

УДК 33      DOI: 10.14451/1.222.199

# Оценка влияния эффекта масштаба в DEA моделях на эффективность региональных инновационных систем<sup>\*</sup>

© 2023 **Крыжко Дарья Александровна**

Ассистент Высшей инженерно-экономической школы, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого.

E-mail: kryzhko\_da@spbstu.ru

© 2023 **Рудская Ирина Андреевна**

д.э.н., доцент, профессор Высшей инженерно-экономической школы, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого.

E-mail: rudskaya\_ia@spbstu.ru

**Ключевые слова:** эффект масштаба, DEA, оценка эффективности, региональные инновационные системы

Данная статья посвящена исследованию эффекта масштаба в моделях DEA на результаты оценки эффективности региональных инновационных систем. Авторы исследования делают акцент на необходимости учета динамики параметров исследуемых объектов для учета их влияния на производительность инновационных региональных систем. Рассмотрены особенности использования моделей VRS, CRS-модель, Bootstrapping и FDH. Результаты исследования показали, что учет динамики качества окружающей среды исследуемых объектов и отражение эффекта масштаба при построении моделей DEA позволяют оценить эффективность региональных инновационных систем с разных точек зрения, что позволяет получить необходимую информацию для достижения целей развития региональных структур. В частности, также указаны ограничения модели и предложено использование не только количественных, но и качественных показателей при проведении оценки.

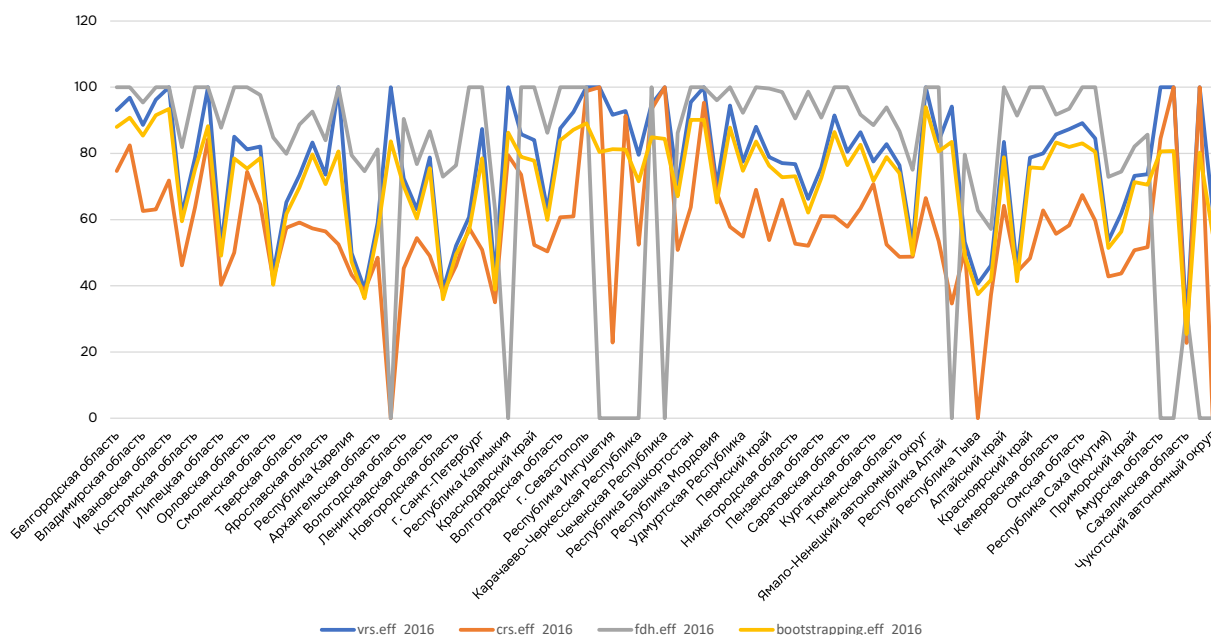
## Введение

При построении успешных решений для региональных инновационных систем зачастую используются методы открытого инновационного цикла, предполагающие свободный обмен информацией между бизнес-структурами, научным сообществом и государством. Открытые инновации способствуют продуктивному взаимному обмену и получению прибыли от инновационной

деятельности. Развитие инновационных систем во многом зависит от правильно выстроенного процесса взаимодействия основных участников экосистемы бизнеса. Однако концепция открытых инноваций реализуется не во всех типах экономических систем.

Например, в развитых странах инновационная деятельность направлена на установление и раз-

<sup>\*</sup> Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 20-78-10123). (₽)



**Рис. 1.** Результаты расчета моделей VRS, CRS, FHD, Bootstrapping за 2016 г., %.

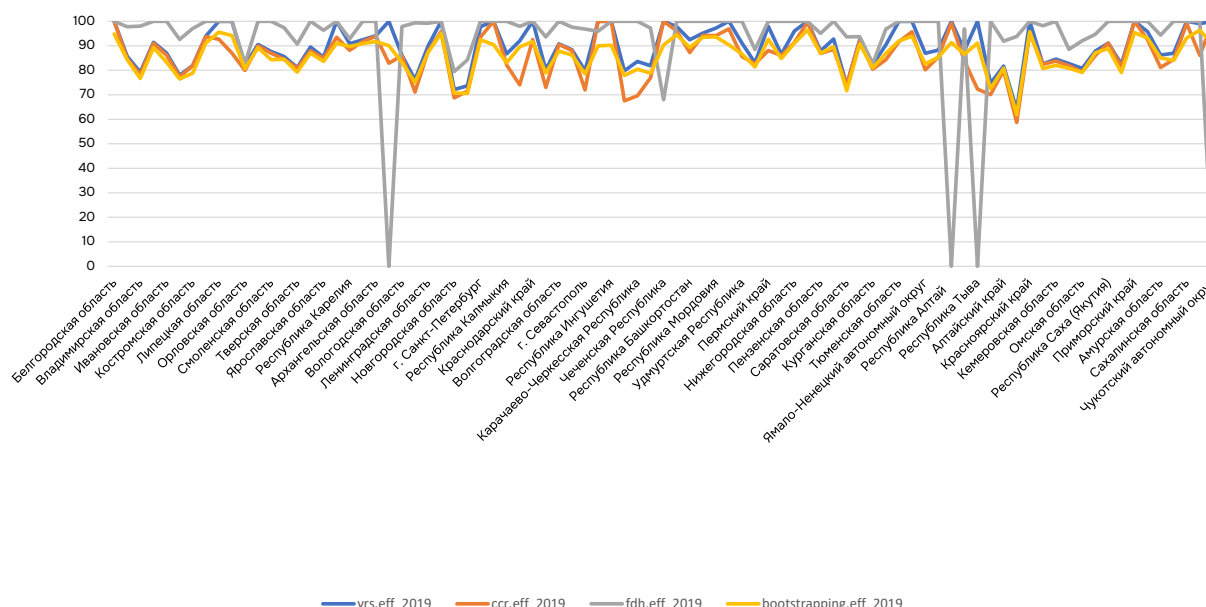
витие конкурентных преимуществ на рынке практически без ограничений. С другой стороны, существует ряд стран, которые относятся к переходному типу экономики – постсоветские страны: Беларусь, Болгария, Россия и др. Страны такого рода стремятся адаптироваться к новым рыночным условиям пытаясь перестроить свою кадровую и управленческую систему.

В большинстве случаев постсоветские страны не готовы к осуществлению деятельности в новых рыночных условиях. Наиболее распространенными барьерами развития считаются – культурные особенности (недоверие к инновациям, закрытые принципы взаимодействия между участниками системы), недостаток ресурсов и технологий, низкое развитие институциональной среды и другие. Для достижения единообразной платформы развития открытых инноваций должны быть установлены законные и институциональные механизмы, повышающие привлекательность и перспективность сотрудничества между владельцами активов, социальными, бизнес-секторами и научными организациями.

В рамках анализа эффективности региональных

инновационных систем существует множество подходов в зависимости от концепции измерения [1–3; 5–8]. Наиболее распространенные модели: эконометрическая модель, стоимостная модель, модель иерархического анализа, теория социального инвестирования и модель связей региональных инновационных систем. Использование данных моделей помогает оценить эффективность инновационной деятельности путем изучения пользы и влияния, которое она оказывает на развитие отраслей, регионов и национальной экономики. Однако, применение моделей оценки эффективности требует подготовки достаточно объемного массива качественных и количественных данных, таких как рыночные инновации, структура инвестиций и индексы развития, а также использование мощных технологий аналитических инструментов, таких как искусственный интеллект, машинное обучение и др.

Среди научного сообщества при оценке региональных инновационных систем распространенным методом стало DEA-моделирование за счет высокого уровня универсальности [11; 17; 21]. Это связано с тем, что данная модель использует техники нормализации и преобразования для



**Рис. 2.** Результаты расчета моделей VRS, CRS, FHD, Bootstrapping за 2019 г., %.

сравнения различных систем инноваций, независимо от их структуры и уровня развития. Это позволяет определить, какие инновационные системы работают хуже или лучше и проследить изменения в эффективности во времени. Оно также может использоваться для оценки и анализа региональных инновационных систем путем использования эффективности производственных процессов и затрат в виде матрицы, измеряющей инвестиционные ресурсы, задействованные в инновационной деятельности.

Не смотря на высокую степень универсальности модели DEA, для получения более качественных оценок, необходимо решить следующие задачи, которые были рассмотрены в данном исследовании:

- определить перечень количественных и качественных параметров оценки;
- проанализировать влияние эффекта масштаба на результирующие показатели;
- выявить ограничения полученной модели.

### Результаты и обсуждение

Особенности применения DEA моделей при оценке РИС определяются на основе выбранного подхода к понятию эффективности такого рода систем. В рамках данной статьи эффек-

тивность региональных инновационных систем рассматривается с точки зрения того, насколько эффективно регион использует располагаемые ресурсы при разработке патента и его дальнейшей коммерциализации.

В связи с этим фактом получение инновационного продукта на региональном уровне можно укрупненно разбить на два этапа: разработка инновационного решения и его преобразование в патент; процесс перевода патента в итоговую вещественную форму.

Совокупно данные этапы характеризуют промежуток времени 6 лет. Каждый из этапов длится 3 года. Для модели следует рассматривать период времени с 2014 по 2019 год (табл. 1). В основе предлагаемой модели лежит предпосылка о трансформации патентной активности в конкретные товары и услуги.

Материалы данного исследования расширяют подход, ранее представленный в статье [18].

Однако, как было указано ранее для получения более качественной модели нужно учесть ряд факторов.

*А. Определение расширенного перечня показателей.*

В частности, было выявлено необходимость в использовании расширенного перечня показателей для каждого из этапов использования DEA модели, которые позволяют получить более качественную оценку эффективности региональных инновационных систем.

*Первый этап* (2014–2016 гг.) – разработка инновационного решения и регистрация на его основе патента.

На возможность разработки патента превалирующее влияние оказывает наличие технических, человеческих, промышленных ресурсов и инвестиций (количественные показатели) [20]. Данные параметры были учтены на предыдущем этапе исследования, но финансирование патентной деятельности рассматривалось только с точки зрения внутренних источников. В связи с этим аспектом в первый этап модели добавлен показатель «Поступление прямых иностранных инвестиций в Российскую Федерацию, млн долл. США», который позволит государственным структурам и отраслям получить информацию о реальной ситуации в регионе и будет способствовать принятию наиболее оптимальных решений с точки зрения планирования финансовых рисков с учетом влияния внешней среды в части патентной деятельности.

Использование качественных показателей наряду с количественными позволит более точно оценить патентную активность в регионах, прогнозировать потребительское поведение и потребность в патентных разработках. Кроме того, качественные показатели могут свидетельствовать о состоянии сектора и уровне инноваций, а также давать информацию о том, какие подходы компании используют для привлечения ресурсов в ходе патентной деятельности и коммерциализации разработок [13; 14].

Таким образом, к качественным показателям для первого этапа отнесем следующие:

- уровень потребности в патентных разработках (со стороны компаний и государственных структур);

- уровень поддержки патентной деятельности (предполагает оценку уровня поддержки, получаемой государственными институтами в отношении разработки новых технологий) и другие.

Стоит отметить, что качественные показатели являются более высокоуровневыми и могут использоваться при оценке качества разработанных патентов и реальной потребности рынка.

*Второй этап* – процесс коммерциализации патента, т.е. его преобразование в конкретный инновационный продукт. Возможность коммерциализации патентной разработки зависит от объема финансирования, сложившейся технологической инфраструктуры и инновационной активности организаций. Разработанный ранее вариант данного этапа в модели предполагал в качестве входных данных использовать финансовые средства, направленные на технологические инновации, и количество выданных патентов. В связи с этим, во второй этап модели добавлены следующие показатели:

- уровень инновационной активности организаций, %;
- используемые передовые производственные технологии, шт.

Мероприятия, направленные на коммерциализацию патентной разработки, также должны учитывать качественные параметры (уровень потребности в конкретных технологиях, уровень поддержки инновационной деятельности, уровень сложности сопровождения и мониторинга готовой инновационной разработки). Без учета качественных параметров возможность коммерциализации патентных разработок снижается.

#### *Б. Учет эффекта масштаба.*

Следующим шагом, позволяющим получить более качественные результаты оценки, является *учет эффекта масштаба*, имеющий практическое значение для оценки эффективности региональных инновационных систем [4; 9]. Эффект масштаба показывает зависимость доходности деятельности от масштаба ее применения, а имен-

**Таблица 1.** Расширенный перечень количественных показателей модели DEA (составлено автором).

| Обозначение                                                   | Наименование показателя                                                | Единица измерения      | Тип переменной  |
|---------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|------------------------|-----------------|
| Первый этап – Патентная активность регионов                   |                                                                        |                        |                 |
| vtz_                                                          | Внутренние затраты на научные исследования и разработки                | Миллионов рублей       | Входные данные  |
| opsrd_                                                        | Организации, выполнявшие научные исследования и разработки             | Штук                   |                 |
| res_hum                                                       | Численность персонала, занятого научными исследованиями и разработками | Человек                |                 |
| str_abrin_                                                    | Поступление прямых иностранных инвестиций в Российскую Федерацию       | Миллионов долларов США |                 |
| patent_                                                       | Выдача патентов в России                                               | Штук                   | Выходные данные |
| Второй этап – Выпуск инновационных товаров и услуг в регионах |                                                                        |                        |                 |
| cfti_                                                         | Затраты на технологические инновации                                   | Миллионов рублей       | Входные данные  |
| patent_                                                       | Выдача патентов в России                                               | Штук                   |                 |
| ln_act_org                                                    | Уровень инновационной активности организаций, %                        | %                      |                 |
| ln_usage                                                      | Используемые передовые производственные технологии                     | Штук                   | Выходные данные |
| qing_                                                         | Объем инновационных товаров, работ, услуг                              | Миллионов рублей       |                 |

но инвестирования. Благодаря учету эффекта масштаба, модель DEA может отражать полный объем информации о потенциально полезных инновациях, предлагаемых региональной инновационной системой. Эффект масштаба дает более точную информацию об оценке эффективности региональных инновационных систем, поскольку позволяет учитывать изменения эффективности при изменении масштаба деятельности.

Среди моделей DEA, учитывающих эффект масштаба стоит выделить следующие:

BCC – параметрическая модель, применяемая для анализа количества DMU и расчета их эффективности. Используется как базовая модель для всех других моделей DEA и позволяет определить и оценить минимальное ресурсное использование с учетом условия максимального выхода [12].

VRS (Variable Returns to Scale) – позволяет вычислить два варианта эффективности технической и экономической посредством измерения ситуаций, в которых данные деятельности

и производства выходят за рамки оптимального масштабирования. В рамках анализа патентной деятельности такая модель позволит эффективно оценивать ресурсы, влияющие на коммерциализацию инновационных решений (цикл маркетинга, прибыльность продукта, анализ расходов, анализ поддержки и анализ расходов на разработку продукта) [10].

CRS-модель (Constant Returns to Scale) используется для расчета максимизации эффективности по мощности производства, при условии, что масштаб производства постоянен. Данная модель оценивает эффективность производства по сравнению с другими учреждениями и корректирует их относительно нынешней используемой технологии и количества ввода и вывода. Данную модель также называют примитивной моделью DEA, так как она основана на наиболее простых принципах достижения эффективности. CRS позволяет вычислять максимальную эффективность, исходя из производительности, и предполагает, что размер производства одинаков. Эта модель интерпретирует эффективность как

одну переменную, отдельно оценивая эффективность масштаба. Она используется для определения условий производства, которые наилучшим образом максимизируют эффективность задачи при постоянном размере производства. Это очень полезно для региональных инновационных систем, поскольку они должны соответствовать национальному размеру инвестиций в новые технологии и технические инновации. Это означает, что эффективность можно оценивать в разных производствах, имея одинаковый набор параметров загрузки и производительности. В дополнение к этому модель может идентифицировать вариационные эффективности, то есть факторы, которые могут быть изменены, чтобы улучшить эффективность производства. Более того, такая модель допускает использование смешанных показателей загрузки и производительности, что делает ее более практичной для использования в реальном мире [19].

Bootstrapping – используется для оценки статистической значимости между прогнозами путем их циклического анализа. Такая модель предполагает использование параметров распределения, интервальной оценки и процедуры прогнозирования. Например, она может использоваться для оценки корреляционной случайности и для валидации параметров модели DEA для анализа тенденций. Это техника использует случайное подмножество разных проб и повторно использует их, чтобы проверить и оценить зависимость между данными [16].

FDH (Free Disposal Hull) – основана на динамическом принципе и использует интенсивную функцию принятия решений, чтобы оценить альтернативные действия. Основная особенность модели FDH – это ее способность учитывать динамику и изменение расходов при разных уровнях ввода. Таким образом, возможна реализация модели с точки зрения минимизации входных данных с условием достижения минимального уровня по выходным данным. Результаты модели FDH показывают более высокие оценки эффективности, чем у моделей CRS и VRS так как она является их подмножеством.

На основе расширенного перечня количественных показателей был произведен расчет эффективности РИС для последнего года каждого этапа моделирования (рис. 1, 2).

Оценки эффективности, полученные в зависимости от выбранной модели DEA, имеют существенные различия в концептуальной архитектуре и методах. Полученные оценки эффективности по каждому из методов измеряются по шкале от 0 до 1 (где 1 – максимальная эффективность), но результаты стоит интерпретировать по-разному.

Основное отличие между моделями DEA моделирования FDH, CRS, VRS и BCC, bootstrap заключается в различных алгоритмах и принципах, используемых для поиска оптимальных решений. Выбор варианта используемой модели DEA при учете эффекта масштаба может быть обусловлен критериями оценки эффективности коммерциализации патентов в конкретном регионе. Таким образом, в рамках моделирования эффективности функционирования региональных инновационных систем имеет место учет результатов применения каждой из рассмотренных моделей DEA. Это позволит получить более широкий перечень информации для принятия управленческих решений на региональном уровне.

*В. Тестирование моделей на нормальность распределения (тест Шапиро-Уилка).*

Кроме построения моделей, также важно провести их тестирование. Рассмотрим тест Шапиро-Уилка, используемый для определения соответствия выборки нормальному распределению [15]. Результаты тестирования представлены в таблице 2.

Результаты теста Шапиро-Уилка показали, что по всем рассмотренным моделям данные распределены нормально, так как значение  $p$ -value не превышает 0,05. Однако по модели FDH отсортированные и нормализованные выборки квантилей менее соответствуют стандартным нормальным квантилям по сравнению с остальными вариантами DEA (значение  $W$  меньше).

**Таблица 2.** Результаты Шапиро-Уилка теста по моделям DEA, учитывающим эффект масштаба.

| Наименование модели DEA          | Значение W  | Значение p |
|----------------------------------|-------------|------------|
| Первый этап модели – за 2016 год |             |            |
| VRS                              | W = 0,92637 | 0,0001204  |
| CRS                              | 0,93816     | 0,005045   |
| FDH                              | 0,77095     | 2,57E–09   |
| Bootstrapping                    | 0,90056     | 7,38E–06   |
| Второй этап модели – за 2019 год |             |            |
| VRS                              | 0,92539     | 0,0001075  |
| CRS                              | 0,96653     | 0,02629    |
| FDH                              | 0,61305     | 2,74E–13   |
| Bootstrapping                    | 0,94363     | 0,00102    |

Г. Разработка перечня ограничений, влияющих на результаты оценки.

Среди ограничений разработанной модели DEA стоит учесть следующие:

- Для получения модели, отражающей реально сложившуюся ситуацию в региональных инновационных системах, необходимо использование набора качественных показателей. Однако это условие сопряжено с рядом ограничений, а именно:
  - а) сложность сбора, так как массив данных формируется на основе информации, полученной из различных источников;
  - б) для обработки такого рода информации необходимо определение перечня экспертов и выборки потребителей и системы интерпретации собранных данных (в результате обратной связи с потребителями, экспертами и комплексного анализа рынка);
  - в) собранные данные отражают реальное состояние инноваций в регионах на конкретную дату, что требует определения степени влияния этого условия на разработанную ранее модель с учетом фактора времени (модель строится в рамках двух этапов по 3 года каждый).
- Некоторые переменные, учитываемые как входные данные в модели, коррелируют между собой, но не могут быть исключены из анализа, так как показывают разные части одного и того же явления.
- Остатки модели могут быть не всегда нормально распределены (это зависит от выбора конкретной модели DEA и от особенностей распределения ресурсов в конкретный момент времени, так как модель строится ежегодно).
- Набор показателей должен быть выбран с учетом специфики программ инновационного развития в РФ. Данный факт связан с тем, что в зависимости от того, какое направление инновационного развития установлено государственными структурами по нормативным документам и выстраивается дальнейшая стратегия работы как коммерческих, так и бюджетных организаций. Установленные на данный момент стратегии инновационного развития влияют не только на поведение субъектов РИС, но и на наличие показателей в статистических базах и на временной промежуток за который они доступны для сбора.
- В модели условно все полученные патенты полностью преобразуются в конкретные инновационные товары и услуги и все научные организации занимаются патентной активностью. Данное ограничение связано с тем, что Россия только начинает переход к инновационным условиям экономической деятельности. А такого рода допущение позволит определить, насколько эффективно реализуются мероприятия, связанные с развитием патентной активности в России. Данное ограничение возможно сгладить введением каче-

ственных параметров, позволяющих оценить востребованность инноваций в конкретном регионе.

6. Модель предполагает, что обмен информацией осуществляется между участниками системы свободно, без ограничений. Однако, в странах с транзитной экономикой существуют барьеры, мешающие дальнейшему инновационному развитию. Например, культурные барьеры, закрытость информации и др. Это условие влияет на достоверность результирующих показателей в модели.
7. Большинство моделей учета эффекта масштаба исходят из предположения о том, что все ресурсы и входные данные можно объяснить с помощью линейной зависимости, что не всегда соответствует действительности.

### Заключение

В рамках данной статьи был определен расширенный перечень показателей при использовании DEA модели оценки эффективности региональных инновационных систем. Относительно процесса создания и регистрации патента предложено использование количественных показателей, позволяющих дополнительно учитывать финансирование патентной деятельности за счет внешних источников, а также качественных

(уровень потребности в патентных разработках, уровень поддержки патентной деятельности).

В части рассмотрения процесса коммерциализации инноваций авторы предлагают дополнительно рассматривать количественные показатели, отражающие сложившуюся технологическую инфраструктуру и уровень инновационной активности организаций в регионах. Кроме того, со стороны качественных показателей – уровень потребности в конкретных технологиях, уровень поддержки инновационной деятельности, уровень сложности сопровождения и мониторинга готовой инновационной разработки.

Основное отличие между моделями DEA моделирования FDH, CRS, VRS и BCC, bootstrap заключается в применении различных алгоритмов поиска оптимального решения. При этом, выбор конкретной модели, учитывающей эффект масштаба, должен основываться на целях оценки, но использование результатов каждой из рассмотренных моделей позволит получить более широкий перечень информации для принятия управленческих решений на региональном уровне. Также при использовании DEA моделей стоит учитывать ограничения на информационном, методологическом и других уровнях при интерпретации результатов оценки.

### Библиографический список

1. Буянова М. Э., Дмитриева Л. В. Оценка эффективности создания региональных инновационных кластеров // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 3: Экономика. Экология. – 2012. – № 2. – С. 54–62.
2. Куприянов С. В., Стряжкова Е. А., Заркович А. В. Методические подходы к оценке региональных инновационных систем // Фундаментальные исследования. – 2014. – 9 (4).
3. Макаров В. Моделирование развития экономики региона и эффективность пространства инноваций // Форсайт. – 2016. – Т. 10, № 3. – С. 76–90.
4. Ратнер С. В. Оценка эффективности управления эко-инновациями на основе моделей DEA с лагами и отрицательными выходами // Проблемы управления. – 2020. – № 5. – С. 39–49.
5. Родионов Д. Г. Алгоритм оценки результатов управления развитием региональных социально-экономических систем // Комплексное развитие территориальных систем и повышение эффективности регионального управления в условиях цифровизации экономики : Материалы IV Национальной (всероссийской) научно-практической конференции. – Орел, 2022. – С. 61–66.
6. Родионов Д. Г. Трансформация экологической среды социально-экономических систем под воздействием факторов информационной среды // Экономические науки. – 2021. – № 201. – С. 98–111.
7. Родионов Д. Г., Сиднева А. Л. Оценка инвестиционного потенциала Челябинской области // Региональная экономика: теория и практика. – 2021. – Т. 19, 8 (491). – С. 1517–1541.
8. Рудская И. А. Оценка эффективности региональной инновационной системы России по стадиям инновационного процесса // NBI-technologies. – 2017. – 3 (11).
9. Туева Е. В. Модификация метода DEA для оценки перерабатывающих предприятий // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2015. – Т. 1, № 11. – С. 375–376.
10. Amin G. R., Ibn Boamah M. A new inverse DEA cost efficiency model for estimating potential merger

- gains: a case of Canadian banks // *Annals of Operations Research*. – 2020. – Vol. 295. – P. 21–36.
11. Guan J., Chen K. Modeling macro-R&D production frontier performance: an application to Chinese province-level R&D // *Scientometrics*. – 2010. – Vol. 82, no. 1. – P. 165–173.
  12. Jaber J. J. Estimating Performance Efficiency of Mining and Extracting Sectors Using DEA Models: The Case of Jordan // *Complexity*. – 2022. – Vol. 2022.
  13. Juříčková E., Pilík M., Kwarteng M. A. Efficiency measurement of national innovation systems of the European Union countries: DEA model application // *Journal of International Studies*. – 2019.
  14. Kalapouti K. Measuring efficiency of innovation using combined Data Envelopment Analysis and Structural Equation Modeling: empirical study in EU regions // *Annals of Operations Research*. – 2020. – Vol. 294. – P. 297–320.
  15. Kazemzadeh E. Do energy efficiency and export quality affect the ecological footprint in emerging countries? A two-step approach using the SBM-DEA model and panel quantile regression // *Environment Systems and Decisions*. – 2022. – Vol. 42, no. 4. – P. 608–625.
  16. Koçak E., Kınacı H., Shehzad K. Environmental efficiency of disaggregated energy R&D expenditures in OECD: a bootstrap DEA approach // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2021. – Jan. – Vol. 28, no. 15. – P. 19381–19390. – DOI: [10.1007/s11356-020-12132-w](https://doi.org/10.1007/s11356-020-12132-w).
  17. Phan P. H., Siegel D. S. The effectiveness of university technology transfer: Lessons learned from quantitative and qualitative research in the US and the UK // *Rensselaer Working*. – 2006. – P. 1–63.
  18. Rudskaya I. Regional Open Innovation Systems in a Transition Economy: A Two-Stage DEA Model to Estimate Effectiveness // *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*. – 2022. – 1 (8). – P. 41.
  19. Solana I. J., Caravaca G. M., Soto M. A. A literature review of DEA efficiency methodology in defence sector // *Academia Revista Latinoamericana de Administracion*. – 2020. – Vol. 33, no. 3/4. – P. 381–403.
  20. Wang E. Relative efficiency of R&D activities: A cross-country study accounting for environmental factors in the DEA approach // *Research policy*. – 2007. – Vol. 36, no. 2. – P. 260–273.
  21. Wang X., Liu Y., Chen L. Innovation efficiency evaluation based on a two-stage DEA model with shared-input: a case of patent-intensive industry in China // *IEEE Transactions on Engineering Management*. – 2021.