

УДК 338.49/65.012.122

А.Н. Алимханова, А.А. Мицель

Многопродуктовая модель оценки эффективности безопасной деятельности предприятий

Понятие эффективности имеет важное значение в экономической науке, а на сегодняшний день наблюдается её возрастающая роль в каждом секторе экономики. Оценка эффективности предприятия дает возможность осуществить верную и выгодную стратегию распределения ресурсов, что показывает потенциальный уровень оценки. Существуют различные методы и модели оценки эффективности деятельности предприятий. В данной работе выполнена оценка эффективности деятельности предприятий методом Stochastic Frontier Analysis. Результаты работы показали, как изменится эффективность разных предприятий одной отрасли за несколько лет. Показано, что такая модель может быть использована для оценки финансовой устойчивости и прогнозирования банкротства.

Ключевые слова: многофакторная модель, эффективность, стохастический метод, банкротство, финансовая устойчивость, панельные данные.

DOI: 10.21293/1818-0442-2021-25-1-107-113

В конкурентных и динамичных рыночных условиях каждый бизнес сталкивается с высоким и низким уровнем риска. Ни один предприниматель не гарантирует, что его деятельность будет продолжаться всегда, то, что его товары или услуги будут востребованы. Довольно часто управляющие лица предприятий для достижения высокой прибыли предпринимают более рискованные действия. Другие управляющие, которые не желают рисковать и мирятся с текущей ситуацией, как правило, остаются на плаву и вынуждены покинуть рынок после того, как не выдержали конкуренцию. В связи с этим количество финансово не стабильных предприятий постоянно увеличивается. Согласно данным из Единого федерального реестра сведений о банкротстве, в 2020 г. поступило порядка 9930 сообщений о признании должника банкротом, а в 2021 г. – 10319 сообщений [1].

Предлагается подход к оценке риска потери финансовой устойчивости российских машиностроительных предприятий с использованием показателя эффективности, основанного на построении стохастической границы.

Краткий обзор литературы

Постоянно разрабатываются новые модели и методики для прогнозирования банкротства предприятий, что говорит об актуальности разработки новых подходов для оценки вероятности наступления несостоятельности предприятия.

Широкое распространение получили модели [2, 3], в которых применяется многомерный дискриминантный анализ (МДА). Эти исследования показали, что у предприятий-банкротов коэффициенты значительно отличаются от «здоровых» предприятий. В таких моделях минусом является то, что отсутствует весовой коэффициент для индикаторов, а также отсутствует итоговой коэффициент вероятности банкротства. В работе [4] используется коэффициентный метод, суть которого заключается в проведении финансового анализа предприятия. Основным недостатком метода коэффициентов является неодно-

значная интерпретация результатов, которая приводит к снижению точности диагностики банкротства, а также неучет отраслевой принадлежности.

Зарубежные модели далеко не всегда применимы в условиях российского рынка ввиду специфики организации и функционирования ряда отраслей экономики. Для успешного использования этих моделей необходима корректировка весовых коэффициентов.

Известен параметрический метод стохастического граничного анализа Stochastic Frontier Analysis (SFA) [5]. Он основан на стохастической модели производственной функции, связывающей объём выпускаемой продукции с объёмами потребляемых ресурсов. Используется несколько входных (объёмы потребляемых ресурсов) и только один выходной параметр – объём выпускаемой продукции. Предполагается, что вариация продуктивности связана как с неэффективностью деятельности, так и с «шумом», поэтому граница эффективности «погружена» в область реализации фактических результатов деятельности. При этом неэффективность распределена несимметрично, а случайная ошибка подчиняется симметричному распределению [6, 7].

Среди российских и зарубежных работ, использующих метод SFA и посвященных отдельным отраслям экономики, следует выделить работы [8–16]. Анализ, проведенный в работе [8], подтверждает применимость метода SFA для оценки эффективности товариществ собственников жилья. Авторами была выполнена модификация метода, которая заключается в том, что стандартные отклонения полунормального распределения фактора неэффективности считались зависящими от экзогенных факторов, т.е. авторы [8] предположили гетероскедастичность факторов неэффективности. Наиболее известные модели в области SFA-моделирования описаны в работе [9]. Проведено сравнение результатов оценки девяти SFA-моделей на едином массиве данных по российской бетонной и цементной промышленности. Результаты работы [9] показали, что среди вы-

бренных моделей можно выделить адекватные модели, такие как модель с четырьмя ошибками, TRUE, FE-модель и TVD-модель, так как данные модели учитывают тренд и гетерогенность. В работе [10] рассматриваются четыре модели производственного потенциала предприятий по производству и сбыту товаров хозяйственного назначения:

1) модель «logy, logL, logk, μ » может быть использована в условиях отсутствия информации о факторах неэффективности;

2) модель «logy, logL, logk, δZ » позволяет идентифицировать факторы неэффективности;

3) модель «logy, logL, logk, s» показывает, что чем больше управляемых факторов, тем меньше неустраняемая неэффективность и тем выше производственный потенциал;

4) модель «logy, logL, logk, C» учитывает общее для всех наблюдений ограничение на затраты управления факторами неэффективности.

Оценки неэффективности первых двух моделей являются завышенными. Представленный в работе [11] анализ на основе двухступенчатой методики посвящен исследованию влияния технической эффективности (ТЭ) промышленных организаций на риски их финансовой устойчивости. Полученные результаты позволяют говорить о том, что ТЭ оказывает значимое отрицательное влияние на вероятность банкротства крупных, средних и большинства малых российских промышленных предприятий.

В работе [12] представлены результаты исследования и применения экономических методов DEA и SFA для измерения эффективности финансовых субсидий для фермерских хозяйств. Полученные результаты свидетельствуют о положительном влиянии финансовых субсидий, а также о влиянии несвязных платежей на исследуемые фермы. Разработаны две динамические сетевые модели DEA и SFA для оценки взаимосвязи между бухгалтерскими и финансовыми показателями между бухгалтерскими и финансовыми показателями банковского сектора [13]. Модели позволяют не только помочь принять решения, но и наметить направления для будущих исследований.

В работе [14] приведено обоснование целесообразности применения методов DEA и SFA для оценки экологической эффективности городского воздуха в Германии. Полученные результаты подчеркивают негативное влияние загрязнителей городского воздуха на экологическую эффективность и положительное влияние осадков на эффективность.

Авторы [15] рассмотрели как экономические, так и экологические результаты лесной промышленности. Результаты показали, что между экономическими регионами Китая, за исключением Северо-Восточного Китая, нет явных различий в эффективности. Кроме того, государственная структура лесного хозяйства оказывает значительное негативное влияние на эффективность производства в лесной промышленности Китая.

В работе [16] оцениваются вариации модели неэффективности транслога, позволяющие одно-

этапно учитывать факторы, влияющие на неэффективность тепловой энергетики Индии.

Современные методы прогнозирования банкротства предприятий основываются на применении статистического метода либо на эмпирической подборке финансовых коэффициентов. При этом предполагается, что совмещение данных подходов позволит увеличить эффективность оценки деятельности предприятий.

В данной работе представлено использование метода SFA для оценки финансовой устойчивости предприятия на основе панельных данных бухгалтерской отчетности. Предложена модификация однофакторной модели SFA в многопродуктовую.

Материалы и методы исследования

Пусть выходной показатель i -го экономического объекта характеризуется p величинами y_i^k , $k = 1, \dots, p$. Тогда связь выходного k -го показателя i -го объекта y_i^k с входными финансовыми показателями x_{ij} может быть представлена выражением

$$\ln(y_i^k) = \sum_{j=1}^m \beta_j^k \ln(x_{ij}), \quad (1)$$

где m – количество предикторов (показателей хозяйственно-финансовой деятельности объекта) регрессионной модели; β_j^k – коэффициенты регрессионной модели.

Отклонение модельных от реальных данных представляет собой ошибку ε_i^k модели

$$\varepsilon_i^k = \ln(y_i^k) - \left(\sum_{j=1}^m \beta_j^k \ln(x_{ij}) \right), k = 1, \dots, p. \quad (2)$$

Представим случайную ошибку в виде

$$\varepsilon_i^k = v_i^k - u_i^k, \quad (3)$$

где v_i^k – случайная ошибка, связанная с внешними причинами, не зависящими от деятельности экономического объекта; u_i^k – случайный фактор, связанный с деятельностью предприятия, который получил название в литературе [17, 18] неэффективность деятельности.

Предположим, что случайный фактор u_i^k i -го экономического объекта, связанный с эффективностью его работы, не зависит от номера выходного показателя, т.е. $u_i^k = u_i$. Для построения модели необходимо задать вероятностные распределения случайных величин v_i^k и u_i . Таким образом, получим многофакторную модель SFA.

Пусть распределения вероятностей случайных величин v_i^k и u_i имеют вид

$$f_v(v_i^k) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_v} \cdot \exp\left(-\frac{(v_i^k)^2}{2\sigma_v^2}\right),$$

$$f_u(u_i) = \lambda \cdot e^{-\lambda u_i}, u_i \geq 0. \quad (4)$$

Здесь индекс i – это номер экономического объекта $i = 1, \dots, n$ (n – количество рассматриваемых экономических объектов); v_i^k – случайная ошибка с параметрами $M(v_i^k) = 0$, $M(v_i^k) = \sigma_v^2$ учитывает влияние внешних факторов на деятельность экономиче-

ского объекта; u_i – неотрицательная случайная ошибка с параметрами $M(u_i) = 1/\lambda$.

Величина u_i учитывает «неэффективность» работы i -го экономического объекта, а величина $\varepsilon_i^k = v_i^k - u_i$ описывает отклонение от границы производственных возможностей.

Совместная плотность вероятности случайной величины ε_i^k и u_i равна

$$f(\varepsilon_i^k, u_i) = \frac{\lambda}{\sqrt{2\pi\sigma_v}} \times \exp\left(\varepsilon_i^k \lambda + \frac{\lambda^2 \sigma_v^2}{2}\right) \times \exp\left(-\frac{(u_i + (\varepsilon_i^k + \lambda\sigma_v^2))^2}{2\sigma_v^2}\right). \quad (5)$$

Тогда совместная плотность вероятностей векторной величины ε_i и u_i равна

$$f(\varepsilon_i, u_i) = \left(\frac{\lambda}{\sqrt{2\pi\sigma_v}}\right)^p \times \exp\left(\sum_{k=1}^p \left(\varepsilon_i^k \lambda + \frac{\lambda^2 \sigma_v^2}{2}\right)\right) \times \exp\left(-\frac{\sum_{k=1}^p (u_i + (\varepsilon_i^k + \lambda\sigma_v^2))^2}{2\sigma_v^2}\right). \quad (6)$$

Найдем плотность вероятностей случайной величины ε_i

$$f(\varepsilon_i) = \int_0^\infty f(\varepsilon_i, u_i) du_i = \frac{1}{2} \left(\frac{\lambda}{\sqrt{2\pi\sigma_v}}\right)^p \times \frac{\sqrt{2\pi\sigma_v}}{\sqrt{p}} \times \exp\left(\sum_{k=1}^p \left(\varepsilon_i^k \lambda + \frac{\lambda^2 \sigma_v^2}{2}\right)\right) \times \exp\left(-\frac{\sum_{k=1}^p (\varepsilon_i^k + \lambda\sigma_v^2)^2}{2\sigma_v^2}\right) \times \left(1 - \operatorname{erf}\left(\frac{\sum_{k=1}^p (\varepsilon_i^k + \lambda\sigma_v^2)}{\sqrt{2\sigma_v}\sqrt{p}}\right)\right). \quad (7)$$

Запишем логарифмическую функцию правдоподобия

$$L(\sigma_v, \lambda, \beta) = n \cdot p \cdot \lambda + (n - np) \ln(\sigma_v) + \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^p \left(\lambda \left(\ln(y_i^k) - \sum_{j=1}^m \beta_j^k \ln(x_{ij}) \right) + \frac{\lambda^2 \sigma_v^2}{2} \right) - \frac{1}{2\sigma_v^2} \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^p \left(\lambda \left(\ln(y_i^k) - \sum_{j=1}^m \beta_j^k \ln(x_{ij}) \right) + \lambda\sigma_v^2 \right)^2 + \frac{1}{2\sigma_v^2 p} \sum_{i=1}^n \left(\sum_{k=1}^p \lambda \left(\ln(y_i^k) - \sum_{j=1}^m \beta_j^k \ln(x_{ij}) \right) + \lambda\sigma_v^2 \right)^2 + \sum_{i=1}^n \ln \left(1 - \operatorname{erf} \left(\frac{\sum_{k=1}^p \left(\ln(y_i^k) - \sum_{j=1}^m \beta_j^k \ln(x_{ij}) \right) + \lambda\sigma_v^2}{\sqrt{2\sigma_v}\sqrt{p}} \right) \right). \quad (8)$$

Максимизируя эту функцию, найдем параметры $\sigma_v, \lambda, \beta_j^k$. Далее вычислим условную плотность вероятности

$$f(u_i / \varepsilon_i) = \frac{f(u_i, \varepsilon_i)}{f(\varepsilon_i)}. \quad (9)$$

Подставим (2) и (3) в (4), получим

$$f(u_i / \varepsilon_i) = \frac{2\sqrt{p}}{\sqrt{2\pi\sigma_v}} \times \left(\frac{1}{\sqrt{\pi}} \frac{e^{-\frac{\left(\sum_{k=1}^p (\varepsilon_i^k + \lambda\sigma_v^2)\right)^2}{2\sigma_v^2 p}}}{1 - \operatorname{erf}\left(\frac{\sum_{k=1}^p (\varepsilon_i^k + \lambda\sigma_v^2)}{\sqrt{2\sigma_v}\sqrt{p}}\right)} - \frac{\sum_{k=1}^p (\varepsilon_i^k + \lambda\sigma_v^2)}{\sqrt{2\sigma_v}\sqrt{p}} \right). \quad (10)$$

Здесь вместо параметров σ_v, λ подставляем их оценки, найденные из решения задачи максимизации (8), а вместо ε_i^k подставим её оценку, вычисленную по формуле (2), в которой используем β_j^k .

Для показателя неэффективности можно получить следующее выражение:

$$u_i = M(u_i / \varepsilon_i) = \frac{\sqrt{2\sigma_v}}{\sqrt{p}} \times \left(\frac{1}{\sqrt{\pi}} \frac{e^{-\frac{\left(\sum_{k=1}^p (\varepsilon_i^k + \lambda\sigma_v^2)\right)^2}{2\sigma_v^2 p}}}{1 - \operatorname{erf}\left(\frac{\sum_{k=1}^p (\varepsilon_i^k + \lambda\sigma_v^2)}{\sqrt{2\sigma_v}\sqrt{p}}\right)} - \frac{\sum_{k=1}^p (\varepsilon_i^k + \lambda\sigma_v^2)}{\sqrt{2\sigma_v}\sqrt{p}} \right). \quad (11)$$

Показатель технической эффективности JMLS равен [6, 19]

$$T_{\text{JMLS}} = \exp(-u_i). \quad (12)$$

Показатель технической эффективности будет находиться в интервале

$$\exp(-u_i - \hat{\sigma}_i) \leq T_{\text{JMLS}} = \exp(-u_i) \leq \exp(-u_i + \hat{\sigma}_i), \quad (13)$$

где $\hat{\sigma}_i = \frac{1}{\lambda}$.

Несомненный интерес для практики представляет вероятность того, что неэффективность u_i будет не больше заданного значения (планового значения)

$$u_{pi}: P(u_i \leq u_{pi}) = \int_0^{u_{pi}} f(u_i / \varepsilon_i) du_i.$$

Тогда величину

$$R_i = 1 - P_i = 1 - \int_0^{-\ln(Tp_i)} f(u_i / \varepsilon_i) du_i, i = 1, \dots, n, \quad (14)$$

можно интерпретировать как риск недостижения планового значения эффективности $Tr_i = \exp(-up_i)$ i -м экономическим объектом. Здесь $f(u_i / \epsilon_i)$ определяется формулой (10).

Рассмотрим оценку эффективности ВС [19] $M(e^{-u_i} / \epsilon_i)$.

$$T_{BC} = M(e^{-u_i} / \epsilon_i) = \frac{e^{-\frac{2\sum_{k=1}^p(\epsilon_i^k + \lambda\sigma_v^2) + \sigma_v^2}{2p}}}{1 - \operatorname{erf}\left[\frac{\sum_{k=1}^p(\epsilon_i^k + \lambda\sigma_v^2)}{\sqrt{2}\sigma_v\sqrt{p}}\right]} \times \left(1 - \operatorname{erf}\left[\frac{\sum_{k=1}^p(\epsilon_i^k + \lambda\sigma_v^2) + \sigma_v^2}{\sqrt{2}\sigma_v\sqrt{p}}\right]\right). \quad (15)$$

Вычислим второй момент $M((e^{-u_i})^2 / \epsilon_i)$ эффективности ВС

$$M((e^{-u_i})^2 / \epsilon_i) = \frac{e^{-\frac{2\sum_{k=1}^p(\epsilon_i^k + \lambda\sigma_v^2) + 2\sigma_v^2}{2p}}}{1 - \operatorname{erf}\left[\frac{\sum_{k=1}^p(\epsilon_i^k + \lambda\sigma_v^2)}{\sqrt{2}\sigma_v\sqrt{p}}\right]} \times \left(1 - \operatorname{erf}\left[\frac{\sum_{k=1}^p(\epsilon_i^k + \lambda\sigma_v^2) + 2\sigma_v^2}{\sqrt{2}\sigma_v\sqrt{p}}\right]\right). \quad (16)$$

Вариация эффективности ВС равна

$$D_{BC} = \sqrt{M((e^{-u_i})^2 / \epsilon_i) - (M(e^{-u_i} / \epsilon_i))^2}. \quad (17)$$

В качестве риска недостижения планового значения эффективности будем использовать величину R_i :

$$R_i = \int_0^{Tr_i} f_T(T_i) dT_i, \quad (18)$$

где

$$f_T(T_i) = f\left(\frac{-\ln(T_i)}{\epsilon_i}\right) \frac{1}{T_i}. \quad (19)$$

Здесь $f\left(\frac{-\ln(T_i)}{\epsilon_i}\right)$ – условная плотность вероятностей, заданная формулой (10).

Характеристика исходных данных

Для исследования было отобрано 35 предприятий за 2011–2020 гг. (20 действующих и 15 предприятий-банкротов). В качестве выходных и входных переменных используется система показателей, которая характеризует финансово-хозяйственную

деятельность предприятий по следующим группам: оценка ликвидности, оценка финансовой устойчивости, оценка деловой активности и оценка рентабельности. В общем насчитывается около 41 коэффициента, по 6–12 в каждой группе. Были исключены дублирующие коэффициенты. Например, был исключен коэффициент оборачиваемости запасов в днях, но включен коэффициент оборачиваемости запасов в оборотах. Для дальнейшей работы необходимо было отобрать показатели, которые являются наиболее значимыми. После предварительной обработки исходных данных в качестве выходных переменных были выбраны два показателя коэффициентов:

- задолженности – показывает долю активов, сформированных в результате привлечения долгового финансирования;
- маневренности оборотного капитала – отражает долю собственных оборотных средств в собственном капитале.

Объясняющими переменными является система из 4 показателей коэффициентов:

- рентабельности,
- финансовой устойчивости,
- деловой активности,
- ликвидности.

Для проведения исследования используем информационно-эмпирическую базу, которой послужат данные из форм обязательной финансовой отчетности: «Бухгалтерский баланс» и «Отчёт о финансовых результатах». Данные были собраны из открытых источников.

Результаты исследования

В таблице приведены результаты расчетов оценок эффективности за 2011–2020 гг. для 35 предприятий.

Распределение оценок эффективности многопродуктовой моделью SFA

Значение эффективности	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
0–0,2	1	2	3	2	3	3	4	4	1	1
0,2–0,4	1	3	3	5	4	3	3	1	1	0
0,4–0,6	2	4	5	4	6	1	2	3	3	1
0,6–0,8	3	2	1	0	11	12	11	8	7	8
0,8–1	0	0	0	0	6	8	8	10	10	11

На рис. 1 представлена динамика эффективности финансово-хозяйственной деятельности обанкротившихся предприятий (n).

Наихудшими с точки зрения эффективности являются предприятия, у которых значения показателя эффективности попадают в диапазон от 0 до 0,2. Таким образом, предприятия с 1-го по 15-й подтверждают свой статус «банкрот».

На рис. 2 приведена динамика оценки эффективности действующих предприятий. В данном случае если оценка эффективности приближена к 1, это означает, что предприятие финансово устойчиво и ему не грозит банкротство.

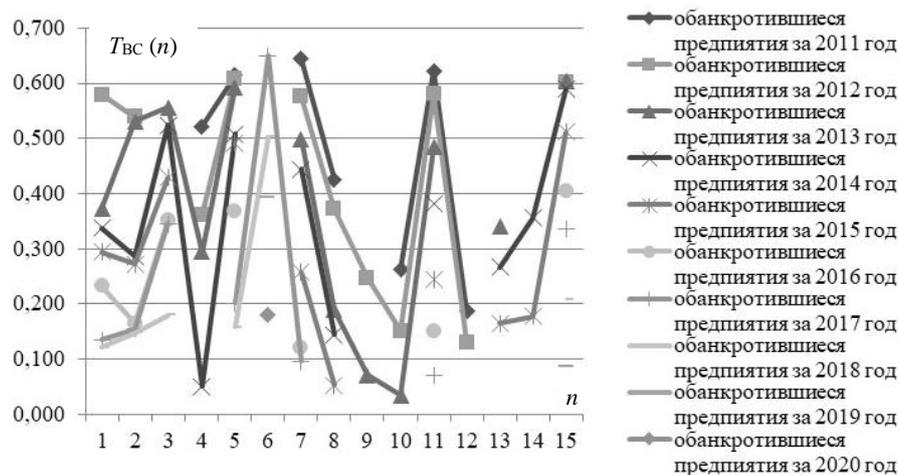


Рис. 1. Динамика оценки эффективности предприятий-банкротов

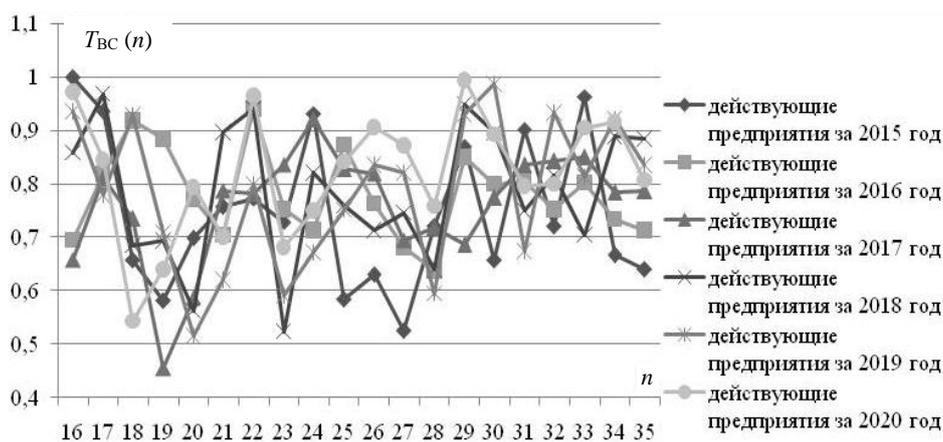


Рис. 2. Динамика оценки эффективности действующих предприятий

Заключение

Полученные результаты свидетельствуют о корректности и применимости предложенной многопродуктовой модели SFA для оценки эффективности работы предприятий. Подобные расчеты в известной литературе не выявлены. Преимущество предложенной модификации SFA-модели состоит в том, что исходная информация для расчета финансовых показателей является общедоступной. А данные по используемым ресурсам и объемам выпуска продукции, которые используются в классической модели SFA, в открытом доступе отсутствуют. Второе преимущество состоит в том, что в предлагаемой модели можно использовать несколько выходных показателей. Это позволяет повысить качество получаемых результатов, в то время как в классической SFA-модели используется только один выходной показатель.

В качестве недостатка предлагаемой модели следует указать тот факт, что для корректной работы модели необходимо использовать такие финансовые показатели, которые принимают только положительные значения.

Работа подготовлена при финансовой поддержке гранта РФФИ (проект №20-31-90100).

Литература

1. Статистический бюллетень по банкротству на 31 декабря 2021 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://fedresurs.ru/news/29f08071-a8ef-4a16-bdc2-bb7559fd1cca>, свободный (дата обращения: 05.02.2022).
2. Altman E. Corporate Financial Distress and Bankruptcy: Predict and Avoid Bankruptcy, Analyze and Invest in Distressed Debt / E. Altman, E. Hotchkiss. – Hoboken: John Wiley and Sons, 2005. – 354 p.
3. Beaver W. Financial Ratios as Predictors of Failure, Empirical Research in Accounting Selected Studies // Journal of Accounting Researc. – 1966. – Vol. 4. – P. 71–111.
4. Prediction of bankruptcy Iranian corporations through artificial neural network and probit-based analyses / A. Kasgari, M. Divsalsr, M.R. Javid, S.J. Ebrahimian // Neural Computing and Applications. – 2013. – Vol. 23, No. 3. – P. 927–936.
5. Greene W.A. A gamma-distributed Stochastic frontier model // Journal of Econometrics. – 1990. – Vol. 46. – P. 141–163.
6. Battese G. Frontier Production Functions, Technical Efficiency and Panel Data: With Application to Paddy Farmers in India / G. Battese, T. Coelli // Journal of Productivity Analysis. – 1992. – Vol. 3. – P. 153–169.
7. Eling M. Efficiency in the international insurance industry: A cross-country comparison / M. Eling, M. Luhn // J. of Banking and Finance. – 2010. – Vol. 34. – P. 1497–1509.

8. Борисова Е.И. Анализ эффективности некоммерческих ассоциаций методом стохастической границы (на примере товариществ собственников жилья) / Е.И. Борисова, А.А. Пересецкий, Л.И. Полищук // Прикладная эконометрика. – 2010. – № 4. – С. 75–101.

9. Малахов Д.И. Методы оценки показателя эффективности в моделях стохастической производственной границы / Д.И. Малахов, Н.П. Пильник // Экономический журнал Высшей школы экономики. – 2013. – № 17. – С. 660–686.

10. Афанасьев М.Ю. Модель производственного потенциала с управляемыми факторами неэффективности // Прикладная эконометрика. – 2006. – № 4. – С. 74–89.

11. Могилат А.Н. Техническая эффективность как фактор финансовой устойчивости промышленных компаний / А.Н. Могилат, И.Б. Ипатова // Прикладная эконометрика. – 2016. – № 42. – С. 5–29.

12. Galluzzo N. A technical efficiency analysis of financial subsidies allocated by the cap in Romanian farms using Stochastic frontier analysis // European Countryside. – 2020. – Vol. 12. – P. 494–505.

13. Dynamic network DEA and SFA models for accounting and financial indicators with an analysis of super-efficiency in stochastic frontiers: An efficiency comparison in OECD banking / P. Wanke, M.G. Tsionas, Z. Chen, J. Junio Moreira Antunes // International Review of Economics & Finance. – 2020. – Vol. 69. – P. 456–468.

14. The effect of urban air pollutants in Germany: eco-efficiency analysis through fractional regression models applied after DEA and SFA efficiency predictions. / V. Moutinho, M. Madaleno, P. Macedo // Sustainable Cities and Society. – 2020. – Vol. 59. – P. 2210–6707.

15. Stochastic frontier analysis of productive efficiency in China's Forestry Industry / J. Chen, Y. Wu, M. Song, Z. Zhu // Journal of Forest Economics. – 2017. – Vol. 28, No. 1. – P. 87–95.

16. Ghosh R. The effect of regulatory governance on efficiency of thermal power generation in India: A stochastic frontier analysis / R. Ghosh, V. Kathuria // Energy Policy. – 2016. – Vol. 89. – P. 11–24.

17. Coelli T. An introduction to efficiency and productivity analysis / T. Coelli, R.D.S Prasada, G.E. Battese. – Boston: Kluwer Academic, 1998. – 256 p.

18. Battese G.E. Prediction of Firm-level Technical Efficiencies: With a Generalized Frontier Production Function and Panel Data / G.E. Battese, T.J. Coelli // Journal of Econometrics. – 1988. – Vol. 38. – P. 387–399.

19. On the Estimation of Technical Inefficiency in Stochastic Frontier Production Function Model / J. Jondrow, C.A.K. Lovell, I.S. Materov, P. Schmidt // Journal of Econometrics. – 1982. – Vol. 19. – P. 233–239.

Алимханова Алия Нуржановна

Аспирантка каф. автоматизированных систем управления (АСУ) Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР)
Ленина пр-т, 40, г. Томск, Россия, 634050
ORCID: 0000-0003-0964-1659
Тел.: 8-996-937-09-27
Эл. почта: aan@asu.tusur.ru

Мицель Артур Александрович

Д-р техн. наук, проф. каф. АСУ ТУСУРа
Ленина пр-т, 40, г. Томск, Россия, 634050
ORCID: 0000-0002-2624-4383
Тел.: 8-923-430-52-90
Эл. почта: maa@asu.tusur.ru

Alimkhanova A.N., Mitsel A.A.

Multi-product model for assessing the effectiveness of the safe operation of enterprises

The concept of efficiency is very important in economic science, and today it has its increasing role in each sector of the economy. The evaluation of the efficiency of the enterprise allows to carry out a faithful and advantageous resource allocation strategy, and shows its potential level. There are various methods and models for assessing the efficiency of enterprises. This paper presents an assessment of the efficiency of enterprises by the Stochastic Frontier Analysis method. The results of the work showed how the efficiency of various enterprises of same industry will change in several years. It is shown that such a model can be used to assess the financial stability and bankruptcy prediction.

Keywords: multifactor model, efficiency, stochastic method, bankruptcy, financial stability, panel data

DOI: 10.21293/1818-0442-2021-25-1-107-113

References

1. Statistical bankruptcy bulletin on December 31, 2021. Available at: <https://fedresurs.ru/news/29f08071-a8ef-4a16-bdc2-bb7559fd1cca>, free (Accessed: February 05, 2022) (in Russ).
2. Altman E. Hotchkiss E. *Corporate Financial Distress and Bankruptcy: Predict and Avoid Bankruptcy, Analyze and Invest in Distressed Debt*. Hoboken, John Wiley and Sons, 2005, 354 p.
3. Beaver W. Financial Ratios as Predictors of Failure, Empirical Research in Accounting Selected Studies. *Journal of Accounting Research*, 1966, vol. 4, pp. 71–111.
4. Kargari A., Divsalsr M., Javid M.R., Ebrahimi S.J. Prediction of bankruptcy Iranian corporations through artificial neural network and probit-based analyses. *Neural Computing and Applications*, 2013, vol. 23, no 3, pp. 927–936.
5. Greene W.A. A gamma-distributed stochastic frontier model. *Journal of Econometrics*, 1990, vol. 46, pp. 141–163.
6. Battese G., Coelli T. Frontier Production Functions, Technical Efficiency and Panel Data: With Application to Paddy Farmers in India. *Journal of Productivity Analysis*, 1992, vol. 3, pp. 153–169.
7. Eling M., Luhn M. Efficiency in the international insurance industry: A cross-country comparison. *Journal of Banking and Finance*, 2010, vol. 34, pp. 1497–1509.
8. Borisova E., Peresetsky A., Polishchuk L. [Stochastic frontier in non-profit associations' performance assessment (the case of homeowners' associations)]. *Applied Econometrics*, 2010, no. 4, pp. 75–101.
9. Malakhov D., Pilnik N. [Methods of Estimating of the Efficiency in Stochastic Frontier Models]. *Ekonomicheskii zhurnal VSE*, 2013, no. 17, pp. 660–686 (in Russ).
10. Afanasiev M. [A Model of the Production Potential with Managed Factors of Inefficiency]. *Applied Econometrics*, 2006, no. 4, pp. 74–89 (in Russ).
11. Mogilat A. Ipatova I. [Technical efficiency as a factor of Russian industrial companies' risks of financial distress]. *Applied Econometrics*, 2016, no. 42, pp. 5–29 (in Russ).

12. Galluzzo N. A technical efficiency analysis of financial subsidies allocated by the cap in Romanian farms using Stochastic frontier analysis. *European CountrySide*, 2020, vol. 12, pp. 494–505.
13. Wanke P., Tsionas M.G., Chen Z., Junio Moreira Antunes J. Dynamic network DEA and SFA models for accounting and financial indicators with an analysis of super-efficiency in stochastic frontiers: An efficiency comparison in OECD banking. *International Review of Economics & Finance*, 2020, vol. 69, pp. 456–468.
14. Moutinho V, Madaleno M., Macedo P. The effect of urban air pollutants in Germany: eco-efficiency analysis through fractional regression models applied after DEA and SFA efficiency predictions. *Sustainable Cities and Society*, 2020, vol. 59, pp. 2210–6707.
15. Chen J., Wu Y., Song M., Zhu Z. Stochastic frontier analysis of productive efficiency in China's Forestry Industry. *Journal of Forest Economics*, 2017, vol. 28, no. 1, pp. 87–95.
16. Ghosh R., Kathuria V. The effect of regulatory governance on efficiency of thermal power generation in India: A stochastic frontier analysis. *Energy Policy*, 2016, vol. 89, pp. 11–24.
17. Coelli T, Prasada R.D.S, Battese G.E. *An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis*. Boston, Kluwer Academic, 1998, 256 p.
18. Battese G.E., Coelli T.J. Prediction of Firm-level Technical Efficiencies: With a Generalized Frontier Production Function and Panel Data. *Journal of Econometrics*, 1988, vol. 38, pp. 387–399.
19. Jondrow J., Lovell C.A.K., Materov I.S., Schmidt P. On the Estimation of Technical Inefficiency in Stochastic Frontier Production Function Model. *Journal of Econometrics* 1982, vol. 19, pp. 233–239.
-
- Aliya N. Alimkhanova**
Postgraduate student, Department of Automated Control Systems (ACS), Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics (TUSUR)
40, Lenin pr., Tomsk, Russia, 634050
ORCID: 0000-0002-2624-4383
Phone: +7-996-937-09-27
Email: aan@asu.tusur.ru
- Artur A. Mitsel**
Doctor of Science in Engineering, Professor,
Department of ACS, TUSUR
40, Lenin pr., Tomsk, Russia, 634050
ORCID: 0000-0002-2624-4383
Phone: +7-923-430-52-90
Email: maa@asu.tusur.ru