

Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский университет
Высшая школа экономики»

На правах рукописи

Головань Сергей Витальевич

Эконометрические модели для анализа эффективности экономических агентов

РЕЗЮМЕ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата экономических наук

Научный руководитель:
профессор, доктор экономических наук
Пересецкий Анатолий Абрамович

JEL: C21, D22, G21

Москва – 2024

Актуальность темы исследования

Данная диссертация, которая является обобщением научных статей автора за период с 2006 по 2023 гг., посвящена развитию прикладных параметрических и непараметрических методов эконометрического анализа для исследования эффективности экономических агентов (предприятий, банков, больниц и т. п.), а также применению этих методов к банковской системе Российской Федерации.

В диссертации эффективность экономических агентов рассмотрена для следующих методов построения границы производственных возможностей: для оболочечного анализа данных, при котором граница производственных возможностей оценивается непараметрически с помощью построения конической или выпуклой оболочки в пространстве выпусков и факторов производства; для метода стохастической границы производственных возможностей, при котором задается вид распределения отклонения от данной границы, и она оценивается параметрическим методом максимального правдоподобия; для квантильной регрессии, при которой граница производственных возможностей оценивается параметрически как квантиль выпуска высокого порядка (обычно рассматривается $\tau = 0.9, 0.95$) при условии заданных факторов производства.

В диссертации методы построения границы производственных возможностей и исследования эффективности экономических агентов применены для прикладного эконометрического анализа актуальных вопросов для банковской отрасли Российской Федерации. Актуальность такого рода методов выражается в том, что их результаты могут применяться регулятором для предварительного скрининга банков с точки зрения эффективности и устойчивости.

Теоретическая часть диссертации развивает методы квантильной регрессии, а именно предлагает контрпримеры к основным утверждениям работы [Canay \(2011\)](#) и предлагает оценку ковариационной матрицы оценок коэффициентов квантильной регрессии с инструментальными переменными для кластеризованных данных. Квантильные регрессии позволяют разбить популяцию экономических агентов (предприятий, банков) на группы по эффективности, где высоким квантилям соответствуют более эффективные предприятия, низким квантилям — менее эффективные предприятия, и оценить для каждой группы эффективности свою производственную функцию или функцию издержек.

Эконометрические методы построения границы производственных возможностей и исследования эффективности экономических агентов начали появляться в середине XX века и продолжают развитие по сегодняшний день. Среди первых работ, разрабатывавших и применявших оболочечный анализ данных, можно перечислить работы [Koopmans \(1951\)](#), [Charnes, Cooper, Rhodes \(1978\)](#). В работе [Koopmans \(1951\)](#) оболочечный анализ данных применялся для оценки эффективности общественных служб Западноафриканского экономического монетарного союза. Показано, что уровень заработной платы и степень борьбы с коррупцией положительно влияют

на эффективность общественных служб. В работе [Charnes, Cooper, Rhodes \(1978\)](#) подробно разработана коническая модель оболочечного анализа данных с алгоритмом оценки границы производственных возможностей и функции издержек предприятий с помощью линейного программирования. В более современных работах, относящихся к оболочечному анализу данных, выведены статистические свойства оценок границы производственных возможностей. Так, в работе [Simar, Wilson \(2000\)](#) предложены бутстраповские методы оценки смещения (и его коррекции) и дисперсии оценок эффективности, а также построения доверительных интервалов. Данные методы были применены для оценки эффективности экспериментальной программы, введенной в школах в США, и было показано после коррекции смещения, что программа не приводит к значимым изменениям в эффективности школ (в отличие от предыдущих исследований на эту тему). Метод стохастической границы в его современном понимании впервые разработан в работе [Aigner, Lovell, Schmidt \(1977\)](#), в которой в регрессионной модели появилось разложение ошибки на две составляющие: симметричную случайную и несимметричную, соответствующую технической эффективности предприятия. При этом стандартная асимптотика оценок максимального правдоподобия подкрепляется симуляциями с помощью метода Монте-Карло. Также в 2000-х годах в качестве метода оценки границы производственных возможностей и исследования эффективности экономических агентов начала использоваться квантильная регрессия, впервые разработанная в статье [Koenker, Bassett Jr. \(1978\)](#). В данной работе предложен способ оценки условного квантиля порядка $\tau \in (0, 1)$ зависимой переменной путем минимизации суммы взвешенных модулей остатков, выведено асимптотическое распределение оценок коэффициентов и показано, что для ошибок с тяжелыми хвостами оценки квантильной регрессии являются более эффективными (имеют меньшую дисперсию), чем оценки метода наименьших квадратов. Применение квантильной регрессии для панельных данных с фиксированными эффектами затрудняется тем, что условный квантиль в отличие от условного математического ожидания не является линейным, поэтому индивидуальные эффекты не удается исключить, и соответственно статистические выводы удается получать только для так называемых длинных панелей (для которых n/T мало). В работе [Dhaene, Jochmans \(2015\)](#) предложен общий метод уменьшения смещения оценок нелинейных моделей для панельных данных, при котором оценка строится как линейная комбинация оценок по всей панели $t = 1, \dots, T$ и по двум ее половинам $t = 1, \dots, T/2, t = T/2 + 1, \dots, T$. Данный метод не удается применить к обычной квантильной регрессии, так как для нее до сих пор не получены выражения для смещения оценок коэффициентов в панельном случае, соответственно, неизвестно, удовлетворяет ли квантильная регрессия предположениям работы [Dhaene, Jochmans \(2015\)](#). В работе [Galvao, Kato \(2016\)](#) предложен метод оценки коэффициентов квантильной регрессии с помощью минимизации сглаженной функции потерь, что позволило сосчитать величину смещения и уменьшить его с помощью метода из работы [Dhaene, Jochmans \(2015\)](#) для коротких панелей. Примерами работ, в которых разрабатывается квантильная ре-

грессия для оценки границы производственных возможностей и технической эффективности, являются работы [Liu, Laporte, Ferguson \(2008\)](#) и [Jradi, Ruggiero \(2019\)](#). В работе [Liu, Laporte, Ferguson \(2008\)](#) вводятся оценки эффективности для производственной функции, полученной с помощью квантильной регрессии, а также сравниваются оценки эффективности, полученные с помощью разных методов (квантильная регрессия, стохастическая граница, оболочечный анализ данных) для симулированных данных. В работе [Jradi, Ruggiero \(2019\)](#) рассматривается формальная задача стохастического оболочечного анализа данных и квантильная регрессия применяется для оценки границы производственных возможностей. Также существуют прикладные работы с использованием данной техники. В работе [Behr \(2010\)](#) эффективность банков Германии, оцененная с помощью квантильной регрессии, сравнивается с эффективностью, оцененной с помощью стохастической границы. Результаты получаются разными, что свидетельствует о том, что модель стохастической границы неприменима в данном случае (квантильная регрессия не накладывает ограничений на распределение ошибок в регрессии). В работе [Chidmi, Solís, Cabrera \(2011\)](#) аналогичные методы применены для оценки технической эффективности молочных ферм в штате Висконсин, США. [Besstremyannaya \(2017\)](#) применила квантильную регрессию для оценки функции издержек японских банков, а также для выявления влияния финансового кризиса 2007–2009 гг. и землетрясения 2011 г. на эффективность банков.

Среди российских работ по применению эконометрических методов для исследования эффективности следует отметить монографию [Пересецкий \(2012\)](#), в которой обобщаются приложения эконометрических методов к банковской отрасли, в частности рассматриваются методы оболочечного анализа данных и стохастической границы. В работах [Афанасьев, Васильева \(2006\)](#) и [Афанасьев \(2006\)](#) проводилось сравнение оценок эффективности московских предприятий, специализирующихся на производстве и сбыте товаров хозяйственного назначения, построенных с использованием нескольких моделей стохастической границы производственных возможностей. В данных работах вводится понятие управляемых факторов эффективности, а также затраты на управление этими факторами. В работе [Айвазян, Афанасьев \(2007\)](#) введено понятие достижимого производственного потенциала предприятия (производственный потенциал с учетом факторов неэффективности) и оцениваются показатели технической эффективности для московских предприятий с учетом данного понятия. В работах [Алескеров и др. \(2008\)](#) и [Алескеров и др. \(2010\)](#) метод стохастической границы применен к российским банкам. Работа [Алескеров и др. \(2008\)](#) исследует поведение российских банков во времени, в работе [Алескеров и др. \(2010\)](#) техническая эффективность банков с точки зрения издержек исследована в зависимости от структуры собственности, показано, что эффективность банка положительно зависит от степени влияния двух крупнейших его акционеров.

Цель и задачи исследования

Целью данного исследования является разработка эконометрических моделей оценки эффективности экономических агентов, а также их применение для оценки эффективности российских банков с различных точек зрения.

В ходе исследования были решены следующие **задачи**:

1. Адаптированы методы построения стохастической границы производственных возможностей российских банков. Оценена их эффективность с точки зрения объемов выданных кредитов и привлеченных депозитов, выявлены факторы, влияющие на эффективность (Головань, 2006).
2. Развита методика построения стохастической границы для оценки функции издержек российских банков. Оценена эффективность банков с точки зрения минимизации издержек (Головань, Карминский, Пересецкий, 2008).
3. Применены методы оболочечного анализа данных (*DEA*) для оценки границы производственных возможностей российских банков. Оценена эффективность российских банков с точки зрения получения процентных и непроцентных доходов. Робастность полученных выводов подтверждена сравнением показателей эффективности, оцененных методами оболочечного анализа и стохастической границы (Головань, Назин, Пересецкий, 2010).
4. Построены контрпримеры к утверждениям об асимптотическом распределении оценок квантильной регрессии, предложенных в работе Canay (2011) для панельных данных (Besstremyannaya, Golovan, 2019).
5. Разработана оценка ковариационной матрицы оценок коэффициентов квантильной регрессии с инструментальными переменными для случая кластеризованных наблюдений (Besstremyannaya, Golovan, 2023).
6. Разработаны ресемплинговые методы получения статистических выводов о коэффициентах квантильной регрессии с инструментальными переменными для случая кластеризованных наблюдений (Besstremyannaya, Golovan, 2023).

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Методы стохастической границы впервые применены к исследованию эффективности российских банков по привлечению депозитов (Головань, 2006).
2. Методы стохастической границы впервые применены к исследованию эффективности российских банков с точки зрения минимизации издержек (Головань, Карминский, Пересецкий, 2008).

3. Впервые применены методы оболочечного анализа данных для исследования эффективности российских банков с точки зрения максимизации процентных и непроцентных доходов (Головань, Назин, Пересецкий, 2010).
4. Впервые указана ошибочность асимптотического распределения оценок коэффициентов квантильной регрессии для панельных данных в работе Canay (2011), доказаны асимптотические свойства оценок коэффициентов квантильной регрессии с инструментальными переменными для кластеризованных данных (Besstremyannaya, Golovan, 2023).
5. Впервые доказана применимость кластерных ресемплинговых методов для приближения распределения статистик Колмогорова – Смирнова и Крамера – фон Мизеса при статистической проверке гипотез относительно оценок коэффициентов квантильной регрессии с инструментальными переменными для кластеризованных данных (Besstremyannaya, Golovan, 2023).

Методология и методы исследования

Объектом исследования являются экономические агенты на примерах российских банков.

Предметом исследования является ненаблюдаемая техническая эффективность банков с различных точек зрения: эффективность по привлечению депозитов и по выдаче кредитов (основной предмет деятельности банков), эффективность с точки зрения издержек. Эффективность предполагает наличие границы производственных возможностей, соответственно, ее оценка тоже входит в предмет исследования.

Информационной основой послужили статистические данные статистики по отдельным банкам российской банковской системы, а также данные по российской экономике в целом. В частности, это данные балансовой отчетности и отчетов о прибылях и убытках банков, предоставляемые Центральным банком Российской Федерации, а также дополнительные показатели банков, рассчитанные информационным агентством «Мобиле», и данные о макроэкономических показателях Росстата.

Основные результаты, выносимые на защиту

1. С помощью метода стохастической границы оценены производственные функции российских банков с точки зрения объемов выдачи кредитов и с точки зрения объемов привлеченных депозитов. В модели выдачи кредитов в качестве факторов производства рассматриваются объемы депозитов и кредитов других банков, а также административные расходы. В модели привлечения депозитов в качестве факторов производства рассматриваются чистые активы и административные расходы. Показана устойчивость производственных функции

по времени. Для каждой из двух моделей построены оценки технической эффективности банков. Выявлено влияние на эффективность следующих факторов: отношения собственного капитала к чистым активам, просроченной задолженности к кредитам, резервов под возможные потери к чистым активам, а также фактов расположения банка в Москве и Санкт-Петербурге (Головань, 2006).

2. С помощью метода стохастической границы оценена функция издержек российских банков и техническая эффективность банков как превышение издержек банков над найденным наименьшим возможным значением издержек. Функция издержек зависит от следующих факторов: продукция банков (кредиты физическим и юридическим лицам, другим банкам), цены ресурсов (процентные ставки по депозитам, кредитам, удельные расходы по ценным бумагам), фиксированные ресурсы (собственный капитал). При этом модель функции издержек усовершенствована с помощью включения в нее факторов риска и качества активов банка (просроченная задолженность, прочие неработающие активы, норматив ликвидности, доля резервов по ссудам). Показано, что введение факторов риска приводит к существенному улучшению качества модели (Головань, Карминский, Пересецкий, 2008).
3. С помощью непараметрических методов оболочечного анализа данных (*data envelopment analysis, DEA*) построена граница производственных возможностей российских банков в модели с двумя выпусками (чистые процентные доходы и чистые непроцентные доходы). В качестве факторов производства рассматриваются затраты на содержание аппарата, резервы под возможные потери и прочие расходы. Произведен расчет технической эффективности российских банков как расстояния до границы производственных возможностей. Показано, что банки с иностранным капиталом в среднем более эффективные, чем российские банки, также региональные банки в среднем более эффективные, чем московские. Результаты оценивания устойчивые по времени, применение методов стохастической границы дает сравнимые результаты (Головань, Назин, Пересецкий, 2010).
4. Развита методика оценивания квантильной регрессии для панельных и кластеризованных данных. Для квантильной регрессии с панельными данными указан ряд методических ошибок при выводе асимптотического распределения оценок коэффициентов в работе Canay (2011). Для квантильной регрессии с инструментальными переменными в кластеризованном случае получено асимптотическое распределение оценок коэффициентов (Besstremyannaya, Golovan, 2019; Besstremyannaya, Golovan, 2023).
5. Для квантильной регрессии с инструментальными переменными в кластеризованном случае доказана возможность применения кластерного ресемплинга для получения стати-

стических выводов относительно процесса условного квантиля в целом (Besstremyannaya, Golovan, 2023).

Структура работы

Диссертационная работа является обобщением научных работ, написанных автором за период с 2006 по 2023 гг. в рамках применения следующих групп эконометрических методов для исследования эффективности российских банков:

1. Модели стохастической границы производственных возможностей.
2. Модели оболочечного анализа данных.
3. Модели квантильной регрессии с панельными данными.
4. Модели квантильной регрессии с кластерными данными.

Модели стохастической границы для исследования эффективности банков

Работа Головань (2006) была первой, в которой рассматривались оценки эффективности российских банков как по выдаче кредитов, так и по привлечению депозитов. В работе Головань, Карминский, Пересецкий (2008) впервые была оценена эффективность российских банков по издержкам.

Модели стохастической границы разрабатывались для оценки множества производственных возможностей предприятия, и, как следствие, с их помощью нетрудно оценивать расстояние до границы этого множества, что интерпретируется как эффективность предприятия (чем больше расстояние до границы, тем меньше эффективность). Модель стохастической границы широко применяется для оценки эффективности банков во всем мире (Akhigbe, McNulty, 2003; Casu, Girardone, Molyneux, 2004; Casu, Molyneux, 2003; Hasan, Marton, 2003), однако к моменту написания работы Головань (2006) существовали лишь две работы, применяющие эту методику для анализа российской банковской системы (Caner, Kontorovich, 2004; Styrin, 2005).

Модель стохастической границы формулируется в работе Головань (2006) следующим образом: если предположить, что теоретическая производственная функция банка зависит от некоторых факторов x_1, \dots, x_k и имеет вид

$$y = F(x_1, \dots, x_k)$$

(здесь в качестве продукта y рассматриваются либо выданные банком кредиты нефинансовым организациям, либо привлеченные банком депозиты), то реальный банк может производить

меньше при том же наборе факторов:

$$y = F(x_1, \dots, x_k) \exp(-u) \leq F(x_1, \dots, x_k), \quad \text{где } u \geq 0.$$

Величина $\exp(-u)$ называется технической эффективностью.

Для оценивания этой величины (вместе с другими параметрами банка) используется вид производственной функции Кобба – Дугласа и следующую формализацию:

$$\begin{aligned} \ln y_t &= \beta_0 + \beta_1 \ln x_{1t} + \dots + \beta_k \ln x_{kt} + v_t - u_t, \\ v_t &\sim \mathcal{N}(0, \sigma_v^2), \\ u_t &\sim \mathcal{N}^+(0, \sigma_u^2) \quad (\text{полуноормальное распределение}). \end{aligned}$$

Как можно отметить, ошибка распадается на две составляющие — случайное отклонение v_t и асимметричное отклонение u_t , которое и интерпретируется как источник неэффективности. Так как u_t это компонента ошибки, то точно оценить ее невозможно. Поэтому в качестве оценки технической эффективности используется ожидаемое значение

$$\hat{E}_t = E(\exp(-u_t) \mid v_t - u_t = \hat{e}_t),$$

где $\hat{e}_t = \ln y_t - (\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 \ln x_{1t} + \dots + \hat{\beta}_k \ln x_{kt})$ — остатки регрессии, которые из-за необычной структуры ошибок оцениваются методом максимального правдоподобия.

На втором этапе для полученных таким образом оценок технической эффективности строятся обычные модели линейной регрессии, в которых исследуется влияние различных факторов на эффективность банков.

Данные для работы предоставлены информационным агентством «Мобиле». В базу данных входят квартальные балансовые показатели банков и показатели отчета о прибылях и убытках банков. Для построения моделей использовались данные за период с I квартала 2003 года по III квартал 2005 года. При оценивании из выборки были исключены Внешэкономбанк и Сбербанк, как работающие в условиях, существенно отличающихся от условий для других коммерческих банков.

В статье Головань (2006) оценивается эффективность банков с двух точек зрения: эффективность банков по выдаче кредитов и эффективность банков по привлечению депозитов. При этом в каждом из двух случаев рассматривается производственная функция банка, т. е. банк считается производственным предприятием, преобразующим ресурсы в продукт (соответственно кредиты или привлеченные депозиты).

Модель по выдаче кредитов: Банк использует финансовые ресурсы (кредиты других банков, депозиты населения и юридических лиц), трудовые ресурсы (персонал) и физический капитал (в окончательную модель эта переменная не вошла). Использование трудовых ресурсов введено в модель через административные расходы, суммарные депозиты населения и юридических лиц и кредиты других банков представлены непосредственно.

Модель по привлечению депозитов: В данной модели трудовые ресурсы, как и в предыдущей модели, вводятся через административные расходы, в качестве второго фактора, отражающего размер банка, используются чистые активы.

В обеих моделях оценки коэффициентов производственной функции стабильны при изменениях выборки, распределение эффективности показывает, что большая часть банков находится в диапазоне 0.3–0.6 для модели по выдаче кредитов (и почти нет банков с эффективностью близкой к единице), и практически равномерное на [0, 1] распределение эффективности в модели привлечения депозитов.

Для регрессии второго шага (влияние факторов на эффективность) отобраны следующие факторы: логарифм собственного капитала, собственный капитал/чистые активы, просроченная задолженность/кредиты, резервы/чистые активы, бинарные переменные для Москвы и Санкт-Петербурга. Оказалось, что при прочих равных в Москве и Санкт-Петербурге банки выдают меньше кредитов и привлекают меньше депозитов, чем в остальных регионах (это можно объяснить большей конкуренцией в этих городах), знаки коэффициентов при остальных факторах оказались устойчивыми при изменении выборки (рассматривались отдельные квартальные срезы выборки) и имеют экономическое объяснение.

Вторая работа, в которой применялась модель стохастической границы — работа Головань, Карминский, Пересецкий (2008). В ней исследуется эффективность российских банков с точки зрения минимизации издержек с учетом факторов риска. В этом случае эффективным считается банк, издержки которого при прочих равных являются наименьшими, поэтому модель стохастической границы формулируется немного иначе:

$$y = C(x_1, \dots, x_k) \exp(u) \geq C(x_1, \dots, x_k),$$

где $u \geq 0$ моделирует неэффективность банка. Регрессионное уравнение записывается следующим образом (в данной работе учитывается панельная структура данных):

$$\ln C_{it} = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j x_{jit} + v_{it} + u_i,$$

где C_{it} — издержки банка i в периоде t ; x_{it} — вектор переменных ($w_{it}, y_{it}, z_{it}, q_{it}$); $x_{jit}, j = 1, \dots, k$ — компоненты вектора ресурсов x_{it} ; β_j — соответствующие коэффициенты. В такой постановке

Таблица 1. Показатели банков в моделях эффективности по издержкам

Группа показателей	Показатели
Издержки	Операционные расходы банка
Фиксированные ресурсы	Собственный капитал
Ресурсы	Депозиты физических лиц, процентные расходы по депозитам физических лиц, депозиты юридических лиц, процентные расходы по депозитам юридических лиц, кредиты и средства других банков, процентные расходы по кредитам и средствам банков, выпущенные ценные бумаги, расходы по ценным бумагам
Расчетные цены ресурсов	Процентные ставки по депозитам физических лиц, процентные ставки по депозитам юридических лиц, процентные ставки по кредитам других банков, удельные расходы по обслуживанию ценных бумаг
Продукция	Кредиты физическим лицам, кредиты юридическим лицам, кредиты другим банкам
Факторы риска и качества	Норматив текущей ликвидности, безнадежные кредиты (прокси, просроченная задолженность или прочие неработающие активы), доля резервов под возможные потери по кредитам в кредитах банка

часть издержек объясняется с помощью цен на ресурсы, объема выпуска, объема фиксированных ресурсов, а часть — с помощью технической неэффективности. Такая модель представляет собой панельную модель с индивидуальными эффектами. Параметры модели можно оценивать различными способами, например с помощью метода максимального правдоподобия. В этом случае необходимо сделать предположения о распределениях v_{it} и u_i : 1) $v_{it} \sim \mathcal{N}(0, \sigma_v^2)$; 2) $u_i \sim \mathcal{N}^+(\mu, \sigma_u^2)$ — усеченное нормальное распределение; 3) v_{it} и u_i не зависят друг от друга и от регрессоров.

В работе используются показатели банков, перечисленные в таблице 1. Из перечисленных данных интерес представляют факторы риска, которые не включались в уравнение функции издержек ранее. Также следует отметить, что в качестве цен ресурсов рассматривались расчетные ставки, так как истинные ставки по депозитам и кредитам не публикуются в отчетности. Следуя подходу [Laeven, Majnoni \(2005\)](#), в качестве процентных ставок по привлеченным средствам было взято отношение процентных платежей к объему депозитов с учетом инфляции, а именно:

$$i_t^d = \frac{I_t / ((P_{t-1} + P_t) / 2)}{(D_{t-1} / P_{t-1} + D_t / P_t) / 2},$$

где D_t — депозиты в соответствующие моменты времени, I_t — процентные расходы по депозитам, P_t — индекс потребительских цен в соответствующем периоде.

В работе Головань, Карминский, Пересецкий (2008) оцениваются и сравниваются друг с другом модели без учета факторов риска и модели с учетом факторов риска. Показано, что включение в модель факторов риска/качества активов приводит к улучшению качества модели и более адекватной оценке показателей эффективности банков.

Вторая группа моделей построена для объяснения оценок неэффективности аналогично работе Головань (2006). В этих моделях оценивается зависимость построенных на первом этапе оценок эффективности от различных параметров банков. При этом подтвержден эффект отрицательного влияния размера банка на его эффективность. Показано, что московские банки более эффективны, чем региональные, при этом эффективность не зависит от принадлежности банков к системе страхования вкладов. Для иностранных банков можно отметить две тенденции: 1) более высокое качество управления, связанное с большим опытом и наличием соответствующих технологий, 2) применение тактики завоевания нового рынка. Эти две тенденции действуют на издержки банка в противоположных направлениях. Вследствие этого иностранные банки оказались не более эффективными чем российские. Более того, при сравнении с крупными российскими банками иностранные банки оказались несколько менее эффективными, так как, видимо, вторая тенденция преобладает. Кроме того, банки с иностранным капиталом, возможно, в большей степени, чем банки с российским капиталом, заняты операциями, не относящимися к традиционному банкингу. Среди крупнейших банков более молодые являются более эффективными, с точки зрения традиционного банкинга, возможно потому, что они предоставляют меньший спектр услуг. Кроме того, среди самых крупных банков рост размера положительно связан с эффективностью.

В работах Головань (2006) и Головань, Карминский, Пересецкий (2008) применяется двухшаговая процедура для оценивания влияния различных факторов на эффективность российских банков по выпуску и издержкам соответственно. При этом в работах Wang, Schmidt (2002) и Schmidt (2011) показано, что для моделей стохастической границы производственных возможностей двухшаговая процедура может привести к несостоятельным оценкам коэффициентам как на первом шаге, так и на втором. При выборе двухшаговой процедуры мы руководствовались тем, что она часто применялась при исследовании технической эффективности: Reinhard, Lovell, Thijssen (2000) применяли ее для оценки эффективности молочных ферм в Нидерландах, Hasan, Marton (2003) применяли ее при исследовании технической эффективности венгерских банков, Greene (2004) использовал ее при оценке эффективности предоставления медицинской помощи по данным Всемирной организации здравоохранения, Афанасьев, Васильева (2006) применяли ее при моделировании производственного потенциала российских фирм. Chidmi, Solís, Cabrera (2011) использовали двухшаговую процедуру при исследовании эффективности молочных ферм. Также следует отметить, что результаты оценивания с помощью одношаговой процедуры по данным работ Головань (2006) и Головань, Карминский, Пересецкий (2008) дают оценки коэффи-

циентов производственной функции и функции издержек, которые несущественно отличаются от оценок коэффициентов первого шага в двухшаговой процедуре.

Модели оболочечного анализа данных для оценки эффективности российских банков

В работе Головань, Назин, Пересецкий (2010) впервые разработаны непараметрические модели оценки технической эффективности российских банков.

Модели оболочечного анализа данных (*data envelopment analysis, DEA*) являются непараметрическими моделями, с помощью которых множество производственных возможностей строится как выпуклая или как выпуклая коническая оболочка облака точек, координаты которых представляют наборы факторов и выпусков предприятия/банка. В отличие от параметрических методов, основанных на регрессионном анализе (в число которых входит и метод стохастической границы, рассмотренный выше), метод DEA позволяет естественным образом строить множество производственных возможностей для производства с несколькими выпусками одновременно, а также не ограничивается фиксированной параметризацией производственных функций или функций издержек. Впервые метод DEA появился в работе Farrell (1957), две самые популярные спецификации применяемых моделей DEA разработаны в работах Charnes, Cooper, Rhodes (1978) и Banker, Charnes, Cooper (1984).

Модель CCR (Charnes, Cooper, Rhodes, 1978) представляет собой классическую ориентированную на ресурсы задачу линейного программирования, и задача оценки эффективности в ней формулируется следующим образом:

$$\begin{aligned} & \max_{\lambda, t^-, t^+} \theta \\ & \text{при условиях } x_0/\theta = X\lambda + t^-, \\ & y_0 = Y\lambda - t^+, \\ & \lambda \geq 0, \\ & t^- \geq 0, \\ & t^+ \geq 0. \end{aligned}$$

Здесь X — $r \times n$ -матрица, состоящая из векторов ресурсов каждого банка из выборки; Y — $s \times n$ -матрица выпусков; x_0 и y_0 — векторы ресурсов и выпуска банка, техническая эффективность которого оценивается, векторы имеют размерность $r \times 1$ и $s \times 1$, соответственно; $X\lambda$, $Y\lambda$ — векторы ресурсов и выпуска некоторого «искусственного» банка, принадлежащего конической оболочке всех банков выборки в пространстве ресурсов и выпуска; λ — $n \times 1$ -вектор весов по всем банкам в выборке; t^- — $r \times 1$ -вектор излишков ресурсов, т. е. количество использованных ресурсов, без которого можно было бы обойтись; t^+ — $s \times 1$ -вектор потенциально возможного

Таблица 2. Показатели из моделей DEA

Группа показателей	Показатели
Ресурсы	Затраты на содержание аппарата Резервы под возможные потери Прочие расходы
Выпуск	Чистые процентные доходы Чистые непроцентные доходы

дополнительного выпуска, т. е. дополнительное количество продукции, которое способен производить «искусственный» банк. Величина $\theta \geq 1$ является мерой технической неэффективности (в случае абсолютной эффективности $\theta = 1$), а $1/\theta$ — оценкой эффективности (ее значения лежат между нулем и единицей) и показывает, какая часть использованных ресурсов была действительно необходима для производства того же объема выпуска. Веса λ в модели неотрицательны, т. е. «искусственные» банки строятся по конической оболочке в пространстве ресурсов и выпуска. Это означает, что производственная функция является однородной функцией степени 1, т. е. умножив все факторы ресурсов на 100, банк может увеличить все выпуски в 100 раз. Это не всегда правдоподобно. Для устранения этой проблемы в работе [Banker, Charnes, Cooper \(1984\)](#) было предложено использовать неотрицательные веса λ , сумма которых равна единице, т. е. заменить коническую оболочку выпуклой. В такой ситуации каждый банк сравнивается с банками, близкими ему по размеру и другим показателям. Такая модель получила название ВСС.

Так как оценки эффективности по моделям DEA получаются смещенными, для уменьшения этого смещения применяется бутстраповская процедура, предложенная в работе [Simar, Wilson \(2000\)](#).

Для оценки технической эффективности были использованы квартальные данные балансовых отчетов российских банков с октября 2002 г. по октябрь 2006 г., предоставленные информационным агентством «Мобиле». За каждый отчетный период были отобраны банки с генеральной лицензией ЦБ РФ, для которых доступны показатели, перечисленные в таблице 2.

Для анализа эффективности банков, следуя работе [Drake, Hall, Simper \(2006\)](#), банки были разбиты на группы, и рассматривалась эволюция во времени средней эффективности этих групп. разбиение банков на группы осуществлялось по следующим критериям:

- банк зарегистрирован в Москве или регионе (ВТБ, зарегистрированный в Санкт-Петербурге, был отнесен в группу московских банков);
- иностранные банки, т.е. банки с долей нерезидентов в уставном капитале банка более 50%.

При анализе различий между московскими и региональными банками результаты модели ССР демонстрируют, что более чем в половине периодов эффективность московских банков

значимо ниже эффективности региональных. Региональный анализ в модели ВСС показал, что для модели ССР в меньшем числе периодов эффективность региональных банков оказывается большей по сравнению с московскими. С начала 2005 г. обе модели обнаруживают тенденцию повышения эффективности региональных банков.

При анализе различий между иностранными и российскими банками в целом по двум моделям можно сделать вывод, что до 2004 г. не удастся найти статистически достоверное различие в эффективности российских и иностранных банков, однако начиная с осени 2004 г. наблюдается некоторый тренд по повышению относительной эффективности иностранных банков.

Кроме того, в работе [Головань, Назин, Пересецкий \(2010\)](#) проводится сравнение полученных оценок эффективности по моделям DEA с оценками эффективности по моделям стохастической границы. Оказывается, что поведение эффективности, оцененной этими двумя способами, является сходным. Ранговые коэффициенты корреляции Спирмена между ранжировками банков, которые получены с помощью разных моделей, принимают достаточно высокие значения (0.6–0.9), т. е. методы дают согласованные результаты.

Модели квантильной регрессии с панельными данными для оценивания эффективности

Работа [Besstremyannaya, Golovan \(2019\)](#) посвящена развитию методов квантильной регрессии с панельными данными.

Модели квантильной регрессии появились в 70-е годы XX века ([Koenker, Bassett Jr., 1978](#)) и с тех пор используются, в частности, для оценки множества производственных возможностей и эффективности предприятий. Оценка технической эффективности тесно связана с оценкой границы производственных возможностей. Квантильная регрессия позволяет оценить границу производственных возможностей как достаточно высокий квантиль ($\tau = 0.9-0.95$) условного распределения выпуска при условии фиксированных факторов производства ([Jradi, Ruggiero, 2019](#); [Liu, Laporte, Ferguson, 2008](#)). В качестве ненормализованных показателей эффективности берутся остатки такой квантильной регрессии. Так как микроэкономические данные часто обладают панельной структурой, при которой одни и те же экономические агенты наблюдаются в течение нескольких периодов времени, при работе с ними необходимы модели, учитывающие индивидуальные эффекты. Такие модели для квантильных регрессий начали разрабатываться в начале XXI века и продолжают разрабатываться до сих пор ([Chetverikov, Larsen, Palmer, 2016](#); [Galvao, Kato, 2016](#); [Harding, Lamarche, 2014](#); [2016](#); [Koenker, 2004](#); [Machado, Santos Silva, 2019](#)). При этом в отличие от обычной линейной регрессии с панельными данными квантильная регрессия в силу своей нелинейности не позволяет сократить число оцениваемых параметров (подобно внутригрупповому преобразованию), соответственно для того, чтобы качественно

оценить квантильную регрессию с индивидуальными эффектами, необходимо либо существенно ограничить свободу поведения этих эффектов (например, параметризовать или потребовать, чтобы они были случайными), либо использовать длинные панели, т. е. панели с большим числом периодов времени.

В работе [Besstremyannaya, Golovan \(2019\)](#) подробно разбираются теоретические проблемы с утверждениями и доказательствами из работы [Canay \(2011\)](#). Показано, что в работе [Canay \(2011\)](#) допущен ряд ошибок. Первая ошибка состоит в том, что в формулировке теоремы о свойствах оценки утверждается, что асимптотика оценок справедлива при n/T^a , стремящемся к нулю при каком-нибудь $a > 0$ (то есть оценки справедливы для коротких панелей, если $a \in (0, 1)$). Это неверное утверждение, в работе [Besstremyannaya, Golovan \(2019\)](#) приводится пример генеральной совокупности, для которой смещение оценки при $n/T^a \rightarrow 0$ оказывается слишком большим относительно стандартной ошибки, что приводит к очень большому смещению z -статистик и неверным статистическим выводам. Соответственно, показано, что без стремления к нулю n/T стандартные статистические тесты являются несостоятельными. Вторая ошибка заключается в том, что в формулировке теоремы о свойствах оценок утверждается, что поведение оценки $\hat{\beta}_0(\tau)$ асимптотически такое же, как и поведение оценок остальных параметров. В тоже время для любых панельных регрессий это неверно. Так как информация про константу не уточняется при увеличении числа периодов T , то порядок стремления $\hat{\beta}_0(\tau)$ к $\beta_0(\tau)$ есть $1/\sqrt{n}$, а не $1/\sqrt{nT}$, как для остальных коэффициентов. И наконец третья ошибка (из которой вытекают первые две) заключается в том, что автор использовал неверное утверждение из теории обычных линейных регрессий с панельными данными. В работе [Chen, Huo \(2021\)](#) авторы изменили спецификацию модели, что позволило строго доказать асимптотические свойства для измененной модели.

В работе [Besstremyannaya, Golovan \(2019\)](#) также предложен способ модификации оценки [Canay \(2011\)](#), уменьшающий смещение.

Модели квантильной регрессии с кластеризованными стандартными ошибками для оценивания эффективности

Работа [Besstremyannaya, Golovan \(2023\)](#) посвящена разработке поправок к стандартным ошибкам коэффициентов квантильной регрессии с инструментальными переменными для кластеризованных данных.

Кластеризованные данные, т.е. данные, в которых наблюдения объединяются в кластеры, внутри которых наблюдается зависимость отдельных наблюдений, в эконометрике встречаются довольно часто. Применение обычных стандартных ошибок к регрессиям по кластеризованным данным приводит к существенной переоценке точности оценок и к совершенно неверным статистическим выводам ([Abadie et al., 2023](#); [Cameron, Miller, 2015](#)). Соответственно для случая

кластеризованных данных разработаны поправки к стандартным ошибкам обычной регрессии (Cameron, Miller, 2015; Wooldridge, 2003), квантильной регрессии (Parente, Santos Silva, 2016), инструментальными переменными (Cameron, Miller, 2015).

В работе Besstremyannaya, Golovan (2023) строятся состоятельные стандартные ошибки коэффициентов квантильной регрессии с инструментальными переменными для кластеризованных данных. Рассматривается следующая эконометрическая модель, введенная в работе Chernozhukov, Hansen (2005):

$$\begin{aligned} Y_{ik} &= D'_{ik}\alpha(U_{ik}) + X'_{ik}\beta(U_{ik}), \\ D_{ik} &= \delta(X_{ik}, Z_{ik}, \nu_{ik}), \\ U_{ik} &\sim U[0, 1] \text{ не зависит от } X_{ik}, Z_{ik}, \\ \tau &\mapsto D'_{ik}\alpha(\tau) + X'_{ik}\beta(\tau) \text{ строго возрастающая,} \end{aligned}$$

для которой данные являются кластеризованными:

$$\begin{aligned} \{(Y_{i1}, \dots, Y_{iK}), (D_{i1}, \dots, D_{iK}), (X_{i1}, \dots, X_{iK}), (Z_{i1}, \dots, Z_{iK}), i = 1, \dots, N\} \\ \sim \{(Y_1, \dots, Y_K), (D_1, \dots, D_K), (X_1, \dots, X_K), (Z_1, \dots, Z_K)\} \end{aligned}$$

— независимые одинаково распределенные векторы (для простоты размер кластера считается фиксированным). Далее рассматривается оценка параметров $\theta = (\alpha, \beta)$, предложенная в работе Chernozhukov, Hansen (2006), для которой доказывается ее состоятельность, а также выводится асимптотическое распределение процесса квантильной регрессии: если обозначить $\varepsilon_k(\tau) = Y_k - D'_k\alpha(\tau) - X'_k\beta(\tau)$, $l_k(\tau, \theta(\tau)) = \tau - I(\varepsilon_k(\tau) < 0)$ и $\Psi_k(\tau) = [\Phi_k(\tau, Z_k, X_k)', X'_k]'$, то

$$\sqrt{N}(\hat{\theta}(\cdot) - \theta(\cdot)) \Rightarrow b(\cdot)$$

при $N \rightarrow \infty$, где $b(\cdot)$ является гауссовским процессом с нулевым средним на $(0, 1)$ с ковариационной функцией $E(b(\tau)b(\tau')') = J(\tau)^{-1}S(\tau, \tau')J(\tau')^{-1}$, где

$$\begin{aligned} J(\tau) &= E\left(\sum_{k=1}^K f_{\varepsilon_k(\tau)}(0 | X_k, D_k, Z_k) \Psi_k(\tau) [D'_k, X'_k]'\right), \\ S(\tau, \tau') &= E\left(\sum_{k=1}^K \sum_{s=1}^K l_k(\tau, \theta(\tau)) l_s(\tau', \theta(\tau')) \Psi_k(\tau) \Psi_s(\tau')'\right). \end{aligned}$$

Здесь $f_{\varepsilon_k(\tau)}(0 | X_k, D_k, Z_k)$ — значение плотности ошибки регрессии в точке ноль. Далее предлагаются состоятельные оценки компонентов ковариационной функции процесса коэффициентов

как выборочные аналоги выражений $J(\tau)$ и $S(\tau, \tau')$:

$$\begin{aligned}\hat{J}(\tau) &= \frac{1}{2Nh_N} \sum_{i=1}^N \left(\sum_{k=1}^K I(|\hat{\varepsilon}_{ik}(\tau)| \leq h_N) \hat{\Psi}_{ik}(\tau) [D'_{ik}, X'_{ik}] \right), \\ \hat{S}(\tau, \tau') &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\sum_{k=1}^K \sum_{s=1}^K l_{ik}(\tau, \hat{\theta}(\tau)) l_{is}(\tau', \hat{\theta}(\tau')) \hat{\Psi}_{ik}(\tau) \hat{\Psi}_{is}(\tau')' \right),\end{aligned}$$

где $\hat{\varepsilon}_{ik}(\tau) = Y_{ik} - D'_{ik}\hat{\alpha}(\tau) - X'_{ik}\hat{\beta}(\tau)$ и h_N выбираются так, чтобы $h_N \rightarrow 0$ и $Nh_N^2 \rightarrow \infty$ (Parente, Santos Silva, 2016). Данные оценки стандартных ошибок позволяют строить тестовые статистики для проверки статистических гипотез как на коэффициенты в рамках одного квантильного индекса $\tau \in (0, 1)$, так и на коэффициенты для конечного набора разных квантильных индексов $\{\tau_j \in (0, 1), j = 1, \dots, J\}$.

Для полноты исследования в работе также предлагается метод построения процентных точек и P -значений для тестов, проверяющих нулевые гипотезы вида $H_0: g(\theta(\tau)) = 0, \tau \in \mathcal{T} \subseteq (0, 1)$. В качестве тестовых статистик при этом рассматриваются статистики $v(\tau)$, тестирующие гипотезы $H_0: g(\theta(\tau)) = 0$ против гипотез $H_1: g(\theta(\tau)) \neq 0$ для отдельных τ , агрегированные по Колмогорову – Смирнову или по Крамеру – фон Мизесу соответственно:

$$KS = \max_{\tau \in \mathcal{T}} v(\tau), \quad CM = \int_{\tau \in \mathcal{T}} v(\tau) d\tau.$$

Такие статистики имеют нестандартное распределение при нулевой гипотезе, поэтому для получения P -значений применяется ресемплирование или бутстрап. Для обычной квантильной регрессии этот метод был предложен в работе Chernozhukov, Fernández-Val (2005), для квантильной регрессии с инструментальными переменными и независимыми наблюдениями — в работе Chernozhukov, Hansen (2006). В работе Besstremyannaya, Golovan (2023) показано, что ресемплирование отдельными кластерами позволяет получить состоятельные оценки процентных точек и P -значений для рассматриваемых тестов. Следует также отметить, что для квантильной регрессии с инструментальными переменными непосредственное ресемплирование затруднено тем, что получение оценок $\hat{\theta}(\tau)$ является вычислительно сложной процедурой. Поэтому для проверки нулевой гипотезы $H_0: R(\tau)(\theta(\tau) - r(\tau)) = 0$ для всех $\tau \in \mathcal{T}$ применяется ресемплирование отдельных слагаемых в разложениях

$$\begin{aligned}\sqrt{N}(\hat{\theta}(\cdot) - \theta(\cdot)) &= -J(\cdot)^{-1} \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^K l_{ik}(\cdot, \theta(\cdot)) \Psi_{ik}(\cdot) + o_p(1), \\ \sqrt{N}(\hat{r}(\cdot) - r(\cdot)) &= -H(\cdot)^{-1} \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^K d_{ik}(\cdot, r(\cdot)) \Upsilon_{ik}(\cdot) + o_p(1)\end{aligned}$$

в $\ell^\infty(\mathcal{T})$, где $J(\tau)$ и $H(\tau)$ — неслучайные невырожденные матрицы, а также векторы $(l_{i1}(\tau, \theta(\tau))\Psi_{i1}(\tau), \dots, l_{iK}(\tau, \theta(\tau))\Psi_{iK}(\tau))$ и $(d_{i1}(\tau, r(\tau))\Upsilon_{i1}(\tau), \dots, d_{iK}(\tau, r(\tau))\Upsilon_{iK}(\tau))$ независимые одинаково распределенные при всех τ .

Степень достоверности и апробация результатов

Результаты исследования опубликованы автором диссертации в российских и зарубежных научных журналах, докладывались автором или одним из соавторов на международных конференциях научных сообществ:

- VII апрельская международная конференция ВШЭ «Модернизация экономики и государство» (2006 г.)
- VIII апрельская международная конференция ВШЭ «Модернизация экономики и общественное развитие» (2007 г.)
- IX апрельская международная конференция ВШЭ «Модернизация экономики и глобализация» (2008 г.)
- 3-я апрельская конференция «Прикладная эконометрика» департамента прикладной экономики факультета экономических наук НИУ ВШЭ (2021 г.)
- 5-я апрельская конференция «Прикладная эконометрика» департамента прикладной экономики факультета экономических наук НИУ ВШЭ (2023 г.)

Достоверность результатов эконометрического моделирования обеспечена с помощью применения альтернативных методов (параметрические и непараметрические модели), моделей с разным набором факторов производства, видов выпуска, контролирующих переменных, альтернативных спецификаций (включение и исключение объясняющих переменных), а также сравнения методологии и результатов других исследований, проведенных для различных данных по России и другим странам.

Публикации автора по тематике диссертации

- Головань, С. В. (2006). Факторы, влияющие на эффективность российских банков. *Прикладная эконометрика*, 2, 3–17. [0.5 п.л., список В ВШЭ, Scopus, нет квинтиля].
- Головань, С. В., Карминский, А. М., Пересецкий, А. А. (2008). Эффективность российских банков с точки зрения минимизации издержек с учетом факторов риска. *Экономика и математические методы*, 44(4), 28–38. [0.75 п.л., Головань: 0.25 п.л., разделы 3, 4, 5, список D ВШЭ].

- Головань, С. В., Назин, В. В., Пересецкий, А. А. (2010). Непараметрические оценки эффективности российских банков. *Экономика и математические методы*, 46(3), 43–57. [1 п.л., Головань: 0.35 п.л., разделы 3, 5, список D ВШЭ].
- Besstremyannaya, G., Golovan, S. (2019). Reconsideration of a simple approach to quantile regression for panel data. *Econometrics Journal*, 22, 292–308. [2 author lists, Besstremyannaya: 1 author list, sections 1, 3, 4, 5, S2, S3, Golovan: 1 author list, sections 2, S1, the HSE A list, Scopus Q1, Web of Science Q2].
- Besstremyannaya, G., Golovan, S. (2023). Instrumental variable quantile regression for clustered data. *Econometrics and Statistics*, in press. <https://doi.org/10.1016/j.ecosta.2023.06.005> [1.5 author list, Besstremyannaya: 0.75 author lists, sections 1, 2.1, 3.1, 5, 6, 7, B, Golovan: 0.75 author lists, sections 2.2, 3, 4, A, the HSE C list, Scopus Q2].

Список литературы

- Айвазян, С. А., Афанасьев, М. Ю. (2007). Оценка мероприятий, направленных на управление факторами неэффективности производства. *Прикладная эконометрика*, 4, 27–41.
- Алескеров, Ф. Т., Белоусова, В. Ю., Ивашковская, И. В., Погорельский, К. Б., Степанова, А. Н. (2010). Анализ эффективности издержек и распределения влияния между акционерами банка. *Управление в кредитной организации*, 2, 49–64.
- Алескеров, Ф. Т., Белоусова, В. Ю., Сердюк, М. Ю., Солодков, В. М. (2008). Стереотипы поведения российских банков. *Банковское дело*, 7, 44–50.
- Афанасьев, М. Ю. (2006). Модель производственного потенциала с управляемыми факторами неэффективности. *Прикладная эконометрика*, 2, 74–89.
- Афанасьев, М. Ю., Васильева, Н. В. (2006). Моделирование производственного потенциала фирмы с учетом факторов неэффективности и риска. *Экономическая наука современной России*, 1, 104–119.
- Пересецкий, А. А. (2012). *Эконометрические методы в дистанционном анализе деятельности российских банков*. Изд. дом Высшей школы экономики.
- Abadie, A., Athey, S., Imbens, G. W., Wooldridge, J. M. (2023). When should you adjust standard errors for clustering? *Quarterly Journal of Economics*, 138(1), 1–35.
- Aigner, D., Lovell, C. A. K., Schmidt, P. (1977). Formulation and estimation of stochastic frontier production function models. *Journal of Econometrics*, 6, 21–37.
- Akhigbe, A., McNulty, J. E. (2003). The profit efficiency of small US commercial banks. *Journal of Banking & Finance*, 27, 307–325.
- Banker, R. D., Charnes, A., Cooper, W. W. (1984). Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Management Science*, 30, 1078–1092.

- Behr, A. (2010). Quantile regression for robust bank efficiency score estimation. *European Journal of Operational Research*, 200(2), 568–581.
- Besstremyannaya, G. (2017). Heterogeneous effect of the global financial crisis and the great east japan earthquake on costs of japanese banks. *Journal of Empirical Finance*, 42, 66–89.
- Cameron, A. C., Miller, D. L. (2015). A practitioner’s guide to cluster-robust inference. *Journal of Human Resources*, 50(2), 317–372.
- Canay, I. (2011). A simple approach to quantile regression for panel data. *The Econometrics Journal*, 14, 368–386.
- Caner, S., Kontorovich, V. (2004). Efficiency of the banking sector in the Russian Federation with international comparison. *Экономический журнал Высшей школы экономики*, 8, 357–375.
- Casu, B., Girardone, C., Molyneux, Ph. (2004). Productivity change in European banking: A comparison of parametric and non-parametric approaches. *Journal of Banking & Finance*, 28, 2521–2540.
- Casu, B., Molyneux, Ph. (2003). A comparative study of efficiency in European banking. *Applied economics*, 35, 1865–1876.
- Charnes, A., Cooper, W. W., Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 2, 429–444.
- Chen, L., Huo, Y. (2021). A simple estimator for quantile panel data models using smoothed quantile regressions. *The Econometrics Journal*, 24(2), 247–263.
- Chernozhukov, V., Fernández-Val, I. (2005). Subsampling inference on quantile regression processes. *Sankhyā: The Indian Journal of Statistics*, 67, 253–276.
- Chernozhukov, V., Hansen, C. (2005). An IV model of quantile treatment effects. *Econometrica*, 73(1), 245–261.
- Chernozhukov, V., Hansen, C. (2006). Instrumental quantile regression inference for structural and treatment effect models. *Journal of Econometrics*, 132(2), 491–525.
- Chetverikov, D., Larsen, B., Palmer, C. (2016). IV quantile regression for group-level treatments, with an application to the distributional effects of trade. *Econometrica*, 84(2), 809–833.
- Chidmi, B., Solís, D., Cabrera, V. E. (2011). Analyzing the sources of technical efficiency among heterogeneous dairy farms: A quantile regression approach. *Journal of Development and Agricultural Economics*, 3(7), 318–324.
- Dhaene, G., Jochmans, K. (2015). Split-panel jackknife estimation of fixed-effect models. *The Review of Economic Studies*, 82(3), 991–1030.
- Drake, L., Hall, M. J. B., Simper, R. (2006). The impact of macroeconomic and regulatory factors on bank efficiency: A non-parametric analysis of Hong Kong’s banking system. *Journal of Banking & Finance*, 30, 1443–1466.

- Farrell, M. J. (1957). The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society: Series A (General)*, 120, 253–281.
- Galvao, A. F., Kato, K. (2016). Smoothed quantile regression for panel data. *Journal of Econometrics*, 193(1), 92–112.
- Greene, W. (2004). Distinguishing between heterogeneity and inefficiency: Stochastic frontier analysis of the World Health Organization’s panel data on national health care systems. *Health economics*, 13(10), 959–980.
- Harding, M., Lamarche, C. (2014). Estimating and testing a quantile regression model with interactive effects. *Journal of Econometrics*, 178, 101–113.
- Harding, M., Lamarche, C. (2016). Penalized quantile regression with semiparametric correlated effects: An application with heterogeneous preferences. *Journal of Applied Econometrics*.
- Hasan, I., Marton, K. (2003). Development and efficiency of the banking sector in a transitional economy: Hungarian experience. *Journal of Banking & Finance*, 27, 2249–2271.
- Jradi, S., Ruggiero, J. (2019). Stochastic data envelopment analysis: A quantile regression approach to estimate the production frontier. *European Journal of Operational Research*, 278(2), 385–393.
- Koenker, R. (2004). Quantile regression for longitudinal data. *Journal of Multivariate Analysis*, 91(1), 74–89.
- Koenker, R., Bassett Jr., G. (1978). Regression quantiles. *Econometrica*, 46, 33–50.
- Koopmans, T. C. (1951). An analysis of production as an efficient combination of activities. In T. C. Koopmans (Ed.), *Activity Analysis of Production and Allocation* (Cowles Commission for Research in Economics, Monograph No. 13, pp. 33–97). Wiley.
- Laeven, L., Majnoni, G. (2005). Does judicial efficiency lower the cost of credit? *Journal of Banking & Finance*, 29, 1791–1812.
- Liu, Ch., Laporte, A., Ferguson, B. S. (2008). The quantile regression approach to efficiency measurement: Insights from monte carlo simulations. *Health Economics*, 17(9), 1073–1087.
- Machado, J. A., Santos Silva, J. M. (2019). Quantiles via moments. *Journal of Econometrics*, 213(1), 145–173.
- Parente, P. M., Santos Silva, J. M. (2016). Quantile regression with clustered data. *Journal of Econometric Methods*, 5(1), 1.
- Reinhard, S., Lovell, C. A. K., Thijssen, G. J. (2000). Environmental efficiency with multiple environmentally detrimental variables; estimated with SFA and DEA. *European Journal of Operational Research*, 121(2), 287–303.
- Schmidt, P. (2011). One-step and two-step estimation in SFA models. *Journal of Productivity Analysis*, 36, 201–203.
- Simar, L., Wilson, P. W. (2000). A general methodology for bootstrapping in non-parametric frontier models. *Journal of Applied Statistics*, 27, 779–802.

- Styrin, K. (2005). *What explains differences in efficiency across Russian banks?* (Working Paper). EERC Research Network, Russia and CIS.
- Wang, H.-J., Schmidt, P. (2002). One-step and two-step estimation of the effects of exogenous variables on technical efficiency levels. *Journal of Productivity Analysis*, 18, 129–144.
- Wooldridge, J. M. (2003). Cluster-sample methods in applied econometrics. *American Economic Review*, 93(2), 133–138.