowledgeintensive services)», к которым относится рассматриваемый в настоящем исследовании сектор ИТ [13, 14].

Согласно проведенной классификации исследуемые отрасли были распределены следующим образом:

– высокотехнологичные отрасли промышленности – фармацевтическая промышленность;

– среднетехнологичные отрасли промышленности – химическая промышленность и машиностроение;

– низкотехнологичные отрасли промышленности – пищевая промышленность, добыча нефти и газа;

– высокотехнологичные отрасли сферы услуг – сектор информационных технологий.

Выбранные отрасли характеризуются разным уровнем технологичности, что позволит выявить дополнительные закономерности путем их сравнительного анализа. При этом необходимо учитывать специфику экономики России, в которой ведущую роль по ряду показателей играют низкотехнологичные отрасли [23] и одним из направлений научных исследований становится разработка механизмов их инновационного развития [13, 14].

По каждой из отраслей была сформирована сплошная выборка компаний, удовлетворяющая следующим условиям (критериям):

– выручка по «Отчету о прибылях и убытках» не менее 100 млн руб. ежегодно за период 2013–2017 гг.;

– основные средства по «Балансу» не менее 30 млн руб. ежегодно за период 2013–2017 гг.;

– фонд оплаты труда по «Отчету о движении денежных средств» не менее 5 млн руб. ежегодно за период 2013–2017 гг.

В результате были исключены малые предприятия, а также компании, использующие арендованные основные средства (необходимо для корректного расчета технической эффективности компаний).

1 этап исследования. Расчет показателей технической эффективности (TE) и ее динамики. Расчет показателя технической эффективности проводится с помощью метода DEA с использованием моделей, ориентированных на вход (т.е. на минимизацию затрат при фиксированном результате) – TE_{in}, и моделей, ориентированных на выход (т.е. на максимизацию результата при фиксированных затратах), – TE_{out}.

Метод DEA (Data Envelopment Analysis) в настоящее время представляет собой развитую методологию сравнительной оценки эффективности функционирования различного рода субъектов, или DMU's (Decision Making Unit), как их часто называют в литературе DEA, по широкому набору входных и выходных показателей их деятельности [24–27]. В отечественной академической литературе он известен также как фронтальный, оболочечный, граничный анализ или анализ среды функционирования. Этот метод позволяет определить эффективность управления одного DMU относительно аналогичной деятельности группы DMU's. DEA-метод основан на непараметрической методологии, так как не подразумевает и не определяет какую-либо форму производственной функции. Он реализуется посредством многократного решения оптимизационной задачи линейного программирования и располагает все эффективные DMU's на линии фронта эффективности, а неэффективные – внутри фронта. Чем ближе к фронту эффективности расположен DMU, тем выше значение относительной эффективности его управленческой деятельности. Полученное значение TE (technical efficiency) для n -го DMU будет меньше или равным 1, причем значение 1 указывает точку на границе и, следовательно, выделяет технически эффективный DMU. Таким образом, TE_{in} и TE_{out} принимают значения в диапазоне [0; 1], при этом компании-технологические лидеры имеют TE = 1.

Для расчета технической эффективности используются один показатель выхода или результата (выручка) и два показателя входа или затрат ресурсов (основные средства и фонд оплаты труда). При этом указанные показатели скорректированы на накопленный индекс инфляции и приведены к 2013 г.

Расчет проведен отдельно для компаний каждой из шести рассматриваемых траслей, по каждому году исследуемого периода.

Кроме статической технической эффективности (technical efficiency) DMU, измеряемой ежегодно, методология DEA предлагает краткосрочную динамическую характеристику – индекса производительности Малмквиста MPI (Malmquist productivity index), оценивающего 2-летний прогресс (регресс) эффективности того же DMU [28–32]. В отличие от простого сравнения коэффициентов эффективности каждого из исследуемых DMU в момент времени t и в момент времени $t + 1$, рассчитанных в результате решения двух независимых задач DEA, при расчете MPI учитывается также изменение самой границы эффективности множества DMU's, которое может иметь место в период между моментами t и $t + 1$. Значения MPI < 1, MPI = 1 и MPI > 1 говорят соответственно о снижении, постоянстве или увеличении эффективности компании в течение исследуемого периода.

Изменение эффективности более детально представлено в декомпозированном виде [31, 32]:

$$MPI = EFF \cdot TECH, \quad (1)$$

где EFF (Efficiency change) – эффект роста относительной эффективности (Catch-up Effect), вычисляемый как отношение технической эффективности в период $t+1$ к технической эффективности в период t . При росте эффективности DMU_0 , $EFF > 1$; $TECH$ (Technical change) – эффект сдвига границы эффективности (Frontier Shift Effect).

Сравнение EFF с 1 характеризует догоняющее развитие компаний исследуемой отрасли по отношению к компаниям-лидерам за период 2013–2017 гг.:

– $EFF > 1$ – догоняющее развитие реализуется, компании сокращают отставание от лидеров;

– $EFF = 1$ – догоняющее развитие отсутствует, отставание от лидеров не сокращается;

– $EFF < 1$ – отставание от лидеров увеличивается.

Сравнение $TECH$ с 1 характеризует развитие компаний-лидеров исследуемой отрасли или сдвиг фронта за период 2013–2017 гг.:

– $TECH > 1$ – опережающее развитие компаний-лидеров отрасли, их ТЕ выросла;

– $TECH = 1$ – ТЕ компаний-лидеров не изменилась;

– $TECH < 1$ – ТЕ компаний-лидеров снизилась.

При наличии нескольких пар лет на рассматриваемом периоде T оценка долгосрочной динамики MPI проведена линейным трендом $\alpha \cdot t + b$ ($\alpha > 0$ определяет прогресс, а $\alpha < 0$ – регресс) [33].

Особенности распределения показателей статической (TE_{in} и TE_{out}) и динамической (MPI , Eff , $Tech$) эффективности представлены на рис. 1.

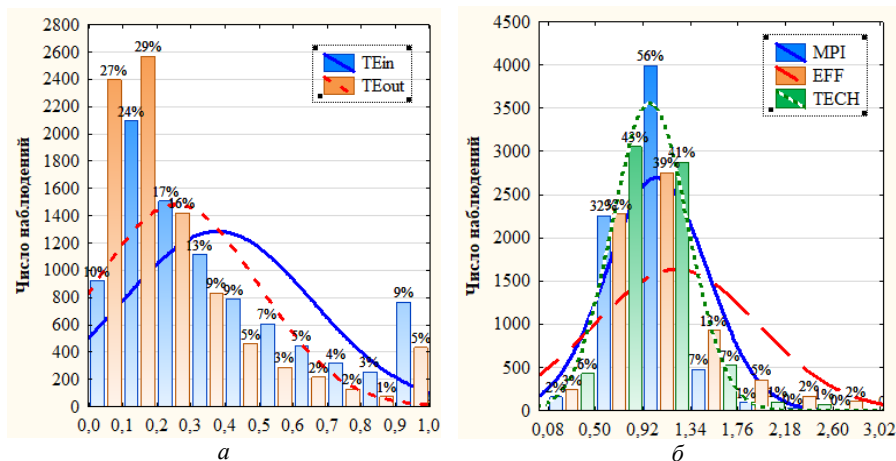


Рис. 1. Составные гистограммы распределения показателей эффективности по совокупности исследуемых ВЭД: а – показатели статической эффективности TE_{in} , TE_{out} ; б – показатели динамической эффективности MPI , Eff , $Tech$

Согласно рис. 1 распределения исследуемых показателей существенно отличаются от нормального закона распределения во всех исследуемых отраслях. Этот вывод подтверждает также критерий χ^2 (Хи-квадрат) Пирсона, который показывает высоко значимые отличия от нормального закона распределения для всех показателей эффективности. Следовательно, в дальнейших расчетах корректнее применять методы и характеристики непараметрической статистики.

2-й этап исследования. Исследование неоднородности показателей эффективности компаний в разрезе отраслей. С применением методов дисперсионного анализа проведен сравнительный анализ показателей между группами компаний. Поскольку распределения показателей не соответствуют нормальному закону распределения, для оценки и наглядной интерпретации используются непараметрические характеристики выборок (медиана, квартильный размах, минимальное и максимальное значения), а для сравнения выборок применяются непараметрические критерии (Краскела–Уоллиса и Манна–Уитни для независимых выборок ВЭД, Фридмана на периоде 2013–2017 гг. и Вилкоксона для повторных измерений).

Использованы общепринятые оценки значимости различий в зависимости от величины p :

- *** $p < 0,001$ – высоко значимые различия;
- ** $0,001 < p < 0,01$ – сильно значимые различия;
- * $0,01 < p < 0,05$ – статистически значимые различия;
- † $0,05 < p < 0,10$ – слабо значимые различия;
- $p > 0,10$ – незначимые различия, показатели выборок сопоставимы.

Расчеты выполнены с помощью программных продуктов: DEAP [34] и STATISTICA [35–36].

Результаты исследования

Дисперсионный анализ статических показателей TEin и TEout в разрезе исследуемых отраслей. Результаты дисперсионного анализа показателей TEin и TEout (усредненных по периоду 2013–2017 гг.) представлены на рис. 2 (диаграмма размаха).

Согласно критерию Краскела–Уоллиса статические показатели эффективности (TEin и TEout) компаний являются высоко значимо неоднородными по исследуемым отраслям.

По критерию множественных сравнений, эквивалентному парному критерию Манна–Уитни для числа независимых выборок больше двух, выделены для каждого показателя эффективности однородные (различающиеся незначимо, т.е. на уровне значимости $p > 0,10$) группы ВЭДов, расположенные в порядке убывания медиан (Me).

Результаты анализа выявили, что по статическому показателю, ориентированному на выход (TEout), исследуемые отрасли распределены на следующие группы по значимости упорядочивания соответствующих медиан: {623, 21}, {20}, {6}, {10, 28}.

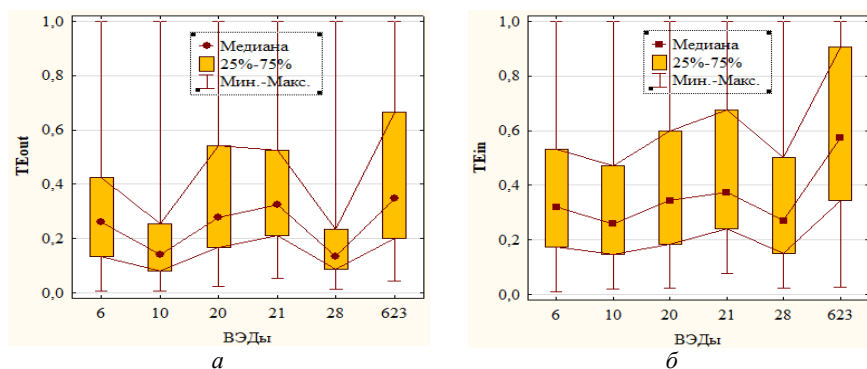


Рис. 2. Диаграмма размаха значений TEout (а) и TEin (б) за период 2013–2017 гг. компаний исследуемых отраслей (точка – медиана; прямоугольник – 25–75% квартильный размах; усы – полный размах без выбросов)

Лидерами эффективности по максимизации результата при фиксированных затратах являются ИТ-отрасль (ВЭД 62 и 63) и фармацевтическая промышленность (ВЭД 21). Для химической промышленности (ВЭД 20) значение показателя TEout сильно значимо (на уровне значимости $p = 0,0025$) ниже, чем у фармацевтической промышленности (ВЭД 21), но сильно значимо ($p = 0,0013$) выше, чем у промышленности по добыче нефти и газа (ВЭД 6).

Аутсайдерами эффективности по максимизации результата при фиксированных затратах (TEout) являются отрасли производства пищевых продуктов (ВЭД 10) и производства машин и оборудования (ВЭД 28) высоко значимо ($p < 0,001$) ниже, чем у промышленности по добыче нефти и газа (ВЭД 6).

Результаты дисперсионного анализа по статическому показателю (TEout) отраслей представлены в виде значимого упорядочивания соответствующих медиан:

$$TEout: Me(623, 21) >^{**} Me(20) >^{**} Me(6) >^{***} Me(10, 28). \quad (2)$$

По статическому показателю, ориентированному на вход (TEin), исследуемые отрасли распределены на следующие группы: {623}, {21}, {20, 6}, {28, 10}.

Лидером эффективности по минимизации затрат при фиксированном результате является ИТ-отрасль (ВЭД 62 и 63). При этом (TEin) у фармацевтической промышленности (ВЭД 21) высоко значимо ($p = 0,00003$) ниже, чем у ИТ-отрасли (ВЭД 62 и 63), высоко значимо ($p = 0,0003$) выше, чем у химической промышленности (ВЭД 20).

Аутсайдерами эффективности по минимизации затрат при фиксированном результате (TEin) являются отрасли производства пищевых продуктов (ВЭД 10) и производства машин и оборудования (ВЭД 28) сильно значимо ($p = 0,0036$) ниже, чем у промышленности по добыче нефти и газа (ВЭД 6).

Результаты дисперсионного анализа по статическому показателю (TEin) исследуемых отраслей экономики представлены в виде значимого упорядочивания соответствующих медиан:

$$TEin: Me(623) >^{**} Me(21) >^{**} Me(20,6) >^{***} Me(28,10) . \quad (3)$$

Ранжирование исследуемых отраслей экономики по статическим показателям эффективности (TEin и TEout) в целом соответствует оценки уровня технологичности отраслей, проведенных выше, за исключением отрасли по производству машин и оборудования (ВЭД 28).

Высокотехнологичные IT-отрасль (ВЭД 623) и фармацевтическая промышленность (ВЭД 21) имеют наиболее высокие значения технической эффективности, среднетехнологичной является химическая промышленность (ВЭД 20), имеющая промежуточные значения ТЕ, низкотехнологичные – промышленность по добыче нефти и газа (ВЭД 6) и по производству пищевых продуктов (ВЭД 10), у них наиболее низкие значения. Производство машин и оборудования (ВЭД 28) по результатам исследования технической эффективности отнесено в группу отраслей с низкой технической эффективностью.

Исследование динамических показателей MPI, EFF и TECH в разрезе исследуемых отраслей.

Дисперсионный анализ динамических показателей MPI, EFF и TECH. Результаты дисперсионного анализа динамических показателей индекса Малмквиста и его компонент, усредненных по периоду 2013–2017 гг., представлены на рис. 3.

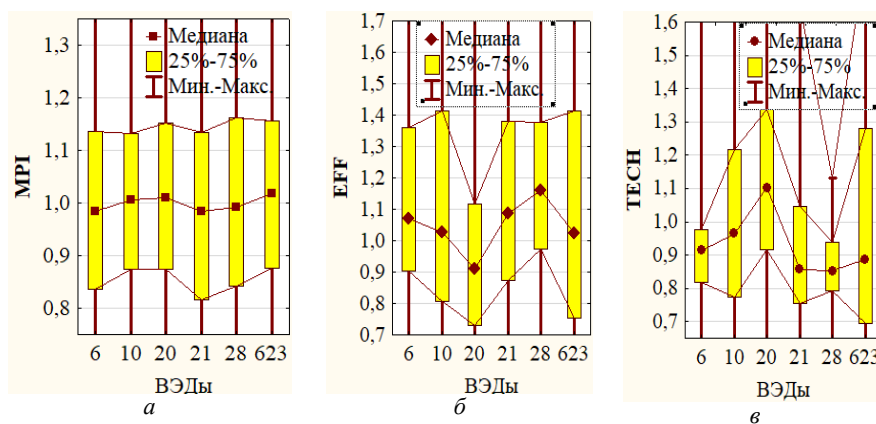


Рис. 3. Диаграмма размаха значений MPI (а) и его компонент EFF(б) и TECH (в) за период 2013–2017 гг. (точка – медиана; прямоугольник – 25–75% квартильный размах; усы – полный размах без выбросов) компаний исследуемых отраслей

Критерий Краскела–Уоллиса определяет разный уровень значимости неоднородности динамических показателей эффективности по отраслям: слабо значимые различия ВЭД по динамической эффективности MPI ($p = 0,099$) и высоко значимые ($p < 0,001$) по эффекту роста относительной эффективности (EFF) и эффекту сдвига границы эффективности (TECH).

Согласно критерию множественных сравнений выделены для каждого показателя динамической эффективности однородные (уровень значимости $p > 0,10$), иногда пересекающиеся группы отраслей, расположенные в порядке убывания медиан (Me):

Результаты анализа выявили, что по динамическому показателю технической эффективности (MPI) отрасли распределены на следующие группы по значимости упорядочивания соответствующих медиан: {20, 623, 10, 28, 6}, {28, 6, 21}.

Явных отраслей лидеров и аутсайдеров по данному показателю не выявлено. Тем не менее различие по MPI у фармацевтической (ВЭД 21) и химической промышленности (ВЭД 20) оценивается как статистически значимое (на $p = 0,018$), у фармацевтической промышленности (ВЭД 21) и у промышленности по производству пищевых продуктов (ВЭД 10) – как слабо статистически значимое ($p = 0,049$):

$$\text{MPI: Me}(20, 623, 10, 28, 6) >^* \text{Me}(28, 6, 21). \quad (4)$$

По динамическому показателю роста относительной эффективности EFF отрасли распределены на следующие группы по значимости упорядочивания соответствующих медиан: {28}, {6, 21}, {21, 10, 623}, {20}.

Лидером по догоняющему развитию является отрасль по производству машин и оборудования (ВЭД 28). При этом показатель EFF в промышленности по добыче нефти и газа (ВЭД 6) сильно значимо ($p = ,00103$) ниже, чем в отрасли по производству машин и оборудования (ВЭД 28), но сильно значимо ($p = 0,0041$) выше, чем в отрасли по производству пищевых продуктов (ВЭД 10).

Аутсайдером по значению динамического показателя эффективности роста относительной эффективности EFF является химическая промышленность (ВЭД 20) – высоко значимо ($p < 0,001$) ниже, чем у IT- отрасли (ВЭД 623).

Значимое упорядочивание соответствующих медиан принимает вид:

$$\text{EFF: Me}(28) >^{**} \text{Me}(6, 21) >^{**} \text{Me}(21, 10, 623) >^{***} \text{Me}(20). \quad (5)$$

По динамическому показателю эффекта сдвига границы эффективности ТЕСН отрасли распределены на следующие группы по значимости упорядочивания соответствующих медиан: {20}, {10, 623}, {6, 21}, {28}.

Лидером по опережающему развитию компаний в отрасли является химическая промышленность (ВЭД 20), значение показателя ТЕСН высоко значимо ($p < 0,001$) выше остальных исследуемых отраслей. При этом значение показателя ТЕСН у фармацевтической промышленности (ВЭД 21) статистически значимо ($p = 0,035$) ниже, чем у IT-отрасли (ВЭД 62 и 63), но статистически значимо ($p = 0,042$) выше, чем у аутсайдера – отрасли по производству машин и оборудования (ВЭД 28). Значимое упорядочивание соответствующих медиан принимает вид:

$$\text{ТЕСН: Me}(20) >^{***} \text{Me}(10, 623) >^* \text{Me}(6, 21) >^* \text{Me}(28). \quad (6)$$

Таким образом, ранжирование исследуемых отраслей по значению динамических показателей роста относительной эффективности EFF и эффекту сдвига границы эффективности ТЕСН является взаимообратным:

отрасли-лидеры по значению показателя (EFF) являются отраслями-аутсайдерами по значению показателя (TECH) и наоборот настолько, что по произведению $MPI = EFF * TECH$ исследуемые отрасли практически не различаются.

Например, отрасль по производству машин и оборудования (ВЭД 28) является отраслью-лидером по значению показателя EFF и одновременно отраслью-аутсайдером по значению показателя TECH, что свидетельствует о сокращении отставания компаний отрасли от лидеров отрасли ($EFF > 1$) и снижении технической эффективности самих компаний-лидеров ($TECH < 1$). И наоборот, химическая промышленность (ВЭД 20) является лидером по значению показателя TECH, но аутсайдера по значению показателя EFF и характеризуется опережающим развитием компаний-лидеров отрасли, ростом их эффективности ($TECH > 1$) и увеличением отставания остальных компаний отрасли от компаний-лидеров ($EFF < 1$).

Временные тренды динамических показателей MPI, EFF и TECH в разрезе исследуемых отраслей экономики. Динамические краткосрочные (2-летние) характеристики эффективности компаний исследуемых отраслей MPI, EFF и TECH, усредненные по периоду 2013–2017 гг., представлены на рис. 3. Для каждой отрасли выявлена зависимость этих показателей от времени на периоде 2013–2017 гг. и представлена на рис. 4.

Согласно рис. 4 долгосрочная динамика показателей MPI, EFF и TECH является переменной, что подтверждается критериями Фридмана на периоде 2013–2017 гг. и Вилкоксона для повторных измерений. Даже в случае наиболее слабо меняющегося показателя MPI критерии дисперсионного анализа повторных измерений фиксируют у отдельных исследуемых отраслей экономики значимые изменения во времени:

– Динамика показателя динамической технической эффективности MPI у высокотехнологичной фармацевтической промышленности (ВЭД 21) за период 2013–2017 гг. имеет неустойчивую динамику – сильно значимо ($p = 0,0014$) переменная по критерию Фридмана (слабо незначимый рост MPI в 2014–2015 гг. сменился сильно значимым падением в 2015–2017 гг.). Таким образом, за период 2013–2017 гг. у большей половины компаний фармацевтической промышленности (ВЭД 21) зафиксировано снижение эффективности ($MPI < 1$), которое затем сменилось ростом значения данного показателя ($MPI > 1$), и во второй половине периода у большей половины компаний отрасли зафиксировано снижение значения данного показателя ($MPI < 1$).

– Динамика показателя MPI у IT-отрасли (ВЭД 623) за 2013–2017 гг. – не значимо ($p > 0,10$) переменная по критерию Фридмана. При этом в начале и середине периода 2013–2017 гг. у большей половины компаний IT-отрасли (ВЭД 62 и 63) зафиксирован рост значения показателя ($MPI > 1$), который в конце рассматриваемого периода сменился снижением ($MPI < 1$).

– Динамика показателя MPI у низкотехнологичной промышленности по добыче нефти и газа (ВЭД 6) за период 2013–2017 гг. – высоко значимо ($p < 0,001$) переменная по критерию Фридмана (сильно значимое

($p = 0,0015$) падение данного показателя в период 2015–2016 гг. сменилось высоко значимым ($p < 0,001$) ростом в 2016–2017 гг.). Таким образом, если начало периода 2013–2017 гг. у большей половины компаний по добыче нефти и газа (ВЭД 6) характеризовалось снижением эффективности ($MPI < 1$), что усугубилось в середине рассматриваемого периода, то в конце периода у большей половины компаний отрасли зафиксирован рост данного показателя ($MPI > 1$).

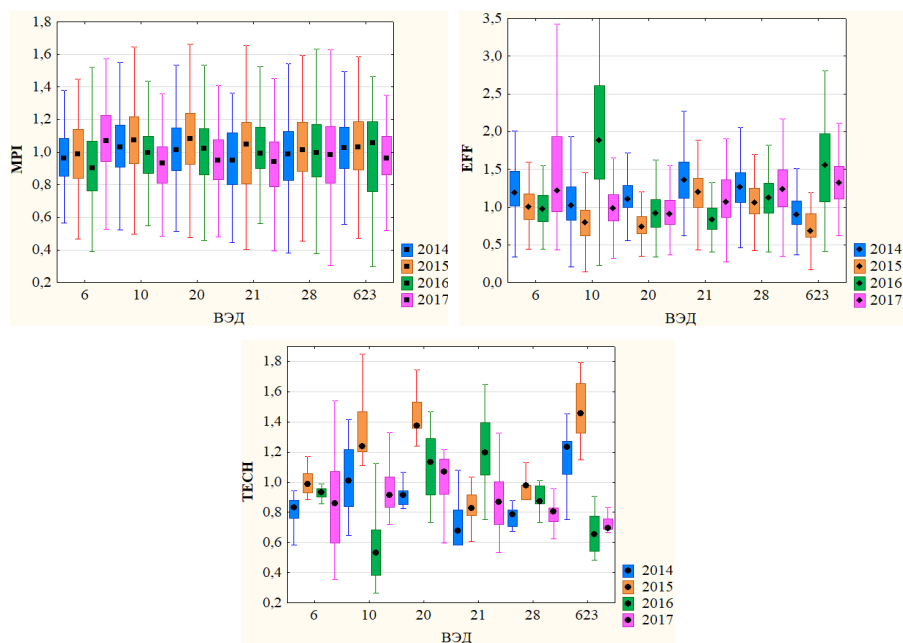


Рис. 4. Диаграмма размаха значений показателей (MPI, EFF и TECH) за каждую последовательную пару лет периода 2013–2017 гг. предприятий исследуемых отраслей (точка – медиана; прямоугольник – 25–75% квартильный размах; усы – полный размах без выбросов)

Сравнительный анализ исследуемых отраслей экономики по совокупности статических (TE_{in} , TE_{out}) и динамических показателей (MPI, EFF и TECH) эффективности. Основная непараметрическая характеристика (медиана) рассмотренных показателей технической эффективности для каждой отрасли представлена в таблице.

Медианы показателей эффективности рассматриваемых ВЭД

ВЭД	N	TE_{in}	TE_{out}	TE	MPI	EFF	TECH
6	750	0,320	0,260	0,290	0,985	1,072	0,914
10	4680	0,259	0,139	0,199	1,005	1,027	0,964
20	1100	0,345	0,278	0,311	1,011	0,910	1,102
21	425	0,374	0,325	0,349	0,984	1,088	0,858
28	1520	0,270	0,135	0,202	0,993	1,160	0,853
623	385	0,575	0,346	0,461	1,019	1,024	0,886

Статическая техническая эффективность определена как среднее арифметическое значение показателей TE_{in} и TE_{out} . Следует отметить, что значение данного показателя у рассматриваемых отраслей не превышает 0,5. При этом у каждой отрасли эффективность минимизации затрат при фиксированном результате больше эффективности максимизации результата при фиксированных затратах ($TE_{in} > TE_{out}$). Как уже было отмечено, ранжирование отраслей по статической эффективности в целом соответствует их уровню технологичности (кроме отрасли по производству машин и оборудования – ВЭД 28).

Для показателя динамической эффективности MPI: в каждой группе отраслей с одним уровнем технологичности есть отрасли, в которых у большей половины компаний отмечается снижение эффективности ($MPI < 1$), а также отрасли, в которых у большей половины компаний зафиксировано повышение эффективности ($MPI > 1$). Но при этом показатели EFF и ТЕСН обладают взаимообратным эффектом: отрасли-лидеры по значению показателя (EFF) являются отраслями-аутсайдерами по значению показателя (ТЕСН) и наоборот. Согласно таблице у исследованной совокупности отраслей явно преобладает эффект роста относительной эффективности компаний, т.е. реализуется догоняющее развитие, когда компании сокращают отставание от компаний-лидеров (у 5 ВЭД из 6 $EFF > 1$).

Диаграмма рассеяния исследуемых отраслей в 3-мерных сечениях для 6-мерной статико-динамической характеристики эффективности представлена на рис. 5.

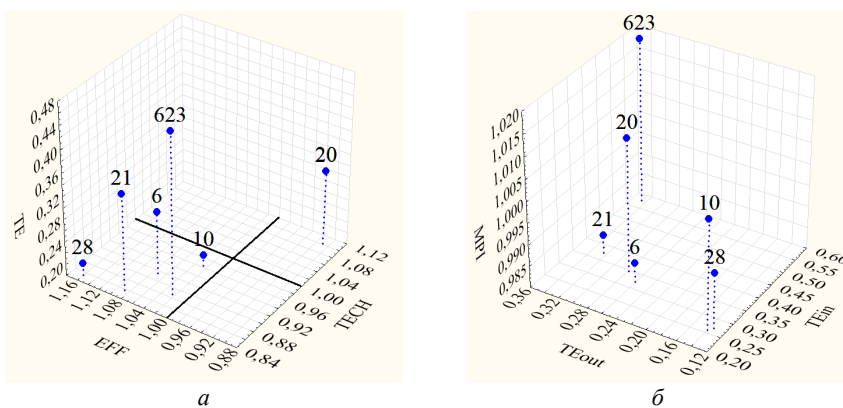


Рис. 5. Диаграммы рассеяния ВЭД в 3-мерных координатах эффективности: *а* – {TE, EFF, ТЕСН}; *б* – {MPI, TEin, TEout}

Таким образом, каждая отрасль характеризуется следующей совокупной статико-динамической характеристикой эффективности:

– IT-отрасль (ВЭД 62 и 63) (высокотехнологичная отрасль) – лидер по статической эффективности ($TE = 0,461$), с превышением эффективности минимизации затрат при фиксированном результате (TE_{in}) над эффектив-

ностью максимизации результата при фиксированных затратах (TEout) в 1,66 раза. Отмечен рост показателя динамической эффективности (преобладание за период 2013–2017 гг. роста эффективности (MPI = 1,019 > 1) у большей половины компаний отрасли в начале и середине периода 2013–2017 гг., снижение эффективности (MPI < 1) в конце рассматриваемого периода. В отрасли отмечается догоняющее развитие, сопровождающееся сокращением отставания компаний от компаний-лидеров (EFF >1) и снижением эффективности компаний-лидеров (TECH <1);

– фармацевтическая промышленность (ВЭД 21) (высокотехнологичная отрасль) – относительно высокая статическая эффективность (TE = 0,349), с превышением эффективности минимизации затрат при фиксированном результате (TEin) над эффективностью максимизации результата при фиксированных затратах (TEout) в 1,15 раза. Зафиксировано снижение эффективности (MPI < 1) в начале периода 2013–2017 гг. у большей половины компаний отрасли, которое сменилось ростом эффективности (MPI > 1), и во второй половине рассматриваемого периода отмечено снижение эффективности (MPI < 1), с преобладанием в период 2013–2017 гг. снижения эффективности (MPI = 0,984). В отрасли отмечается догоняющее развитие, сопровождающееся сокращением отставания компаний от компаний-лидеров (EFF >1) и снижением эффективности компаний-лидеров (TECH <1);

– химическая промышленность (ВЭД 20) (среднетехнологичная отрасль) – относительно средняя статическая эффективность (TE = 0,311), с превышением эффективности минимизации затрат при фиксированном результате (TEin) над эффективностью максимизации результата при фиксированных затратах (TEout) в 1,24 раза. У большей половины компаний выявлен переменный рост эффективности (MPI > 1) в начале и середине периода 2013–2017 гг. и снижение эффективности (MPI < 1) в конце рассматриваемого периода, с преобладанием на период 2013–2017 гг. роста эффективности (MPI = 1,011). В отрасли отмечается опережающее развитие, сопровождающееся увеличением отставания от компаний-лидеров (EFF <1) и ростом эффективности компаний-лидеров (TECH >1);

– производство машин и оборудования (ВЭД 28) (среднетехнологичная отрасль) – имеет относительно низкую статическую эффективность (TE = 0,202), с превышением эффективности минимизации затрат при фиксированном результате (TEin) над эффективностью максимизации результата при фиксированных затратах (TEout) в 2 раза. Характеризуется практически постоянством эффективности компании в течение исследуемого периода (MPI = 0,993≈1), в отрасли отмечается догоняющее развитие, сопровождающееся сокращением отставания компаний от компаний-лидеров отрасли (EFF >1) и снижением эффективности компаний-лидеров (TECH <1);

– добыча нефти и газа (ВЭД 6) (низкотехнологичная отрасль) – относительно средняя статическая эффективность (TE = 0,290), с превышением эффективности минимизации затрат при фиксированном результате (TEin) над эффективностью максимизации результата при фиксированных затратах (TEout) в 1,23 раза. У большей половины компаний отрасли выявлено

снижение эффективности ($MPI < 1$) в середине периода 2013–2017 гг., рост эффективности ($MPI > 1$) в конце рассматриваемого периода, с преобладанием на период 2013–2017 гг. снижения эффективности ($MPI = 0,985$). В отрасли отмечается догоняющее развитие, сопровождающееся сокращением отставания компаний от компаний-лидеров ($EFF > 1$) и снижением эффективности компаний-лидеров ($TECH < 1$);

– производство пищевых продуктов (ВЭД 10) (низкотехнологичная отрасль) – относительно низкая статическая эффективность ($TE = 0,199$), с превышением эффективности минимизации затрат при фиксированном результате (TE_{in}) над эффективностью максимизации результата при фиксированных затратах (TE_{out}) в 1,86 раза. У большей половины компаний отрасли выявлен переменный рост эффективности ($MPI > 1$) в начале и середине периода 2013–2017 гг., снижение эффективности ($MPI < 1$) в конце периода, с преобладанием на период 2013–2017 гг. роста эффективности ($MPI = 1,005$). В отрасли отмечается догоняющее развитие, сопровождающееся сокращением отставания компаний от компаний-лидеров ($EFF > 1$) и снижением эффективности компаний-лидеров ($TECH < 1$).

Выводы

Проведенное исследование позволяет сделать следующие выводы:

1. Результаты дисперсионного анализа (критерий Краскела-Уоллиса) и ранжирование исследуемых отраслей по критерию статической технической эффективности (TE , TE_{out} , TE_{in}) показали соответствие распределению отраслей по уровню технологичности согласно подходу ОЭСР (критерий классификации по секторам высоких технологий – интенсивность использования современных технологий в процессе производства), за исключением отрасли по производству машин и оборудования (ВЭД 28). Для высоко технологичных отраслей – ИТ-отрасль (ВЭД 62 и 63) и фармацевтическая промышленность (ВЭД 21) – выявлены наиболее высокие значения статической технической эффективности, для среднетехнологичной отрасли – химическая промышленность (ВЭД 20) – выявлено промежуточное значение показателя TE , для низкотехнологичных отраслей – добыча нефти и газа (ВЭД 6) и производство пищевых продуктов (ВЭД 10) – выявлены наиболее низкие значения показателя TE . При этом среднетехнологичная отрасль – производство машин и оборудования (ВЭД 28) – перешла в группу отраслей с наиболее низкой технической эффективностью.

2. Статистически значимое ранжирование отраслей по показателям краткосрочной динамической эффективности (MPI , EFF , $TECH$) выявило, что ранжирование отраслей по значению показателей EFF и $TECH$ является взаимобратным: отрасли-лидеры по значению показателя EFF являются отраслями-аутсайдерами по значению показателя $TECH$ и наоборот. В результате значения показателей $MPI = EFF * TECH$ в исследуемых отраслях практически не различаются. Например, отрасль по производству машин и оборудования (ВЭД 28) является лидером по значению показателя

EFF, но аутсайдером по показателю TECH, что свидетельствует о сокращении отставания компаний от компаний-лидеров отрасли ($EFF > 1$), а также о снижении эффективности компаний-лидеров ($TECH < 1$). И наоборот, химическая промышленность (ВЭД 20) является лидером по значению показателя TECH, но аутсайдером по показателю EFF. В отрасли отмечается опережающее развитие компаний-лидеров, рост их эффективности ($TECH > 1$) и увеличение отставания компаний от компаний-лидеров ($EFF < 1$).

3. По результатам дисперсионного анализа (критерий Фридмана) в период 2013–2017 гг. выявлена переменная долгосрочная динамика эффективности исследуемых отраслей (на уровне слабого изменения значений показателя (MPI) и сильно неустойчивого изменения его составляющих EFF и TECH. При этом даже в случае наиболее слабо меняющегося значения показателя MPI зафиксированы разного уровня значимости изменения во времени у отдельных отраслей (например, незначимые у высоко технологичной IT-отрасли (ВЭД 62 и 63), но сильно значимые у высоко технологичной фармацевтической промышленности (ВЭД 21).

4. Определение совокупной статико-динамической характеристики эффективности (TEout, TEin, TE, MPI, EFF, TECH) для каждой отрасли позволило выявить уровни значимости различий конкретных компонент эффективности даже для отраслей одного уровня технологичности. Например, у высокотехнологичных отраслей не значимы только значения показателей TEout и EFF, т.е. они похожи лишь по эффективности максимизации результата при фиксированных затратах и по догоняющему развитию, но уже значения показателя TEin у фармацевтической промышленности (ВЭД 21) высоко значимо ниже, чем у IT-отрасли (ВЭД 62 и 63), а значение показателя TECH у фармацевтической промышленности (ВЭД 21) статистически значимо ниже, чем у IT-отрасли (ВЭД 62 и 63).

5. Рассмотренный в настоящей работе совокупный статико-динамический показатель эффективности (TEout, TEin, TE, MPI, EFF, TECH) представляется целесообразным для применения в эконометрическом моделировании потенциала догоняющего и опережающего развития компаний на уровне отраслей.

Заключение

Проведенное исследование практически подтвердило соответствие уровня технологичности исследуемых отраслей экономики и его технической эффективности. Показано, что компании-технологические лидеры характеризуются более высокой эффективностью своей деятельности. Соответствующие показатели могут являться индикаторами при определении приоритетных отраслей и выборе технологичных компаний для опережающего развития (глобальных инноваторов), при разработке государственных и региональных программ развития, а также для частных инвесторов при определении перспективных объектов, проектов и компаний для вложения средств.

Рассмотренные в настоящей работе показатели целесообразно использовать в эконометрическом моделировании развития компаний и отраслей экономики в качестве характеристик технологической и инновационной активности компаний.

Показано, что компаниям следует стремиться к повышению технической эффективности, но не представлены рекомендации по разработке стратегий и конкретных мероприятий по повышению технической эффективности компаний. В связи чем исследовательская работа в данном направлении сохраняет свою актуальность и планируется ее продолжение в дальнейшем. В последующих работах предполагается провести эконометрическое моделирование влияния широкого спектра финансовых и нефинансовых, внутренних и внешних факторов на показатели инновационности и технической эффективности компаний в разрезе исследуемых отраслей. Выявленные закономерности и подготовленные рекомендации помогут компаниям в повышении эффективности своей деятельности в условиях экономической нестабильности.

Литература

1. *Schumpeter J.A.* The Theory of Economic Development. Cambridge, MA : Harvard University Press, 1934.
2. *Carpenter G.S., Nakamoto K.* Consumer preference formation and pioneering advantage // Journal of Marketing Research. 1989. № 26 (3). P. 285–298.
3. *Kirzner I.* Competition and Entrepreneurship. Chicago, IL : University of Chicago Press, 1973.
4. *Robinson W.T., Min S.* Is the first to market the first to fail? Empirical evidence for industrial goods businesses // Journal of Marketing Research. 2002. № 34 (1). P. 120–128.
5. *Schnaars S.P.* Managing imitation strategies: How late entrants seize marketing from pioneers. N. Y. : The Free Press, 1994.
6. *Shamsie J., Phelps C., Kuperman J.* Better late than never: A study of late entrants in household electrical equipment // Strategic Management Journal. 2004. № 25. P. 69–84.
7. *Palley T.I.* Safety in numbers: A model of managerial herd behavior // Journal of Economic Behavior and Organization. 1995. № 28. P. 443–450.
8. *Scharfstein D.S., Stein J.C.* Herd behavior and investment // American Economic Review. 1990. № 80. P. 465–479.
9. *Asaba S., Lieberman M.B.* Why do firms behave similarly? A study on new product introductions in the Japanese soft-drink industry. Chicago, 1999.
10. *Katz M.L., Shapiro C.* Network externalities, competition, and compatibility // American Economic Review. 1985. № 75. P. 424–440.
11. *Lieberman M.B., Montgomery D.B.* First-mover advantages // Strategic Management Journal. 1988. № 9. P. 41–58.
12. Информационный ресурс СПАРК. URL: <http://www.spark-interfax.ru/> (дата обращения: 02.03.2020).
13. Eurostat indicators on High-tech industry and Knowledge – intensive services. URL: https://ec.europa.eu/eurostat/cache/metadata/Annexes/htec_esms_an3.pdf
14. *Rodriguez M.* Innovation, Knowledge Spillovers and High-Tech Services in European Regions // Engineering Economics. 2014. Vol. 25, № 1. P. 31–39.
15. ОК 029-2014 (КДЕС Ред. 2). Общероссийский классификатор видов экономической деятельности (утв. Приказом Росстандарта от 31.01.2014 N 14-ст) (ред. от 10.07.2018). URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_163320/

16. *Индикаторы* инновационной деятельности: 2019: статистический сборник / Л.М. Гохберг, К.А. Дитковский, И.А. Кузнецова и др. М. : НИУ ВШЭ, 2019. 376 с.
17. *High tech*. URL: <http://en.wikipedia.org/wiki/Hi-tech>
18. *Вершинина М.В.* Низкотехнологичные отрасли: поиск инновационной стратегии развития // *Инновации*. 2010. № 8. С. 67–72. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17967736>
19. *Савин А.В.* Оценка готовности низкотехнологичных отраслей российской промышленности к процессам цифровизации // *Московский экономический журнал*. 2019. № 12. С. 558–568. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41708609>
20. *Спицын В.В.* Источники роста и территориальное размещение высокотехнологичных отраслей в России // *Вестник НГУЭУ*. 2019. № 2. С. 55–70. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38509235>
21. *Спицын В.В., Михальчук А.А.* Цифровая экономика и генерация нового бизнеса в секторе ИТ // *Инновации*. 2019. № 6. С. 34–40. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39244173>
22. *Кудрявцева С.С.* Тенденции развития цифровой экономики в России // *Управление устойчивым развитием*. 2018. № 2. С. 21–27. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35590294&>
23. *Спицын В.В.* Оценка результативности развития высокотехнологичных отраслей России в сравнении с зарубежными странами // *Мир новой экономики*. 2014. № 3. С. 41–49. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23457183>
24. *Charnes A., Cooper W.W., Lewin A.Y., Seiford L.M.* *Data Envelopment Analysis: Theory, Methodology and Applications*. Kluwer, 1995.
25. *Seiford L.M., Thrall R.M.* Recent Developments in DEA: The Mathematical Approach to Frontier Analysis // *Journal of Econometrics*. 1990. Vol. 46. P. 7–38.
26. *Seiford L.M.* Data Envelopment Analysis: The Evolution of the State of the Art (1978–1995) // *Journal of Productivity Analysis*. 1996. Vol. 7. P. 99–138.
27. *Lovell C.A.K.* Linear Programming Approaches to the Measurement and Analysis of Productive Efficiency // *Top*. 1994. Vol. 2. P. 175–248.
28. *Malmquist S.* Index numbers and indifference surfaces // *Trabajos de Estadística*. 1953. № 4. P. 209–242.
29. *Fare R., Grosskopf S., Norris M., Zhang Z.* Productivity Growth, Technical Progress, and Efficiency Changes in Industrialised Countries // *American Economic Review*. 1994. Vol. 84. P. 66–83.
30. *Tohidi G., Razavyan S.* A circular global profit Malmquist productivity index in data envelopment analysis // *Applied Mathematical Modelling*. 2013. № 37. P. 216–227.
31. *Alimohammadlou M., Mohammadi S.* Evaluating the productivity using Malmquist index based on double frontiers data // *Procedia – Social and Behavioral Sciences*. 2016. № 230. P. 58 – 66.
32. *Azad A.K., Masum A.K., Haque S.* Use of Circular Malmquist Index (CMI) and Variable Returns to Scale (VRS-MI) in Productivity Measurement- a Comparative Study // *International Journal of Ethics in Social Sciences*. 2014. Vol. 2, № 2. P. 69–76.
33. *Jafari Y. et al.* Malmquist Productivity Index for Multi Time Periods // *International Journal of Data Envelopment Analysis*. 2014. Vol. 2, № 1. P. 315–322.
34. *Coelli T.* A Data Envelopment Analysis (Computer) Program // Centre for Efficiency and Productivity Analysis Department of Econometrics University of New England Armidale, Australia. URL: <http://www.owlnet.rice.edu/~econ380/DEAP.PDF>
35. *TIBCO Software Inc.* (2020). *Data Science Textbook*. URL: <https://docs.tibco.com/data-science/textbook> (date of access: 13.04.2020).
36. *Халафян А.А., Боровиков В.П., Калайдина Г.В.* Теория вероятностей, математическая статистика и анализ данных: Основы теории и практика на компьютере. *Statistica*. Excel. М. : URSS, 2016. 317 с.

Evaluation of the DEA-Dynamic Efficiency of Significant Sectors of the Russian Economy
Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekonomika – Tomsk State University Journal of Economics. 2020. 51. pp. 173–193. DOI: 10.17223/19988648/51/11

Elena N. Akerman, Tomsk Polytechnic University (Tomsk, Russian Federation). E-mail: aker@tomsk.gov.ru

Alexander A. Mikhalechuk, Tomsk Polytechnic University (Tomsk, Russian Federation). E-mail: aamih@tpu.ru

Vladislav V. Spitsin, Tomsk Polytechnic University (Tomsk, Russian Federation); Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics (Tomsk, Russian Federation). E-mail: spitsin_vv@mail.ru

Natalia O. Chistyakova, Tomsk Polytechnic University (Tomsk, Russian Federation). E-mail: worldperson@mail.ru

Keywords: DEA-efficiency, catch-up and outperforming development, industries, simulation, variance analysis, panel data.

The study is supported by the Russian Foundation for Basic Research, Project No. 19-010-00946 (a) “Local innovations and global technological leadership: Rethinking the approaches to effective interindustry technology transfer”.

The relevance of the research is due to the technological lag and low efficiency of Russian companies, which makes the development of a methodology for simulation innovation strategies particularly important. The authors tested the tools of the dynamic efficiency of the DEA model for evaluating the potential of significant sectors of the Russian economy and for forming simulation innovation strategies in these sectors. The following results were obtained: DEA-efficiency indicators of companies were calculated based on a set of cost and profit financial and economic indicators; heterogeneities of companies’ static and dynamic performance indicators were identified; time trends of dynamic performance indicators were evaluated; the sectors were compared based on a set of static and dynamic performance indicators.

References

1. Schumpeter, J.A. (1934) *The Theory of Economic Development*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
2. Carpenter, G.S. & Nakamoto, K. (1989) Consumer preference formation and pioneering advantage. *Journal of Marketing Research*. 26 (3). pp. 285–298.
3. Kirzner, I. (1973) *Competition and Entrepreneurship*. Chicago, IL: University of Chicago Press.
4. Robinson, W.T. & Min, S. (2002) Is the first to market the first to fail? Empirical evidence for industrial goods businesses. *Journal of Marketing Research*. 34 (1). pp. 120–128.
5. Schnaars, S.P. (1994) *Managing imitation strategies: How late entrants seize marketing from pioneers*. N. Y.: The Free Press.
6. Shamsie, J., Phelps, C. & Kuperman, J. (2004) Better late than never: A study of late entrants in household electrical equipment. *Strategic Management Journal*. 25. pp. 69–84.
7. Palley, T.I. (1995) Safety in numbers: A model of managerial herd behavior. *Journal of Economic Behavior and Organization*. 28. pp. 443–450.
8. Scharfstein, D.S. & Stein, J.C. (1990) Herd behavior and investment. *American Economic Review*. 80. pp. 465–479.
9. Asaba, S. & Lieberman, M.B. (1999) Why do firms behave similarly? A study on new product introductions in the Japanese soft-drink industry. *Academy of Management Proceedings*. DOI: 10.5465/apbpp.1999.27594817
10. Katz, M.L. & Shapiro, C. (1985) Network externalities, competition, and compatibility. *American Economic Review*. 75. pp. 424–440.

11. Lieberman, M.B. & Montgomery, D.B. (1988) First-mover advantages. *Strategic Management Journal*. 9. pp. 41–58.
12. SPARK Information Resource. [Online] Available from: <http://www.spark-interfax.ru/>. (Accessed: 02.03.2020).
13. Eurostat. (n.d.) *Eurostat Indicators on High-Tech Industry and Knowledge-Intensive Services*. [Online] Available from: https://ec.europa.eu/eurostat/cache/metadata/Annexes/htec_esms_an3.pdf.
14. Rodríguez, M. (2014) Innovation, Knowledge Spillovers and High-Tech Services in European Regions. *Engineering Economics*. 25 (1). pp. 31–39.
15. Consultant Plus. (2018) *OK 029-2014 (KDES Red. 2). Obshcherossiyskiy klassifikator vidov ekonomicheskoy deyatel'nosti (utv. Prikazom Rosstandarta ot 31.01.2014 N 14-st) (red. Ot 10.07.2018) [OK 029-2014 (NACE Rev. 2). All-Russian Classifier of Types of Economic Activities (Approved by Rosstandart Order No. 14-st of January 31, 2014) (As Amended on July 10, 2018)]*. [Online] Available from: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_163320/.
16. Gokhberg, L.M. et al. (2019) *Indikatory innovatsionnoy deyatel'nosti: 2019: statisticheskiy sbornik* [Indicators of Innovation: 2019: A Statistical Collection]. Moscow: HSE.
17. *High Tech*. [Online] Available from: <http://en.wikipedia.org/wiki/Hi-tech>.
18. Vershinina, M.V. (2010) Nizkotekhnologichnye otrasli: poisk innovatsionnoy strategii razvitiya [Low-Tech Industries: Search for an Innovative Development Strategy]. *Innovatsii – Innovations*. 8. pp. 67–72. [Online] Available from: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17967736>.
19. Savin, A.V. (2019) Assessment of the Readiness of Low-Tech Sectors of the Russian Industry for Digitalization Processes. *Moskovskiy ekonomicheskij zhurnal – Moscow Journal*. 12. pp. 558–568. [Online] Available from: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41708609>. (In Russian).
20. Spitsyn, V.V. (2019) Sources of Growth and Territorial Distribution of High-Tech Industries in Russia. *Vestnik NGUEU – Vestnik NSUEM*. 2. pp. 55–70. [Online] Available from: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38509235>. (In Russian).
21. Spitsyn, V.V. & Mikhal'chuk, A.A. (2019) Digital Economy and the Generation of New Business in the IT Sector. *Innovatsii – Innovations*. 6. pp. 34–40. [Online] Available from: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39244173>. (In Russian). DOI: 10.26310/2071-3010.2019.248.6.005
22. Kudryavtseva, S.S. (2018) Trends of Development of the Digital Economy in Russia. *Upravlenie ustoychivym razvitiem – Managing Sustainable Development*. 2. pp. 21–27. [Online] Available from: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35590294&>. (In Russian).
23. Spitsyn, V.V. (2014) Assessment of the Effectiveness of Russian High-Tech Industries Development Compared to Foreign Countries. *Mir novoy ekonomiki – The World of New Economy*. 3. pp. 41–49. [Online] Available from: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23457183>. (In Russian).
24. Charnes, A., Cooper, W.W., Lewin, A.Y. & Seiford, L.M. (1995) *Data Envelopment Analysis: Theory, Methodology and Applications*. Kluwer.
25. Seiford, L.M. & Thrall, R.M. (1990) Recent Developments in DEA: The Mathematical Approach to Frontier Analysis. *Journal of Econometrics*. 46. pp. 7–38.
26. Seiford, L.M. (1996) Data Envelopment Analysis: The Evolution of the State of the Art (1978–1995). *Journal of Productivity Analysis*. 7. pp. 99–138.
27. Lovell, C.A.K. (1994) Linear Programming Approaches to the Measurement and Analysis of Productive Efficiency. *Top*. 2. pp. 175–248.
28. Malmquist, S. (1953) Index numbers and indifference surfaces. *Trabajos de Estadística*. 4. pp. 209–242.
29. Fare, R., Grosskopf, S., Norris, M. & Zhang, Z. (1994) Productivity Growth, Technical Progress, and Efficiency Changes in Industrialised Countries. *American Economic Review*. 84. pp. 66–83.

30. Tohidi, G. & Razavyan, S. (2013) A circular global profit Malmquist productivity index in data envelopment analysis. *Applied Mathematical Modelling*. 37. pp. 216–227.
31. Alimohammadlou, M. & Mohammadi, S. (2016) Evaluating the productivity using Malmquist index based on double frontiers data. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*. 230. pp. 58–66.
32. Azad, A.K., Masum, A.K. & Haque, S. (2014) Use of Circular Malmquist Index (CMI) and Variable Returns to Scale (VRS-MI) in Productivity Measurement – A Comparative Study. *International Journal of Ethics in Social Sciences*. 2 (2). pp. 69–76.
33. Jafari, Y. et al. (2014) Malmquist Productivity Index for Multi Time Periods. *International Journal of Data Envelopment Analysis*. 2 (1). pp. 315–322.
34. Coelli, T. (1996) *A Guide to DEAP Version 2.1: A Data Envelopment Analysis (Computer) Program*. CEPA Working Paper 96/08. University of New England, Armidale. [Online] Available from: <http://www.owl.net.rice.edu/~econ380/DEAP.PDF>.
35. TIBCO Software Inc. (2020). *Data Science Textbook*. [Online] Available from: <https://docs.tibco.com/data-science/textbook>. (Accessed: 13.04.2020).
36. Khalafyan, A.A., Borovikov, V.P. & Kalaydina, G.V. (2016) *Teoriya veroyatnostey, matematicheskaya statistika i analiz dannykh: Osnovy teorii i praktika na komp'yutere. Statistica. Excel* [Probability Theory, Mathematical Statistics and Data Analysis: Fundamentals of Theory and Practice on a Computer. Statistica. Excel]. Moscow: URSS.