

Динамика совокупной факторной производительности и ее компонентов на примере российской отрасли, производящей пластмассовые изделия¹

В данной работе на основе метода DEA исследуется динамика совокупной факторной производительности (СФП) и ее компонентов на примере отрасли по производству пластмассовых изделий в России за период 2006–2012 гг. Выделяются технологический компонент, техническая эффективность, эффективность от масштаба и эффективность от распределения факторов. Динамика СФП и ее компонентов несколько различается для разных квантильных групп фирм. Тем не менее, почти во всех индексах наблюдается значительное падение в 2009 г. Также в работе для проверки робастности результатов сравниваются оценки технической эффективности по двум методам — DEA и SFA.

Ключевые слова: DEA; SFA; совокупная факторная производительность; техническая эффективность; российские предприятия.

JEL classification: C43; D22; D24; L65.

1. Введение и обзор литературы

Отрасль по производству пластмассовых изделий относится к среднетехнологичному сектору. Она имеет репрезентативный характер: динамика производства схожа с динамикой ВВП и других отраслей. В годы мирового финансового кризиса в отрасли, как и во всей экономике, наблюдался спад производства.

Отрасль, производящая пластмассовые изделия, имеет достаточную конкурентоспособность на внутреннем рынке (в натуральном выражении доля российских фирм составляет более 70%²) и низкую — на мировом³. Основными потребителями ее продукции является строительство, сфера товаров народного потребления и услуг. Конкурентоспособными товарами являются типовые изделия. Из-за недостатка ввода новых конкурентоспособных мощностей (средний коэффициент использования мощностей по итогам 2013 г. составлял 58%⁴)

¹ Исследование осуществлено в рамках Программы фундаментальных исследований НИУ ВШЭ в 2015 году.

² Государственный совет Российской Федерации (2014). Доклад «О развитии отечественного бизнеса и повышении его конкурентоспособности на мировом рынке в условиях членства России во Всемирной торговой организации». Москва, Кремль, сентябрь 2014, стр. 135. <http://www.tpp-inform.ru/userdata/2014/1410960036.pdf>.

³ Там же, стр. 37.

⁴ Там же, стр. 136.

местные производители зачастую уступают в выпуске высококачественных потребительских товаров и промышленных изделий ответственного назначения.

При этом производство пластмассовых изделий — яркий пример вида деятельности, в котором на сегодняшний день активно происходит импортозамещение. Эта отрасль входит в число приоритетных для импортозамещения. Среди мер государственной поддержки основными являются: субсидирование (в том числе разовые субсидии на преодоление финансовых трудностей), льготное кредитование, государственные закупки и др.⁵ Для оказания подобной поддержки, особенно адресной, необходимо иметь представление об эффективности функционирования предприятий.

Эффективность работы фирмы зависит от целого ряда внутренних и внешних факторов: процесса управления производством, грамотного менеджмента, налаженных связей с поставщиками и сбытовыми компаниями, спроса на продукцию и т. д. Причем не всегда эти факторы можно измерить или подобрать для них подходящую прокси-переменную. Внешние факторы, факторы конъюнктуры, от фирмы практически не зависят (если это не крупная фирма в отрасли, способная влиять, например, на цену). А вот внутренние факторы, которые целиком и полностью зависят от организации фирмы, должны быть детальным образом проанализированы для выявления узких мест в работе предприятия.

Для оценки эффективности работы фирмы и учета тех факторов, которые нельзя напрямую измерить количественно, чаще всего используются метод анализа стохастической границы (Stochastic Frontier Analysis, SFA) и непараметрический метод оболочечного анализа данных (Data Envelopment Analysis, DEA). Строго говоря, для каждого отдельного случая необходимо взвесить все «за» и «против» использования двух методов.

Среди достоинств SFA можно отметить, что он является эконометрическим подходом и позволяет получить оценки параметров производственной функции. Эти параметры могут быть использованы в дальнейшем анализе, к примеру, для определения характера отдачи от масштаба в отрасли или нахождения предельных продуктов по факторам. Хотя ограничение в виде фиксированной функциональной формы представляется слишком строгим, если учитывать различия в технологическом процессе на разных предприятиях. Отсюда требование относительной однородности фирм, что в пределах одной отрасли условно выполняется.

DEA проще в применении и использует, как правило, меньше предпосылок. К примеру, он не требует априорных знаний о распределении ошибок. Но из-за отсутствия случайной компоненты данный метод более чувствителен к выбросам.

Оба метода анализа эффективности на предприятии имеют обширную историю. Метод SFA был разработан в 1977 г. и представлен почти одновременно сразу в двух работах — (Meeusen, Van den Broeck, 1977) и (Aigner et al., 1977). По всей видимости, идея SFA относилась к ряду тех идей, которые витают в воздухе и принадлежат к определенному времени развития общества. В этом подходе большую роль сыграло использование усеченного нормального распределения для компонента неэффективности, предложенное в работе (Birnbau, 1950). Weinstein (1964) вывел плотность распределения для суммы двух компонент, одна из которых нормально распределена, а другая имеет усеченное нормальное распределение. Azzalini (1985) в своей работе обобщил все знания о данном распределении.

SFA используется для анализа технической эффективности и эффективности издержек во всех отраслях экономики. В силу высокого качества и стандартизации данных, а также

⁵ Там же, стр. 168.

более легкого доступа к ним, SFA часто применяется в исследованиях, посвященных банковской и страховой сферам. Осуществляемые операции более однородны для разных финансовых компаний, чем для компаний реального сектора экономики. Поэтому найденные оценки неэффективности не включают в себя существующие различия технологического процесса и могут трактоваться как неэффективное использование факторов. Так, Eling, Luhn (2010) проводят межстрановой анализ страхового сектора, Feng, Serletis (2010) изучают техническую эффективность американских крупных банков, Kumbhakar, Peresetsky (2013) производят сравнительный анализ банковского сектора в России и Казахстане.

В реальном секторе экономики также проведено множество исследований технической эффективности. В разных работах либо пытаются выделить однородные сектора: Щетинин, Назруллаева (2012) в пищевой промышленности России, Farsi et al. (2007) в транспортном секторе Швейцарии, Tovar et al. (2011) в секторе распределения электричества в Бразилии; либо оценивают стохастическую производственную границу для всех производственных предприятий страны и сравнивают отдельные отрасли по найденным показателям эффективности — Madheswaran et al. (2007) в Индии, Din et al. (2007) в Пакистане, Liu, Li (2012) в Китае.

DEA является оптимизационной задачей математического программирования. В этом методе либо максимизируется агрегированный выпуск при заданных затратах, либо минимизируются агрегированные затраты при заданном выпуске. Метод был предложен в (Charnes et al., 1978), используемое в данном подходе понятие функции расстояния было введено в (Shephard, 1953), а формулы для расчета технической эффективности через значения функции расстояния приписываются работе (Farrell, 1957).

Как более простой в моделировании и не требующий дополнительных предположений о распределении ошибок, подход DEA повсеместно используется для анализа технической эффективности в отдельных отраслях: американских авиакомпаниях (Rai, 2013), промышленном секторе Пакистана (Memon, Tahir, 2011), сахарной промышленности Индии (Kumar, Atoqa, 2012), банковском секторе Индии (Tandon, Malhotra, 2014).

Очень часто авторы используют в исследованиях оба метода, а затем сравнивают их результаты, например Eling, Luhn (2010). В работе (Bazrkar, Khalilpour, 2013) SFA и DEA применяются для изучения эффективности десяти банков Ирана. Ранжирование оценок по двум методам значительно различается, правда, для получения оценок с помощью SFA и DEA авторы используют разные переменные.

На основе полученных оценок SFA и DEA можно рассчитать значение совокупной факторной производительности (СФП) и ее компонентов с помощью различных индексов, предложенных в литературе. Например, в работе (Morrison Paul, Nehring, 2005) делается попытка отделить технологическое изменение от изменения эффективности в общем изменении производительности сельскохозяйственного сектора США. Однако используемые в работе показатели не стали общепринятыми.

Balk (1998) приводит формулу для расчета эффективности от масштаба, которая, наряду с технической эффективностью, является компонентом совокупной факторной производительности. Остальные компоненты были впервые определены в работе (O'Donnell, 2008), где подробно изложены теоретические аспекты разложения СФП на отдельные компоненты. В статье также показывается, что широко распространенный индекс Malmquist не удовлетворяет всем необходимым условиям для использования в качестве индекса агрегирования и расчета СФП.

В дальнейших работах автор развивает теорию индексов, предлагая новые условия и индексы для агрегирования выпуска и затрат (O'Donnell, 2012a), а также новые производственные ограничения и новые компоненты индекса совокупной факторной производительности, связанные с технологиями и окружающей средой (O'Donnell, 2014).

В статье (O'Donnell, 2012b) разложение СФП используется для изучения сельскохозяйственной отрасли США по отдельным штатам и по регионам в период с 1960 по 2004 гг. Автор приходит к выводу, что основным двигателем динамики СФП была техническая эффективность. В работе (O'Donnell, 2014) исследуются 18 секторов австралийской экономики за период с 1970 по 2007 гг. Здесь основной вклад в динамику СФП вносила эффективность от масштаба и от перераспределения факторов.

В данной работе проводится анализ динамики СФП и ее компонентов на основе последних упомянутых работ применительно к российской отрасли по производству пластмассовых изделий.

2. Индекс совокупной факторной производительности и его составляющие

DEA и SFA в анализе эффективности фирм

DEA является непараметрическим методом и используется для оценки детерминистической границы производственных возможностей (ГПВ). В его основе лежат следующие предпосылки:

- 1) все необходимые переменные объемов и цен наблюдаются без ошибки;
- 2) оценка производственной метафункции (общая для всех фирм в выборке) является кусочно-линейной;
- 3) всегда можно использовать меньше ресурсов и получать меньше продукции;
- 4) производственное множество выпукло.

Техническая эффективность в данном методе измеряется функцией расстояния по выпуску, введенной в работе (Shephard, 1953) и более подробно описываемой в конце данного раздела. Но поскольку ГПВ оценивается для определенного набора предприятий, данный показатель эффективности является относительным, упорядочивающим наблюдения в выборке.

Подход SFA с помощью эконометрических методов оценивает стохастическую границу производственных возможностей. В нем предполагается, что выпуск наблюдается с ошибкой, при этом независимые переменные, входящие в уравнение производственной функции, не коррелируют с ошибкой (что, вообще говоря, совсем не всегда верно). Сама ошибка представляет собой разность двух независимых ошибок: $\varepsilon = v - u$. Первая (v) является ошибкой в привычном понимании и имеет нормальное распределение: $v \sim N(0, \sigma_v^2)$. Вторая (u) отражает наличие неэффективности работы фирмы, всегда неотрицательна и обычно имеет одно из трех распределений:

- 1) полунормальное: $u \sim N^+(0, \sigma_u^2)$;
- 2) усеченное нормальное: $u \sim N^+(a, \sigma_u^2)$;
- 3) экспоненциальное: $u \sim Exp(\alpha)$.

Встречаются и другие распределения, удовлетворяющие условию неотрицательности. Если в качестве производственной функции взять функцию Кобба–Дугласа, то уравнение регрессии в логарифмах будет выглядеть следующим образом:

$$\ln y_i = (\ln x_i)' \beta + v_i - u_i, \quad (1)$$

где y_i — выпуск фирмы i , x_i — вектор затрат фирмы i , β — вектор оцениваемых параметров. Оценка технической эффективности фирмы i в подходе SFA находится с помощью формулы:

$$TE_i = E\left(e^{-u_i} \mid \varepsilon_i\right)_{\varepsilon_i = \hat{\varepsilon}_i}. \quad (2)$$

Таким образом, техническая эффективность меняется от нуля до единицы. Уравнение (1) оценивается с помощью метода максимального правдоподобия. SFA предполагает оценку уравнений и для панельных данных, а также при разных предположениях о распределении ошибок (например, гетероскедастичность, автокорреляция).

Изменение прибыльности и ее составляющие

Важным показателем работы отдельного предприятия является изменение его прибыльности, под которой понимается отношение доходов к расходам. Изменение прибыльности может быть связано как с изменением цен на продукцию и сырье, так и с изменением объемов выпуска продукции и затрат ресурсов.

Предполагается, что фирма использует несколько видов ресурсов и производит несколько видов продукции. Обозначим $q_{it} \in \mathbb{R}_+^N$, $x_{it} \in \mathbb{R}_+^M$, $p_{it} \in \mathbb{R}_+^N$, $w_{it} \in \mathbb{R}_+^M$ — вектора объемов выпуска и факторов производства, а также их цен (соответственно) для фирмы i в период t . Далее будем рассматривать агрегированный выпуск $Q_{it} \equiv Q(q_{it})$ и затраты ресурсов $X_{it} \equiv X(x_{it})$. Среди ограничений, накладываемых на функции $Q(\cdot)$ и $X(\cdot)$ — неотрицательность, неубывание и линейная однородность.

Агрегированным показателям объемов соответствуют скрытые цены $P_{it} = p_{it}' q_{it} / Q_{it}$ и $W_{it} = w_{it}' x_{it} / X_{it}$ по выпуску и по затратам соответственно. Таким образом, прибыльность может быть записана как $PROF_{it} = (P_{it} Q_{it}) / (W_{it} X_{it})$, а индекс ее изменения, который дает возможность сравнить прибыльность фирмы i в период t с прибыльностью фирмы h в период s , как

$$PROFI_{hs,it} = \frac{PROF_{it}}{PROF_{hs}} = \frac{P_{it} Q_{it}}{W_{it} X_{it}} \cdot \frac{P_{hs} Q_{hs}}{W_{hs} X_{hs}} = \frac{P_{it} / P_{hs}}{W_{it} / W_{hs}} \times \frac{Q_{it} / Q_{hs}}{X_{it} / X_{hs}} = \frac{PI_{hs,it}}{WI_{hs,it}} \times \frac{QI_{hs,it}}{XI_{hs,it}} = TTI_{hs,it} \times TFPI_{hs,it}, \quad (3)$$

где $PI_{hs,it}$ и $WI_{hs,it}$ — индексы цен по выпуску и по затратам, $QI_{hs,it}$ и $XI_{hs,it}$ — индексы объемов выпуска и факторов, $TTI_{hs,it}$ — индекс, определяющий изменение условий торговли, $TFPI_{hs,it}$ — индекс совокупной факторной производительности (total factor productivity index), о котором и пойдет речь в данной статье.

Изменение совокупной факторной производительности и ее составляющие

Совокупная факторная производительность (СФП) равна отношению агрегированного выпуска к агрегированным затратам. Чем больше единиц агрегированного выпуска получает фирма с единицы агрегированных затрат, тем производительнее считается ее деятельность.

Изменение совокупной факторной производительности, в свою очередь, происходит по нескольким причинам:

- 1) *технологическое* изменение (technical change) — изменение производственной границы в результате изменения технологии производства;

- 2) изменение *технической эффективности* (technical efficiency change) — движение к границе производственных возможностей или от нее;
- 3) изменение *эффективности от масштаба* (scale efficiency change) — движение вдоль производственной границы в целях извлечения выгоды от масштаба;
- 4) изменение *эффективности от распределения факторов* (mix efficiency change) — движение вдоль производственной границы в целях извлечения выгоды от перераспределения факторов.

Все эти индексы можно вычислить в рамках как метода DEA, так и метода SFA. Для большей наглядности рассмотрим, что означает каждое из этих изменений на графике, где по горизонтальной оси отложим агрегированные расходы, а по вертикальной — агрегированный выпуск (рис. 1). Предположим, что по соответствующим наблюдениям фирм с помощью DEA была оценена граница производственных возможностей. На границе, проходящей через точки С и D, лежат фирмы с единичной технической эффективностью. Точка D соответствует постоянной отдаче от масштаба, в ней эффективность от масштаба равна единице. На границе, проходящей через точки E и V, лежат фирмы с единичной эффективностью от распределения. Фирма, лежащая в точке E, имеет максимальную СФП, все компоненты эффективности равны единице, поэтому технологический компонент равен СФП, т. е. тангенсу угла наклона OE.

Фирма, находящаяся в точке А, работает неэффективно, ее совокупная факторная производительность равна тангенсу угла наклона OA. При переходе из точки А в точку С фирма при тех же затратах будет производить больше, тем самым достигнув максимальной технической эффективности. Дальнейшее увеличение СФП будет происходить за счет других компонентов. Например, при переходе из С в точку D фирма будет использовать экономию от масштаба, но при этом комбинации факторов и выпусков останутся такими же, как в точке А. В данном случае выгоднее укрупняться. Дальнейший переход в точку E связан с максимизацией СФП и снятием ограничения на комбинацию факторов и выпусков.

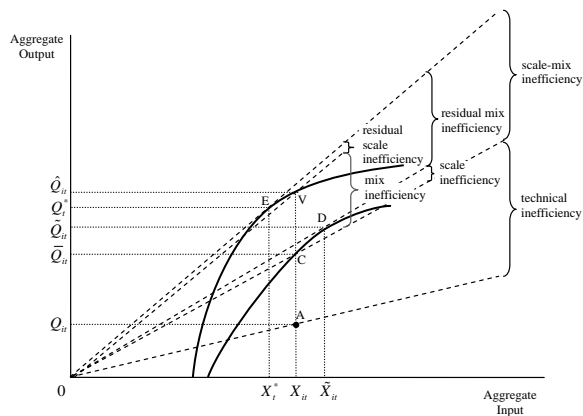


Рис. 1. Компоненты эффективности фирмы⁶

Источник: (O'Donnell, 2011).

⁶ Technical inefficiency — техническая неэффективность; scale-mix inefficiency — неэффективность от масштаба и от распределения факторов; scale inefficiency — неэффективность от масштаба; mix inefficiency — неэффективность от распределения факторов; residual scale inefficiency — остаточная неэффективность от масштаба; residual mix inefficiency — остаточная неэффективность от распределения факторов.

Совокупную факторную производительность можно выразить как произведение ее максимально возможного значения и эффективности:

$$TFP_{it} = TFP_t^* \times TFPE_{it}. \quad (4)$$

Запишем формулы для каждого компонента СФП⁷:

$TFPE_{it} = \frac{TFP_{it}}{TFP_t^*} \leq 1$ — эффективность СФП, отношение совокупной факторной производительности к максимально возможному ее значению в отрасли;

$O TE_{it} = \frac{Q_{it}/X_{it}}{\bar{Q}_{it}/\bar{X}_{it}} = \frac{Q_{it}}{\bar{Q}_{it}} = D_O(x_{it}, q_{it}, t) \leq 1$ — техническая эффективность, функция расстояния по выпуску (подробнее см. ниже);

$OSE_{it} = \frac{\bar{Q}_{it}/X_{it}}{\bar{Q}_{it}/\bar{X}_{it}} \leq 1$ — эффективность от масштаба;

$OME_{it} = \frac{\bar{Q}_{it}/X_{it}}{\hat{Q}_{it}/\hat{X}_{it}} = \frac{\bar{Q}_{it}}{\hat{Q}_{it}} \leq 1$ — эффективность от распределения факторов;

$ROSE_{it} = \frac{\hat{Q}_{it}/X_{it}}{TFP_t^*} \leq 1$ — остаточная эффективность от масштаба;

$RME_{it} = \frac{\tilde{Q}_{it}/\tilde{X}_{it}}{TFP_t^*} \leq 1$ — остаточная эффективность от распределения факторов.

Последние четыре показателя связаны между собой следующей формулой:

$$OSME_{it} = OME_{it} \times ROSE_{it} = OSE_{it} \times RME_{it} \leq 1. \quad (5)$$

Изменение СФП равно произведению изменений ее составляющих. Принимая во внимание приведенные выше формулы, интересующий нас индекс СФП можно записать несколькими способами:

$$TFPI_{hs,it} = \left(\frac{TFP_t^*}{TFP_s^*} \right) \left(\frac{TFPE_{it}}{TFPE_{hs}} \right), \quad (6)$$

$$TFPI_{hs,it} = \left(\frac{TFP_t^*}{TFP_s^*} \right) \left(\frac{OTE_{it}}{OTE_{hs}} \right) \left(\frac{OSME_{it}}{OSME_{hs}} \right), \quad (7)$$

$$TFPI_{hs,it} = \left(\frac{TFP_t^*}{TFP_s^*} \right) \left(\frac{OTE_{it}}{OTE_{hs}} \right) \left(\frac{OSE_{it}}{OSE_{hs}} \right) \left(\frac{RME_{it}}{RME_{hs}} \right), \quad (8)$$

$$TFPI_{hs,it} = \left(\frac{TFP_t^*}{TFP_s^*} \right) \left(\frac{OTE_{it}}{OTE_{hs}} \right) \left(\frac{OME_{it}}{OME_{hs}} \right) \left(\frac{ROSE_{it}}{ROSE_{hs}} \right). \quad (9)$$

⁷ Для оценки СФП и ее компонентов использовалась программа DPIN 3.1 (<http://www.uq.edu.au/economics/cera/dpin.php>).

Выбор одного из разложений зависит от целей анализа. Разница между формулами (7) и (8) заключается в том, какой сдвиг происходит сначала: за счет экономии от масштаба или за счет перераспределения факторов. В данной работе для выявления значимых двигателей в динамике СФП используется разложение из уравнения (8).

Индекс совокупной факторной производительности Färe–Primont

Для индексов агрегированных выпусков $QI_{hs,it}$ и расходов $XI_{hs,it}$, участвующих в формуле (3), чаще всего используются индексы Laspeyres, Paasche, Fisher, Lowe, Malmquist, Hicks–Moorsteen и Färe–Primont и др. Существует шесть основных аксиом, которым должен удовлетворять индекс:

- 1) монотонность: $QI(q_{hs}, q_{jr}, p_0) > QI(q_{hs}, q_{it}, p_0)$ при $q_{jr} > q_{it}$
и $QI(q_{jr}, q_{it}, p_0) < QI(q_{hs}, q_{it}, p_0)$ при $q_{jr} > q_{hs}$;
- 2) линейная однородность: $QI(q_{hs}, \lambda q_{it}, p_0) = \lambda QI(q_{hs}, q_{it}, p_0)$, $\lambda > 0$;
- 3) тождественность: $QI(q_{it}, q_{it}, p_0) = 1$;
- 4) однородность нулевой степени: $QI(\lambda q_{hs}, \lambda q_{it}, p_0) = QI(q_{hs}, q_{it}, p_0)$, $\lambda > 0$;
- 5) соизмеримость: $QI(q_{hs} \Lambda, q_{it} \Lambda, p_0 \Lambda^{-1}) = QI(q_{hs}, q_{it}, p_0)$, где Λ — диагональная матрица, в которой диагональные элементы строго больше нуля;
- 6) транзитивность: $QI(q_{hs}, q_{it}, p_0) = QI(q_{hs}, q_{jr}, p_0) QI(q_{jr}, q_{it}, p_0)$.

Первая аксиома монотонности означает увеличение индекса с ростом q_{it} (сравниваемый вектор) и его уменьшение с падением q_{hs} (базисный вектор). Вторая аксиома линейной однородности означает, что пропорциональное увеличение сравниваемого вектора вызовет такое же пропорциональное увеличение индекса. Аксиома тождественности важна, если сравниваемый и базисный вектора одинаковые, тогда индекс должен быть равен единице. Из второй и третьей аксиом вытекает свойство пропорциональности: $QI(q_{hs}, \lambda q_{hs}, p_0) = \lambda$, $\lambda > 0$. Оно означает, что если сравниваемый вектор пропорционален базисному, то индекс должен быть равен коэффициенту пропорциональности. Однородность нулевой степени означает, что при умножении обоих векторов на одно и то же число индекс останется неизменным. Соизмеримость означает, что при изменении масштабирования индексы не должны измениться. Последняя аксиома транзитивности позволяет получать значения индексов не из прямых сравнений, а через третий вектор.

Из вышеназванных индексов последней аксиоме удовлетворяют лишь индексы Lowe и Färe–Primont. Остальные можно использовать только для попарных сравнений.

В данной работе эмпирический анализ проводится на основе индекса совокупной факторной производительности Färe–Primont (Färe, Primont, 1995). Значения СФП находятся как

$$TFP_{it} = \frac{D_o(x_0, q_{it}, t_0)}{D_i(x_{it}, q_0, t_0)}, \quad (10)$$

где $D_i(x_{it}, q_{it}, t)$ — функция расстояния по затратам; x_0 и q_0 — фиксированные репрезентативные значения выпуска и затрат для всех фирм и для периодов⁸, t_0 — фиксированный базисный момент времени.

⁸ В используемой программе DPIN 3.1 в качестве репрезентативных векторов выпуска и факторов берутся вектора со средними значениями.

Для нахождения значений функции расстояния решаются соответствующие задачи математического программирования. При фиксированном векторе затрат x_0 функция расстояния по выпуску q_{it} есть $D_O(x_0, q_{it}, t_0) = \lambda^{-1}$, где число $\lambda \geq 1$ таково, что точка $(x_0, \lambda q_{it})$ лежит на границе производственных возможностей (ГПВ). Если речь идет о функции расстояния по затратам x_{it} , то фиксируется вектор выпуска q_0 , и функция расстояния равна $D_I(x_{it}, q_0, t_0) = \rho^{-1}$, где ρ — такое число, что точка $(\rho x_{it}, q_0)$ лежит на ГПВ.

Формула для расчета индекса Färe–Primont, основанного на уравнении (10), выглядит следующим образом:

$$TFPI_{hs,it} = \frac{D_O(x_0, q_{it}, t_0)}{D_O(x_0, q_{hs}, t_0)} \cdot \frac{D_I(x_{hs}, q_0, t_0)}{D_I(x_{it}, q_0, t_0)}. \quad (11)$$

3. Данные

Показатели общей выручки, стоимости основных средств, всех активов и численности работников взяты из информационной базы данных RUSLANA⁹ согласно следующей стратегии поиска:

- 1) страновая принадлежность — РФ;
- 2) основной код по ОКВЭД — 25.2 (производство пластмассовых изделий);
- 3) годы — 2006–2012;
- 4) минимальное значение общей выручки, стоимости основных средств, оборотных средств в каждом году — 1 тыс. руб.

При этом из выборки исключены микропредприятия с численностью хотя бы в одном году менее 15 человек. Описанная процедура обеспечила включение в выборку только фирм, действовавших на протяжении всего рассматриваемого отрезка времени. Наложённые на показатели ограничения исключили наблюдения, похожие на ошибки и выбросы. Также был проведен визуальный анализ для выявления дополнительных выбросов. Итоговая выборка составила 585 фирм в каждом году.

По данным государственной регистрации на 1 января 2012 г., число организаций, производящих пластмассовые изделия, составило 17 380¹⁰. RUSLANA содержит данные по числу организаций того же порядка. При этом большинство из них либо не предоставляют информацию о выручке, либо относятся к субъектам малого предпринимательства. Такие компании были из выборки удалены. Суммарная выручка от реализации по предприятиям из рассматриваемой выборки (из бухгалтерской отчетности) составляла в разные годы 28.7–36.5% от суммарной выручки по всей отрасли производства пластмассовых изделий, взятой из официальной статистики¹¹.

Для стоимостных показателей в качестве индекса цен был выбран индекс цен производителей промышленных товаров по субъектам. Индексы цен производителей по субъектам и заработная плата по субъектам для данной отрасли имеются в сборниках Росстата.

⁹ <https://ruslana.bvdep.com/version-2015224/home.serv?product=ruslana>.

¹⁰ По данным Единой межведомственной информационно-статистической системы: <http://www.fedstat.ru/>.

¹¹ Там же.

Стоимость рабочей силы была получена как произведение численности занятых на предприятии на среднюю заработную плату по региону в отрасли производства резиновых и пластмассовых изделий (более мелкой детализации по подотраслям статистика не содержит).

Итоговые показатели выражены в постоянных ценах 2006 г.

В таблицах 1 и 2 приведены описательные статистики используемых переменных, а также их корреляционная матрица. Все коэффициенты корреляции с общей выручкой положительны и достаточно высоки.

Таблица 1. Описательные статистики переменных за 2006–2012 гг.

Показатель	Среднее	Стандартное отклонение
Выручка (тыс. руб.)	137742.9	267596.5
Капитал (тыс. руб.)	38232.6	118862.3
Остальные активы (тыс. руб.)	54270.3	124343.1
Труд (чел.)	109.4	145.6

Таблица 2. Корреляционная матрица переменных за 2006–2012 гг.

	Выручка	Капитал	Остальные активы	Труд
Выручка	1			
Капитал	0.767	1		
Остальные активы	0.820	0.760	1	
Труд	0.557	0.382	0.529	1

4. Эмпирические результаты

Оценки SFA и DEA

В работе Ипатовой, Пересецкого (2013) анализ для отрасли строился на методе SFA. Поскольку в данной работе СФП и ее компоненты находятся на основе оценок DEA, то разумно сначала проверить робастность оценок по двум методам.

В упомянутой работе оценки технической эффективности находились в предположении о гетероскедастичности ошибок. В данной статье для того, чтобы можно было сравнить результаты, полученные двумя методами, будем оценивать техническую эффективность для гомоскедастичных ошибок. Ошибка u в данной работе имеет полунормальное распределение.

В качестве производственной функции возьмем функцию Кобба–Дугласа. В работе (Ипатова, Пересецкий, 2013) показано, что результаты для функции Кобба–Дугласа и транслогарифмической производственной функции качественно не отличаются. Оцениваемая модель и распределения случайных компонентов описываются следующими выражениями:

$$\ln TR_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln K_{it} + \beta_2 \ln Ost_{it} + \beta_3 \ln L_{it} + v_{it} - u_{it}, \quad (12)$$

$$v_{it} \sim N(0, \sigma_v^2), \quad u_{it} \sim N^+(0, \sigma_u^2), \quad i = 1, \dots, 585, \quad t = 2006, \dots, 2012,$$

где $\ln TR_{it}$ — логарифм общей выручки, $\ln K_{it}$ — логарифм стоимости основных средств, $\ln Ost_{it}$ — логарифм стоимости остальных активов (кроме основных средств), $\ln L_{it}$ — логарифм численности работников на фирме. Результаты оценивания модели представлены в табл. 3. Все производственные факторы значимы на 1%-ном уровне значимости. Дисперсия ошибки u существенна, поэтому ее включение в производственную функцию оправдано. Другими словами, фирмы в отрасли работают неэффективно с точки зрения технической эффективности.

Таблица 3. Результаты оценивания модели (12), SFA (зависимая переменная — логарифм общей выручки)

Переменные	Коэффициенты
$\ln(\text{Капитал})$	0.0688*** (0.0062)
$\ln(\text{Ост. активы})$	0.511*** (0.010)
$\ln(\text{Труд})$	0.432*** (0.017)
const	4.187*** (0.064)
σ_v	0.386
σ_u	0.921
Число наблюдений	4095
$\ln L$	-4077.409

Примечание. *, **, *** — значимость на 10, 5, 1%-ном уровне соответственно. В скобках приведены стандартные ошибки.

На рисунке 2 представлены ядерные оценки плотности распределения оценок технической эффективности по годам на основе модели (12). Среднее значение распределения значительно снижается после 2008 г., что на графике выглядит как сдвиг точки максимума к началу координат — аналогичный результат был получен в работе (Ипатова, Пересецкий, 2013).

Далее перейдем к оценкам технической эффективности, полученным по методу DEA. Напомним, что этот метод предполагает оценивание детерминистической границы производственных возможностей с наличием фирм, лежащих на этой границе, т. е. имеющих единичную техническую эффективность. На рисунке 3 можно видеть, как выглядят ядерные оценки плотности распределения технической эффективности в случае применения DEA. Распределения скошены влево, а не вправо, как на рис. 2, поскольку в данном случае не делались предположения об полунормальном распределении ошибки u . Графики имеют два пика, которые отражают наличие большого числа низкоэффективных фирм и небольшое число высокоэффективных фирм, близких к единичной эффективности. Тем не менее, как и в предыдущем случае, можно наблюдать снижение среднего значения технической эффективности при переходе от 2008 к 2009 г.

Техническая эффективность — относительный показатель. Результатом обоих методов является ранжирование фирм, которое может быть сигналом как для внешних игроков (на-



Рис. 2. Ядерные оценки плотности распределения технической эффективности по годам, SFA

пример для инвесторов), так и для внутренних пользователей (например менеджеров фирмы). Для сравнения результатов, полученных разными методами, воспользуемся коэффициентом корреляции Пирсона и ранговым коэффициентом корреляции Спирмена (см. табл. 4). Значения ранговой корреляции несколько выше, поскольку являются более правильными с точки зрения измерения тесноты связи двух ранжировок. Таким образом, два метода дают достаточно близкие ранжировки фирм по значению технической эффективности даже с учетом совершенно разных предположений при оценке детерминистической и стохастической границ.

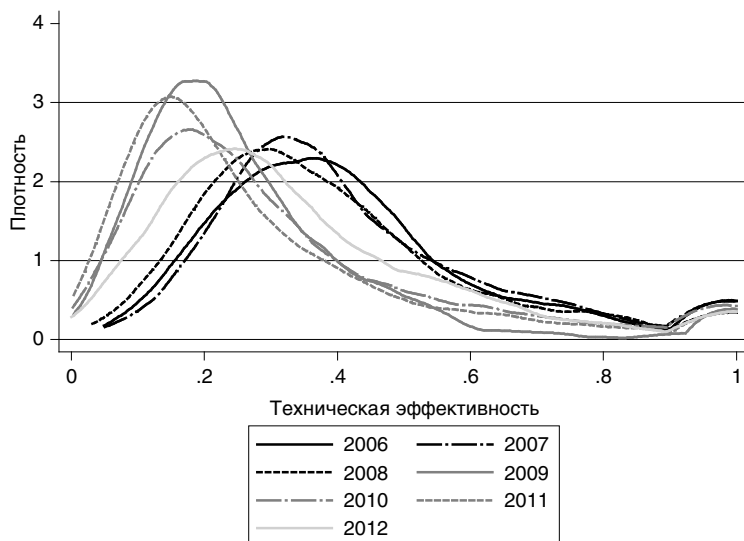


Рис. 3. Ядерные оценки плотности распределения технической эффективности по годам, DEA

Таблица 4. Коэффициенты корреляции между оценками технической эффективности, полученными по методам SFA и DEA (по годам)

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	Общая
Коэффициент Пирсона	0.740	0.727	0.726	0.573	0.546	0.535	0.708	0.655
Коэффициент Спирмена	0.846	0.851	0.837	0.796	0.704	0.688	0.837	0.782

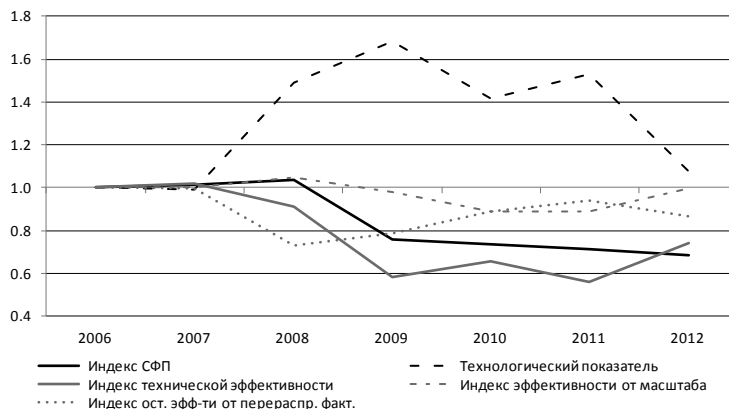
Оценки компонентов совокупной факторной производительности с помощью DEA

Перейдем к оценкам СФП и ее компонентов, полученными с помощью метода DEA. Напомним, что в настоящей статье используется индекс Färe–Primont, удовлетворяющий шести аксиомам (см. раздел 2). Анализ проводился на панельных данных, поэтому оценки сопоставимы не только по фирмам, но и по годам.

Средние значения оценок технической эффективности, эффективности от масштаба и остаточной эффективности от распределения факторов в 2006 г. равны 0.431, 0.849 и 0.670 соответственно. После проведения оценки СФП и ее компонентов были получены изменения показателей для каждой фирмы относительно 2006 г. На рисунке 4 представлены средние (средние геометрические) изменения этих показателей.

В 2007 г. все показатели практически не изменились. В 2008 г. средняя оценка СФП немного выросла за счет огромного увеличения оценки технологического компонента и роста эффективности от масштаба. Оценка технологического компонента равна максимально возможному значению оценки СФП среди фирм в каждом году, поэтому за его динамику отвечают предприятия с единичной эффективностью СФП. Средняя оценка технической эффективности снизилась в 2008 г. Также значительно снизилась остаточная эффективность от распределения факторов.

В 2009 г. средняя оценка совокупной факторной производительности «упала» ниже уровня 2006 г. за счет снижения средних оценок технической эффективности и эффективности от масштаба в отрасли. В последующие годы вплоть до 2012 г. СФП снижалась. Техническая эффективность также не поднялась выше среднего уровня 2006 г. Лишь эффективность от масштаба в 2012 г. вернулась к уровню 2006 г. Таким образом, можно говорить о том, что влияние кризиса на отрасль было негативным, и к концу 2012 г. его последствия устранены не были.

**Рис. 4.** Средние оценки индекса СФП и его компонентов (относительно 2006 г.)

Наблюдения в каждом году были также разбиты на квартили по значению оценок СФП, а затем подсчитаны средние значения индексов в каждом квартале. Принадлежность предприятия к тому или иному кварталу достаточно устойчива, что подтверждается матрицами перехода фирм из одного квартала в другой в каждый последующий год (см. табл. 5).

Таблица 5. Матрицы перехода фирм между квартилями по значению оценок СФП в каждый последующий год, доля от общего числа фирм в квартале

2006	2007				2007	2008			
	1	2	3	4		1	2	3	4
1	0.71	0.16	0.11	0.02	1	0.73	0.20	0.04	0.03
2	0.23	0.42	0.25	0.10	2	0.23	0.50	0.22	0.05
3	0.05	0.38	0.36	0.21	3	0.02	0.27	0.53	0.18
4	0.01	0.04	0.29	0.66	4	0.02	0.03	0.21	0.74
2008	2009				2009	2010			
	1	2	3	4		1	2	3	4
1	0.73	0.19	0.04	0.03	1	0.80	0.18	0.01	0.01
2	0.17	0.49	0.32	0.03	2	0.18	0.60	0.19	0.03
3	0.08	0.25	0.41	0.25	3	0.01	0.23	0.66	0.11
4	0.01	0.07	0.23	0.68	4	0.01	0.00	0.14	0.86
2010	2011				2011	2012			
	1	2	3	4		1	2	3	4
1	0.84	0.14	0.02	0.00	1	0.82	0.17	0.01	0.00
2	0.11	0.75	0.13	0.01	2	0.16	0.70	0.14	0.00
3	0.04	0.10	0.73	0.13	3	0.02	0.12	0.75	0.10
4	0.01	0.01	0.12	0.86	4	0.01	0.01	0.09	0.90

Прежде чем рассматривать динамику СФП и ее компонентов по квартилям, немаловажно знать, какую долю на рынке занимает каждый из этих квартилей. Таблица 6 содержит информацию о доле фирм каждого квартала в совокупной общей выручке выборки. Несмотря на увеличивающуюся концентрацию на рынке, общая доля нижних 50% фирм в 2012 г. превышала 13%, что не так уж и мало.

Таблица 6. Доли фирм на рынке по квартилям, % от совокупной выручки отрасли

Кварталь	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
1	14.2	10.3	9.2	6.6	5.3	4.2	3.8
2	14.1	17.6	15.2	10.5	12.1	9.9	9.8
3	20.0	19.8	22.3	24.2	21.1	21.4	21.3
4	51.6	52.3	53.2	58.7	61.6	64.5	65.0

В таблице 7 представлены различия в средних значениях оценок компонентов СФП в 2006 г. по квартилям. Наибольшую вариацию оценок демонстрирует техническая эффективность.

Таблица 7. Средние значения оценок компонентов эффективности СФП в 2006 г. по квартилям

Квартиль	Техническая эффективность	Эффективность от масштаба	Остаточная эффективность от распределения факторов
1	0.315	0.761	0.625
2	0.366	0.853	0.658
3	0.443	0.888	0.658
4	0.599	0.893	0.738

Динамика оценок СФП и ее отдельных компонентов по квартилям графически представлена на рис. 5–8.

На рисунке 5 изображена динамика СФП по квартилям. Если на рис. 4 среднее значение индекса к 2012 г. не превысило единицы, то для верхних 25% фирм СФП росла с 2006 г. (за исключением 2009 г.), и к концу рассматриваемого периода составила 143% от первоначального уровня. Для остальных квартилей после 2009 г. наблюдалась нисходящая динамика СФП. Другими словами, с последствиями кризиса смогли справиться только высокопроизводительные фирмы, хотя и их темпы роста снизились — после 2009 г. угол наклона кривой стал меньше.

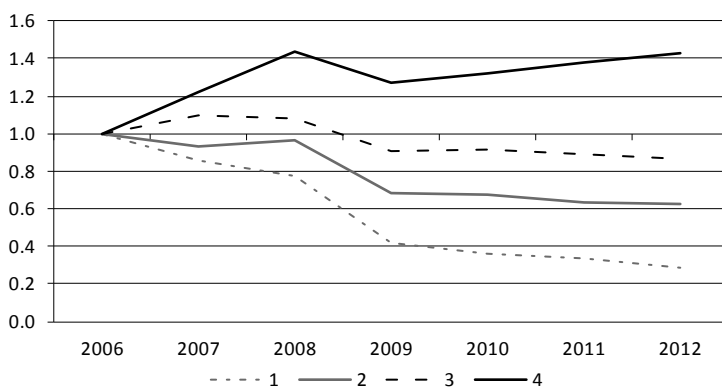
**Рис. 5.** Средние оценки индекса СФП (относительно 2006 г.) по квартилям

Рисунок 6 иллюстрирует динамику средней технической эффективности по квартилям. Показатель значительно снижается в кризисный 2009 г., затем в 2010 г. происходит восстановление, неодинаковое по разным квартилям. Начиная с 2011 г. ожидается дальнейший рост технической эффективности благодаря программе импортозамещения. Эта составляющая играет важную роль в динамике СФП. Распределение по квартилям также во многом зависит от данного компонента: для верхних 25% фирм индексы СФП и технической эффективности превышают в 2012 г. единицу, для следующих 25% — близки к единице, а для остальных — значительно меньше единицы.

На рисунке 7 изображена вариация средней эффективности от масштаба по квартилям. Вариация невысокая, как и в целом по годам, что связано с достаточно высокими средними оценками уровня данного компонента (см. табл. 7). Увеличение индекса для фирмы свидетельствует о приближении к ее оптимальному размеру, для которого характерна постоян-

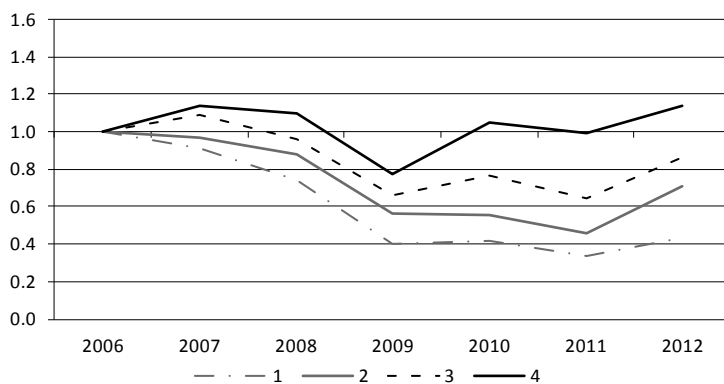


Рис. 6. Средние оценки индекса технической эффективности (относительно 2006 г.) по квартилям

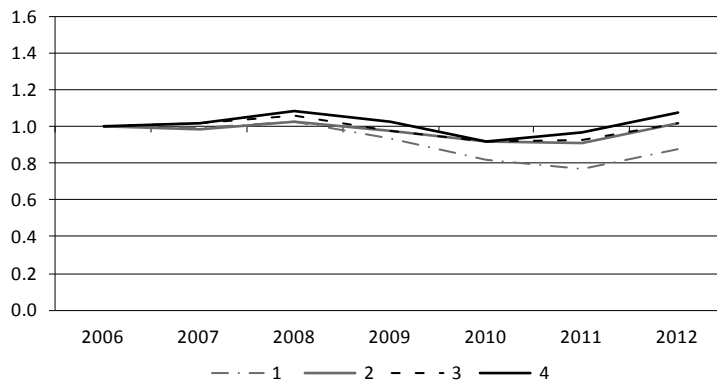


Рис. 7. Средние оценки индекса эффективности от масштаба (относительно 2006 г.) по квартилям

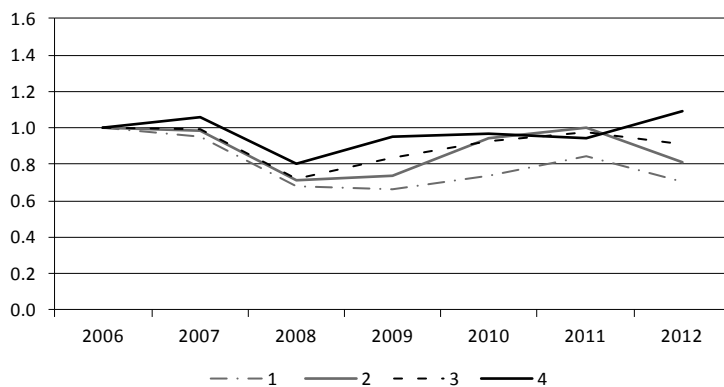


Рис. 8. Средние оценки индекса эффективности от распределения факторов (относительно 2006 г.) по квартилям

ная отдача от масштаба. После 2008 г. средняя оценка эффективности от масштаба начала снижаться под действием кризиса, что говорит о его негативном влиянии на оптимальный размер фирм в отрасли. Но к концу периода для верхних трех квартилей индекс все же немного превысил единицу, т. е. можно говорить о его устойчивости в отрасли. Тем не менее, вклад данного компонента в рост СФП небольшой.

Вариация оценок остаточной эффективности от распределения также невысокая (см. рис. 8). Данный компонент испытал последствия кризиса уже в 2008 г., далее происходило его восстановление до уровня 2006 г. Динамика показателя не внесла существенного вклада в динамику СФП.

5. Заключение

В работе на примере российской отрасли по производству пластмассовых изделий в 2006–2012 гг. проведен анализ динамики совокупной факторной производительности и ее компонентов.

Оценки технической эффективности, являющиеся важной составляющей совокупной факторной производительности, полученные с помощью методов SFA и DEA, дали довольно похожие ранжировки фирм. При этом оба метода показали, что средняя оценка технической эффективности значительно снизилась после мирового финансового кризиса (2008 года).

С помощью DEA были оценены значения СФП и ее компонентов для каждой фирмы. Было выявлено, что основной вклад в динамику средних оценок СФП по отрасли в целом и по отдельным квартилям вносят изменения технологического компонента и технической эффективности.

На динамике большинства показателей сказался экономический кризис, однако для 25% наиболее производительных фирм наблюдалась положительная динамика как СФП, так и технической эффективности. Следующие 25% фирм близки по показателям к уровню 2006 г. Оставшаяся половина рассмотренного сектора находится в не самом лучшем состоянии и, очевидно, нуждается в преобразованиях. Детальный анализ динамики СФП и ее компонентов может задать направление действий для каждой фирмы в отдельности.

Список литературы

Ипатова И. Б., Пересецкий А. А. (2013). Техническая эффективность предприятий отрасли производства резиновых и пластмассовых изделий. *Прикладная эконометрика*, 32 (4), 71–92.

Щетинин Е. И., Назруллаева Е. Ю. (2012). Производственный процесс в пищевой промышленности: взаимосвязь инвестиций в основной капитал и технической эффективности. *Прикладная эконометрика*, 28 (4), 63–84.

Aigner D., Lovell C. A. K., Schmidt P. (1977). Formulation and estimation of stochastic frontier function models. *Journal of Econometrics*, 6 (1), 21–37.

Azzalini A. (1985). A class of distributions which includes the normal ones. *Scandinavian Journal of Statistics*, 12, 171–178.

Balk B. M. (1998). *Industrial price, quantity, and productivity indices: The micro-economic theory and an application*. Boston: Kluwer Academic Publishers.

Bazrkar A., Khalilpour K. (2013). A comparative study on ranking the banks using Data Envelopment Analysis (DEA) and Stochastic Frontier Analysis (SFA) approach. *International Research Journal of Applied and Basic Sciences*, 4 (2), 302–306.

Birnbaum Z. W. (1950). Effect of linear truncation on a multinormal population. *The Annals of Mathematical Statistics*, 21 (2), 272–279.

Charnes A., Cooper W. W., Rhodes E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 2 (6), 429–444.

Din M., Ghani E., Mahmood T. (2007). Technical efficiency of Pakistan's manufacturing sector: a stochastic frontier and data envelopment analysis. *The Pakistan Development Review*, 46 (1), 1–18.

Eling M., Luhnen M. (2010). Efficiency in the international insurance industry: A cross-country comparison. *Journal of Banking and Finance*, 34 (7), 1497–1509.

Färe R., Primont D. (1995). *Multi-output production and duality: Theory and applications*. Boston: Kluwer Academic Publishers.

Farrell M. J. (1957). The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society, Series A (General)*, 120 (3), 253–290.

Farsi M., Fetz A., Filippini M. (2007). Economies of scale and scope in local public transportation. *Journal of Transport Economics and Policy*, 41 (3), 345–361.

Feng G., Serletis A. (2010). Efficiency, technical change, and returns to scale in large US banks: Panel data evidence from an output distance function satisfying theoretical regularity. *Journal of Banking and Finance*, 34 (1), 127–138.

Kumar S., Arora N. (2012). Evaluation of technical efficiency in Indian sugar industry: An application of full cumulative Data Envelopment Analysis. *Eurasian Journal of Business and Economics*, 5 (9), 57–78.

Kumbhakar S. C., Peresetsky A. A. (2013). Cost efficiency of Kazakhstan and Russian banks: Results from competing panel data models. *Macroeconomics and Finance in Emerging Market Economies*, 6 (1), 88–113.

Liu T., Li K.-W. (2012). Analyzing China's productivity growth: Evidence from manufacturing industries. *Economic Systems*, 36 (4), 531–551.

Madheswaran S., Liao H., Rath B. N. (2007). Productivity growth of Indian manufacturing sector: Panel estimation of stochastic production frontier and technical inefficiency. *The Journal of Developing Areas*, 40, 35–50.

Memon A. M., Tahir I. M. (2011). Relative efficiency of manufacturing companies in Pakistan using Data Envelopment Analysis. *International Journal of Business and Commerce*, 1 (3), 10–27.

Meeusen W., Van den Broeck J. (1977). Efficiency estimation from Cobb–Douglas production functions with composed error. *International Economic Review*, 18 (2), 435–444.

Morrison Paul C. J., Nehring R. (2005). Product diversification, production systems, and economic performance in U.S. agricultural production. *Journal of Econometrics*, 126 (6), 525–548.

O'Donnell C. J. (2008). An aggregate quantity-price framework for measuring and decomposing productivity and profitability change. *Centre for Efficiency and Productivity Analysis Working Papers WP07/2008*. University of Queensland.

O'Donnell C. J. (2011). DPIN 3.0. A program for decomposing productivity index number. The University of Queensland.

O'Donnell C. J. (2012a). An aggregate quantity framework for measuring and decomposing productivity change. *Journal of Productivity Analysis*, 38 (3), 255–272.

O'Donnell C. J. (2012b). Nonparametric estimates of the components of productivity and profitability change in U.S. agriculture. *American Journal of Agricultural Economics*, 94 (4), 873–890.

O'Donnell C. J. (2014). An economic approach to identifying the drivers of productivity change in the market sectors of the Australian economy. *Centre for Efficiency and Productivity Analysis Working Papers WP02/2014*. University of Queensland.

Rai A. (2013). Measurement of efficiency in the airline industry using Data Envelopment Analysis. *Investment Management and Financial Innovations*, 10 (1), 38–45.

Shephard R. W. (1953). *Cost and production functions*. Princeton: Princeton University Press.

Tandon K., Malhotra N. (2014). A comparative evaluation of efficiency in the Indian banking industry using Data Envelopment Analysis. *The IUP Journal of Bank Management*, 8 (2), 33–46.

Tovar B., Ramos-Real F. J., de Almeida E. F. (2011). Firm size and productivity. Evidence from the electricity distribution industry in Brazil. *Energy Policy*, 39 (2), 826–833.

Weinstein M. A. (1964). The sum of values from a normal and a truncated normal distribution. *Technometrics*, 6, 104–105.

References

Ipatova I., Peresetsky A. (2013). Technical efficiency of Russian plastic and rubber production firms. *Applied Econometrics*, 32 (4), 71–92.

Shchetynin Y., Nazrullaeva E. (2012). Effects of fixed capital investments on technical efficiency in food industry. *Applied Econometrics*, 28 (4), 63–84.

Aigner D., Lovell C. A. K., Schmidt P. (1977). Formulation and estimation of stochastic frontier function models. *Journal of Econometrics*, 6 (1), 21–37.

Azzalini A. (1985). A class of distributions which includes the normal ones. *Scandinavian Journal of Statistics*, 12, 171–178.

Balk B. M. (1998). *Industrial price, quantity, and productivity indices: The micro-economic theory and an application*. Boston: Kluwer Academic Publishers.

Bazrkar A., Khalilpour K. (2013). A comparative study on ranking the banks using Data Envelopment Analysis (DEA) and Stochastic Frontier Analysis (SFA) approach. *International Research Journal of Applied and Basic Sciences*, 4 (2), 302–306.

Birnbaum Z. W. (1950). Effect of linear truncation on a multinormal population. *The Annals of Mathematical Statistics*, 21 (2), 272–279.

Charnes A., Cooper W. W., Rhodes E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 2 (6), 429–444.

Din M., Ghani E., Mahmood T. (2007). Technical efficiency of Pakistan's manufacturing sector: A stochastic frontier and data envelopment analysis. *The Pakistan Development Review*, 46 (1), 1–18.

Eling M., Luhnen M. (2010). Efficiency in the international insurance industry: A cross-country comparison. *Journal of Banking and Finance*, 34 (7), 1497–1509.

Färe R., Primont D. (1995). *Multi-output production and duality: Theory and applications*. Boston: Kluwer Academic Publishers.

Farrell M. J. (1957). The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society, Series A (General)*, 120 (3), 253–290.

Farsi M., Fetz A., Filippini M. (2007). Economies of scale and scope in local public transportation. *Journal of Transport Economics and Policy*, 41 (3), 345–361.

Feng G., Serletis A. (2010). Efficiency, technical change, and returns to scale in large US banks: Panel data evidence from an output distance function satisfying theoretical regularity. *Journal of Banking and Finance*, 34 (1), 127–138.

Kumar S., Arora N. (2012). Evaluation of technical efficiency in Indian sugar industry: An application of full cumulative Data Envelopment Analysis. *Eurasian Journal of Business and Economics*, 5 (9), 57–78.

Kumbhakar S. C., Peresetsky A. A. (2013). Cost efficiency of Kazakhstan and Russian banks: Results from competing panel data models. *Macroeconomics and Finance in Emerging Market Economies*, 6 (1), 88–113.

Liu T., Li K.-W. (2012). Analyzing China's productivity growth: Evidence from manufacturing industries. *Economic Systems*, 36 (4), 531–551.

Madheswaran S., Liao H., Rath B. N. (2007). Productivity growth of Indian manufacturing sector: Panel estimation of stochastic production frontier and technical inefficiency. *The Journal of Developing Areas*, 40, 35–50.

Memon A. M., Tahir I. M. (2011). Relative efficiency of manufacturing companies in Pakistan using Data Envelopment Analysis. *International Journal of Business and Commerce*, 1 (3), 10–27.

Meeusen W., Van den Broeck J. (1977). Efficiency estimation from Cobb–Douglas production functions with composed error. *International Economic Review*, 18 (2), 435–444.

Morrison Paul C. J., Nehring R. (2005). Product diversification, production systems, and economic performance in U.S. agricultural production. *Journal of Econometrics*, 126 (6), 525–548.

O'Donnell C. J. (2008). An aggregate quantity-price framework for measuring and decomposing productivity and profitability change. *Centre for Efficiency and Productivity Analysis Working Papers WP07/2008*. University of Queensland.

O'Donnell C. J. (2011). DPIN 3.0. A program for decomposing productivity index number. The University of Queensland.

O'Donnell C. J. (2012a). An aggregate quantity framework for measuring and decomposing productivity change. *Journal of Productivity Analysis*, 38 (3), 255–272.

O'Donnell C. J. (2012b). Nonparametric estimates of the components of productivity and profitability change in U.S. agriculture. *American Journal of Agricultural Economics*, 94 (4), 873–890.

O'Donnell C. J. (2014). An economic approach to identifying the drivers of productivity change in the market sectors of the Australian economy. *Centre for Efficiency and Productivity Analysis Working Papers WP02/2014*. University of Queensland.

Rai A. (2013). Measurement of efficiency in the airline industry using Data Envelopment Analysis. *Investment Management and Financial Innovations*, 10 (1), 38–45.

Shephard R. W. (1953). *Cost and production functions*. Princeton: Princeton University Press.

Tandon K., Malhotra N. (2014). A comparative evaluation of efficiency in the Indian banking industry using Data Envelopment Analysis. *The IUP Journal of Bank Management*, 8 (2), 33–46.

Tovar B., Ramos-Real F. J., de Almeida E. F. (2011). Firm size and productivity. Evidence from the electricity distribution industry in Brazil. *Energy Policy*, 39 (2), 826–833.

Weinstein M. A. (1964). The sum of values from a normal and a truncated normal distribution. *Technometrics*, 6, 104–105.