

Наталія Р. Полуектова, Владислава М. Шагарова
**ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ
ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ПІДПРИЄМСТВ НА ОСНОВІ
АНАЛІЗУ СТОХАСТИЧНОЇ ГРАНИЦІ**

У статті наведено підхід до оцінювання ефективності використання інформаційних систем управління ресурсами підприємств з використанням аналізу стохастичної границі. Підхід реалізовано для вибірки з 20 найбільших машинобудівних компаній України. Проаналізовано ефективність використання комп'ютерного капіталу, який оцінено через розмір нематеріальних активів компанії.

Ключові слова: ERP-система; метод стохастичної границі; функція Кобба-Дугласа. Форм. 17. Рис. 2. Табл. 1. Літ. 11.

Наталья Р. Полуэктова, Владислава Н. Шагарова
**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ПРЕДПРИЯТИЯ
НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА СТОХАСТИЧЕСКОЙ ГРАНИЦЫ**

В статье приведен подход к оценке эффективности использования информационных систем управления ресурсами предприятия с использованием анализа стохастической границы. Подход реализован для выборки из 20 крупнейших машиностроительных компаний Украины. Проанализирована эффективность использования компьютерного капитала, который оценен через размер нематериальных активов компании.

Ключевые слова: ERP-система; метод стохастической границы; функция Кобба-Дугласа.

Nataliya R. Poluektova¹, Vladyslava N. Shagarova²
**ESTIMATION OF ERP SYSTEMS EFFICIENCY BASED
ON THE STOCHASTIC FRONTIERS ANALYSIS**

The article presents an approach to assessment of information system for enterprise resource management efficiency using the stochastic frontier analysis. The approach is realized for 20 largest machine-building companies in Ukraine. The computer capital was analyzed through the size of intangible assets of a company.

Keywords: ERP-system; stochastic frontier; Cobb-Douglas function.

Постановка проблеми. В останні десятиріччя використання інформаційних систем комплексного управління ресурсами великих та середніх підприємств, які об'єднані терміном ERP (enterprise resource planning), є необхідною умовою ефективного менеджменту, що дозволяє підтримувати конкурентоспроможність та розвиток компаній.

Під час промислової експлуатації такої інформаційної системи виникають (або не виникають) ефекти, які повинні відображатись на фінансових результатах діяльності підприємства.

Дослідження ефектів, які отримують компанії після впровадження ERP-систем, проводилися Б. Калдвеллом [5], а пізніше – А. Мадапуши [9] та ін. Ці праці зосереджені на концептуальних, як правило, за оснований на опитуванні учасників проектів, засадах щодо впливу окремих управлінських, технологічних, організаційних або інших факторів на досягнення запланованих

¹ Zaporizhzhya Institute of Economics and Information Technology, Ukraine.

² Zaporizhzhya Institute of Economics and Information Technology, Ukraine.

результатів. У них обговорюються терміни «ІТ» та «ІS можливості», які трактуються як технологічний та управлінський потенціал, що збільшується при впровадженні інформаційних систем та дозволяє підвищувати якість управління. Ці категорії розподіляються на більш конкретні: ІТ-інфраструктура, ІТ-ресурси працівників та ІТ-нематеріальні активи, які розглядаються з точки зору якісних та кількісних показників, що дозволяє вибудовувати адекватну систему управління використання системи.

Багато авторів досліджень постімплементаційного періоду життєвого циклу ERP-систем основну увагу приділяють критичним управлінським факторам успіху або ризику систем, виділяючи серед них для цього етапу відповідність бізнес-процесів та контролю конфігурацій, пріоритети в інвестуванні, управління даними, контроль архітектури, слідкування стандартам, навчання та підтримка користувачів.

Але кількісна оцінка ефектів використання ERP-систем пов'язана зі значними складнощами. Вони виникають у зв'язку з кількісною оцінкою витрат на функціонування системи, оцінкою ефектів, визначенням вузьких місць у функціонуванні, прийняттям інвестиційних рішень щодо розвитку або утилізації системи або її складових. Проблеми розрахунку традиційних показників ефективності, пов'язані з співставленням витрат та результатів, не дозволяють розглядати загальну ефективність інформаційної системи підприємства без порівняння її з аналогічними показниками інших подібних підприємств. Економетричний підхід до оцінки технічної ефективності складних систем може бути реалізований як за допомогою непараметричних методів, одним з яких є DEA, так і за допомогою параметричних методів, варіантами яких є метод стохастичного граничного аналізу (stochastic frontier analysis – SFA), метод без специфікації розподілу (distribution-free approach – DFA) або метод щільної границі (thick frontier approach – TFA).

Аналіз останніх публікацій. А. Фарелл [7], досліджуючи технічну ефективність, започаткував розвиток параметричних методів граничного аналізу, які пов'язані з використанням граничної виробничої функції:

$$y^i = f(\beta x^i) \varepsilon^i, \quad (1)$$

де ε^i – це рівень неефективності об'єкту, $0 \leq \varepsilon^i \leq 1$. Якщо $\varepsilon^i = 1$, об'єкт функціонує максимально ефективно.

Для оцінки параметрів β використовувались методи математичного програмування, які дозволяли оцінити їх, розв'язуючи задачу мінімізації відхилень теоретичного значення виробничої функції від її фактичного значення за умови $y^i \leq f(\beta x^i)$.

Через існування викидів у вхідних даних частка значень могла знаходитись вище розрахованої межі. Для того, щоб оцінити цю долю та її статистичні характеристики, П. Шмідтом [11] була запропонована адитивна модель виду:

$$y_i = f(\beta x_i) + \varepsilon_i, \quad (2)$$

де $\varepsilon_i \leq 0$.

Але практичне застосування цієї моделі з використанням методу максимальної правдоподібності було обмежено невиконанням умов регулярності

для забезпечення спроможності та асимптотичної нормальності оцінок методу [2].

Метод стохастичного граничного аналізу запропоновано в працях [3; 10], далі його було розвинено та докладно описано у праці [8]. У практиці аналізу технічної ефективності складних економічних об'єктів метод застосовувався для аналізу ефективності російських банків, для аналізу ефективності некомерційних об'єднань (на прикладі діяльності житлових співтовариств), діяльності міжнародних портів та ін. задач.

Методика SFA основана на гіпотезі про те, що неефективність розподілена несиметрично, тоді як випадкова помилка відповідає симетричному розподілу. Для описування залежності між результатом діяльності об'єкта та факторами ефективності використовуються різні модифікації виробничої функції, зазвичай функція Кобба-Дугласа або транслогарифмічна функція.

Модель SFA з використанням функції Кобба-Дугласа може бути представлена наступним чином:

$$\ln(y^i) = \beta X^i + v^i - u^i, i \in [1, N], \quad (3)$$

де y^i – вихідний показник ефективності підприємства i ; X^i – вектор, елементи якого є натуральними логарифмами значень факторів ефективності для підприємства i , $X^i = \{1, \ln(x_1^i), \ln(x_2^i), \dots, \ln(x_k^i)\}$; β – вектор параметрів моделі, які будуть оцінені; v^i – випадкова симетрично розподілена помилка; u^i – несиметрично розподілена помилка, яка є мірою неефективності. Вважається, що випадкові складові v^i та u^i розподілені незалежно одна від одної, причому, пропонується використовувати для v^i симетричний нормальний розподіл, а для u^i – експоненційну або зрізану в нулі нормальну функцію розподілу.

Таким чином, детермінована межа виробничих можливостей для описаних варіантів виробничої функції визначається як: $f(\beta X^i)$, стохастична межа дорівнює: $f(\beta X^i) \exp(v^i)$, а $\varepsilon^i = \exp(-u^i)$.

Оцінювання параметрів моделі виконується методом максимальної правдоподібності в припущенні, що складова u^i може мати напівнормальний, експоненційний або зрізаний в нулі нормальний розподіл.

Метод специфікації без розподілу (DFA) відрізняється від SFA тим, що потребує визначення середньої ефективності для кожного об'єкта оцінювання за певний період часу, але при цьому помилка неефективності не може бути відокремлена від випадкової помилки. Припускається, що ефективність постійна в часі, а середня оцінка випадкової помилки за період наближається до нуля.

Метою дослідження є обґрунтування доцільності та можливості використання параметричного граничного аналізу для оцінки ефективності використання інформаційних систем класу ERP.

Основні результати дослідження. Для оцінки ефективності використання інформаційних систем на підприємствах пропонується використовувати метод стохастичного граничного аналізу. При цьому складова v_i може трактуватись як вплив зовнішніх факторів, на які не може впливати менеджмент під-

приємства, а u_i – власне оцінка неефективності використання інформаційної системи.

Розглянемо перший варіант реалізації моделі, коли складова неефективності v розподілена за нормальним законом: $v_i \sim \text{i.i.d.N}(0, \sigma_v^2)$, а складова неефективності u – за напівнормальним законом: $u_i \sim \text{i.i.d.N}^+(0, \sigma_u^2)$, обидві складові розподілені незалежно.

Розглянемо функцію Кобба-Дугласа виду:

$$\ln(y_i) = \alpha + \beta \ln(x_i) + \varepsilon_i, \quad (4)$$

де y_i – показник доходу компанії i ; x_i – показник, який характеризує комп'ютерний капітал компанії i , а $\varepsilon_i = v_i - u_i$.

Оцінка неефективності компанії щодо використання комп'ютерного капіталу виходить з того, що:

$$f(u) = \frac{2}{\sqrt{2\pi\sigma_u}} \exp\left(-\frac{u^2}{2\sigma_u^2}\right), \quad f(v) = \frac{2}{\sqrt{2\pi\sigma_v}} \exp\left(-\frac{v^2}{2\sigma_v^2}\right). \quad (5)$$

Враховуючі незалежність розподілу складових неефективності, загальна щільність функції розподілу є такою:

$$f(u, v) = \frac{2}{2\pi\sigma_v\sigma_u} \exp\left(-\frac{v^2}{2\sigma_v^2} - \frac{u^2}{2\sigma_u^2}\right), \quad (6)$$

а з врахуванням виразу

$$\varepsilon = v - u, \quad (7)$$

отримаємо:

$$f(u, v) = \frac{2}{2\pi\sigma_v\sigma_u} \exp\left(-\frac{u^2}{2\sigma_v^2} - \frac{(\varepsilon + u)^2}{2\sigma_u^2}\right). \quad (8)$$

Гранична щільність розподілу визначається шляхом інтегрування за параметром u :

$$f(\varepsilon) = \int_0^{\infty} f(u, \varepsilon) du = \frac{2}{\sigma} \phi\left(\frac{\varepsilon}{\sigma}\right) \Phi\left(-\frac{\varepsilon\lambda}{\sigma}\right), \quad (9)$$

де $\sigma = \sqrt{\sigma_v^2 + \sigma_u^2}$, $\lambda = \frac{\sigma_u}{\sigma_v}$, $\phi(\cdot)$, $\Phi(\cdot)$ – відповідно щільність та функція нормального сукупного розподілу.

У цьому випадку, згідно з [4], ефективність досліджуваного фактору виробництва, яка забезпечується внутрішніми, залежними від менеджменту, факторами, визначається за співвідношеннями:

$$TE_i = \exp\left\{-E(\exp(u_i) | \varepsilon_i)\right\}, \quad (10)$$

$$E(\exp(u_i) | \varepsilon_i) = \left[\frac{1 - \Phi\left(\frac{\sigma_* - \mu_*}{\sigma_*}\right)}{1 - \Phi\left(-\frac{\mu_*}{\sigma_*}\right)} \right] \exp\left(-\mu_* + \frac{1}{2}\sigma_*^2\right), \quad (11)$$

де $\mu_* = -\varepsilon\sigma_u^2 / \sigma_v^2$; $\sigma_*^2 = \sigma_v^2\sigma_u^2 / \sigma$.

Розглянемо другий варіант, коли складова неефективності v розподілена за нормальною функцією, а складова u – за експоненційною.

Функції щільності розподілу для складових v та u відповідно дорівнюють:

$$f(u) = \frac{2}{\sigma_u} \exp\left(-\frac{u}{2\sigma_u}\right), \quad f(v) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}\sigma_v} \exp\left(-\frac{v^2}{2\sigma_v^2}\right). \quad (12)$$

Сукупна функція розподілу з врахуванням співвідношення (7):

$$f(u, \varepsilon) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}\sigma_v\sigma_u} \exp\left(-\frac{u}{\sigma_u} - \frac{(\varepsilon + u)^2}{2\sigma_v^2}\right). \quad (13)$$

Після інтегрування по u знову отримуємо граничну щільність розподілу:

$$f(\varepsilon) = \int_0^{\infty} f(u, \varepsilon) du = \frac{2}{\sigma} \phi\left(\frac{\varepsilon}{\sigma}\right) \Phi\left(-\frac{\varepsilon\lambda}{\sigma}\right), \quad (14)$$

але в цьому випадку:

$$TE_i = \exp\left\{-E(\exp(u_i) | \varepsilon_i)\right\}, \quad (15)$$

$$E(\exp(u_i) | \varepsilon_i) = \tilde{\mu}_i + \sigma_v \left[\frac{\phi(-\tilde{\mu}_i / \sigma_v)}{\Phi(\tilde{\mu}_i / \sigma_v)} \right], \quad (16)$$

де $\tilde{\mu} = \varepsilon - \left(\frac{\sigma_v^2}{\sigma_u}\right)$.

Окрему проблему при використанні моделі SFA для аналізу порівняної ефективності використання підприємствами України комп'ютерного капіталу становить складність визначення розміру цього капіталу. Нормативи подання статистичної звітності в нашій країні не вимагають виокремлення цієї складової активів (на відміну від, наприклад, Норвегії, де компанії надають деталізовані дані про річні витрати на утримання інформаційних систем). Тому для оцінки комп'ютерного капіталу було використано дані відкритої звітності з сайту SMIDA.gov.ua за 20 підприємствами з вибірки з 36 найбільших машинобудівних українських підприємств за 2013 р., в додатках до річних балансів яких було вказано, що сума нематеріальних активів більшою частиною складається з вартості програмного забезпечення інформаційних систем. Таким чином в моделі 4 розглядалась залежність чистого доходу компаній від розміру комп'ютерного капіталу, який був оцінений через розмір нематеріальних активів.

Етапами аналізу стали:

1. Вибірковий лінійний коефіцієнт кореляції (0,568) виявив наявність прямої залежності між досліджуваними факторами.
2. На основі рангового критерію Спірмена перевірена гіпотеза про відсутність гетероскедастичності, яка була підтверджена.
3. За допомогою пакета статистичного аналізу STATA 11.0 було зроблено спробу розрахунку показників граничної моделі в припущенні, що компонента u має напівнормальний розподіл. Ця спроба не була вдалою через зацікловування процесу оптимізації, який спирається на метод максимальної правдоподібності.
4. За допомогою пакета статистичного аналізу STATA 11.0 було зроблено спробу розрахунку показників граничної моделі в припущенні, що компонен-

та u має експоненційний розподіл. Ця спроба була вдалою та дозволила отримати необхідні для подальшої оцінки значення параметрів α , β , σ_u , σ_v .

5. Виконані розрахунки показників ефективності за співвідношенням (7), які дозволили проранжувати підприємства за ступенем ефективності використання ними комп'ютерного капіталу.

Результати розрахунку експоненційної моделі в пакеті STATA наведені на рис. 1, побудова границі ефективності представлена на рис. 2, докладні результати використання методики наведено в табл. 1.

```
. frontier var2 var1, distribution(exponential)
Iteration 0: log likelihood = -22.935429 (not concave)
Iteration 1: log likelihood = -22.36824 (not concave)
Iteration 2: log likelihood = -22.156286
Iteration 3: log likelihood = -22.107669
Iteration 4: log likelihood = -22.107263
Iteration 5: log likelihood = -22.107263

Stoc. frontier normal/exponential model      Number of obs   =      20
Log likelihood = -22.107263                    wald chi2(1)    =      20.26
                                                Prob > chi2     =      0.0000
```

var2	Coef.	Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]
var1	.4706006	.1045473	4.50	0.000	.2656917 .6755094
_cons	10.21053	.8645341	11.81	0.000	8.51607 11.90498
/lnsig2v	-1.777936	.763896	-2.33	0.020	-3.275145 -.2807273
/lnsig2u	-.7286863	.7404067	-0.98	0.325	-2.179857 .7224843
sigma_v	.4110798	.1570111			.1944515 .8690422
sigma_u	.6946528	.2571628			.3362406 1.435111
sigma2	.6515291	.3110924			.0417992 1.261259
lambda	1.689825	.3638669			.9766589 2.402991

Likelihood-ratio test of sigma_u=0: $\text{chibar2}(01) = 6.97$ Prob>=chibar2 = 0.004

Рис. 1. Результати розрахунку експоненційної граничної моделі в середовищі STATA 11.0, авторська розробка

На підставі отриманих результатів побудовано границю ефективності (рис. 2).

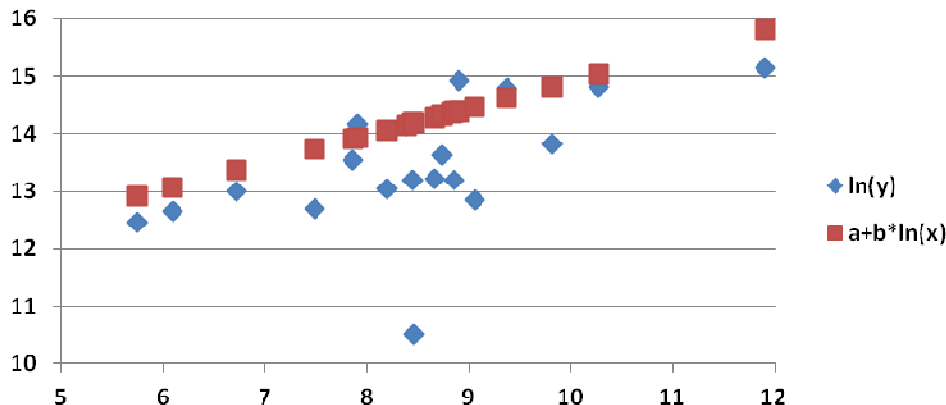


Рис. 2. Побудова границі ефективності, авторська розробка

Використовуючи статистичні дані, отримано результати розрахунку експоненційної граничної моделі в середовищі STATA 11.0, на підставі чого проведено аналіз ефективності використання комп'ютерного капіталу для 20 великих машинобудівних підприємств України (табл. 1).

Таблиця 1. Результати аналізу ефективності використання комп'ютерного капіталу для 20 великих машинобудівних підприємств України, авторська розробка

Підприємство	$\ln(y)$	$\ln(x)$	$E(u_i \varepsilon_i)$	$\exp\{-E(u_i \varepsilon_i)\}$	Ранг
Старокраматорський машинобудівний завод	5,7430	12,4553	0,4163	0,6595	10
ПО Техна	6,0913	12,6639	0,3950	0,6737	9
Завод ім. Фрунзе	6,7190	13,0034	0,3752	0,6872	7
Дружківський машинобудівний завод	7,4877	12,6994	0,8129	0,4436	16
СКФ Україна	7,8617	13,5312	0,3792	0,6844	8
Стахановський вагонобудівний завод	7,9084	14,1619	0,2023	0,8168	2
Харківський підшипниковий завод	8,1964	13,0473	0,8001	0,4493	15
Енергомашспецсталь	8,3857	14,1386	0,2560	0,7741	5
Отіс	8,4459	13,1905	0,7779	0,4594	13
Донецькгормаш	8,4596	10,5138	3,4285	0,0324	20
Харківський машинобудівний «Світ шахтаря»	8,6587	13,2164	0,8422	0,4307	17
Норд	8,7313	13,6193	0,5542	0,5745	12
Турбоатом	8,8238	14,3701	0,2495	0,7792	4
Харківський тракторний завод ім. Орджонікідзе	8,8588	13,2046	0,9384	0,3912	18
Луганськтепловоз	8,8967	14,9269	0,1578	0,8540	1
Полтавський турбомеханічний завод	9,0623	12,8524	1,3739	0,2531	19
НКМЗ	9,3721	14,7996	0,2117	0,8092	3
Сумської «Насосенергомаш»	9,8167	13,8242	0,7869	0,4552	14
ЗТР	10,2757	14,8152	0,3202	0,7260	6
Крюковський вагон завод	11,9009	15,1424	0,5326	0,5871	11

Таким чином було визначено, що, за цією методикою, найбільш ефективно комп'ютерний капітал використовується підприємством «Луганськтепловоз», а, найменш – компанією «Донецькгормаш».

Висновки та перспективи подальших досліджень. На жаль, при всій об'єктивності результатів, економетричних методів оцінювання загальної ефективності використання інформаційної системи на підприємстві, вони не наближають до визначення причин цієї неефективності, відтак, не дозволяють розробляти загальні стратегічні заходи з її підвищення. Подальший напрямок досліджень може ґрунтуватись на працях С.А. Айвазяна та М.Ю. Афанасьєва [1], Д. Депринса і Л. Симара [6], які пропонують розглядати в структурі показника неефективності u окремі складові, які можуть бути знижені завдяки управлінським діям. Наприклад, для зниження неефективності використання комп'ютерного капіталу можуть бути підвищені показники навчання

персоналу або знижені показники вартості володіння системою. Результати таких дій можуть бути оцінені через використання моделей виду:

$$\bar{y}_i = f(\bar{x}_i, \bar{\beta}) + v_i - (\bar{\gamma}z_i + \xi_i), \quad (17)$$

де $\bar{\gamma}$ – вектор параметрів, що оцінюються; \bar{z}_i – значення факторів ефективності, які залежать від управлінських дій та можуть бути оцінені кількісно.

Цей напрям є дуже перспективним для подальшого аналізу ефективності використання комп'ютерного капіталу та визначення мір з її підвищення, однак основною проблемою залишається відсутність деталізованих статистичних даних по підприємствах.

1. Айвазян С.А., Афанасьев М.Ю. Оценка экономической эффективности перехода к достижимому потенциалу // Прикладная эконометрика. – 2009. – №3. – С. 43–55.
2. Носко В.П. Эконометрика: Учебник. – М.: Дело, РАНХиГС, 2011. – Кн. 2: Ч. 3, 4. – 576 с.
3. Aigner, D.J., C.A.K. Lovell, P. Schmidt (1977). Formulation and Estimation of Stochastic Frontier Production Function Models. *Journal of Econometrics*, Vol. 6.
4. Battese, G., Coelli, E. (1995). A Model for Technical Inefficiency Effects in a Stochastic Frontier Production Model for Panel Data. *Empirical Economics*, 20: 325–332.
5. Caldwell, B. (1988). *New It Agenda*. Information week, 711: 30.
6. Deprins, D., Simar, L. (1989). Estimating Technical Inefficiencies with Corrections for Environmental Conditions with an Application to Railway Companies. *Annals of Public and Cooperative Economics*, 60: 81–102.
7. Farrell, M.J. (1957). The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society, Series A*, 120: 253–281.
8. Kumbhakar, S.C., Lovell, C.A.K. (2003). *Stochastic Frontier Analysis*. Cambridge University Press // books.google.ru.
9. Madapusi, A.K. (2008). *Post-Implementation Evaluation of Enterprise Resource Planning*. Doctoral Dissertation, University of North Texas. 295 p.
10. Meeusen, W., van den Broeck J. (1977). Efficiency Estimation from Cobb-Douglas Production Functions With Composed Error. *International Economic Review* No. 18-1977.
11. Schmidt, P. (1976). On the statistical estimation of parametric frontier production functions. *Review of Economics and Statistics*, 58: 238–239.

Стаття надійшла до редакції 28.01.2015.