

Демиденко М. А.
кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри електронної економіки
та економічної кібернетики
Національного технічного університету
«Дніпровська політехніка»

Demydenko Mykhailo
Cand. Sc. (Tech.),
Assoc. Pr. Department of Electronic Economics
and Economic Cybernetics
Dnipro University of Technology

ЕКОНОМІКО-МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ НАУКОВО ОБҐРУНТОВАНОГО ВИБОРУ СИСТЕМИ ERP ДЛЯ УПРАВЛІННЯ ПІДПРИЄМСТВАМИ

Анотація. У роботі пропонуються теоретичні і практичні рекомендації щодо розв'язання економічної проблеми науково обґрунтованого вибору систем ERP (Enterprise Resource Planning) та їх складу для підприємств України із застосуванням економіко-математичного моделювання. Теоретичною і методологічною основою дослідження є фундаментальні положення сучасної економічної теорії, наукові праці вчених. У процесі дослідження використовувалися такі методи: економіко-математичного моделювання (для розв'язання багатокритеріальної оптимізаційної задачі пошуку оптимальних варіантів впровадження автоматизованих інформаційних систем для управління промисловими підприємствами); графічний (для наочного представлення результатів дослідження); аналітичний і структурно-логічний (у процесі оптимізації вибору ERP за аналітично-ієрархічним підходом). Запропоновано комплексний підхід для знаходження в умовах невизначеності з використанням моделювання такого складу ERP, який задовольняє й узгоджує вимоги до системи як окремих підрозділів служб, так і всього підприємства у цілому. Розроблено метод оптимального багатокритеріального вибору ERP-системи в умовах невизначеності, що дає змогу підприємству здійснювати вибір ERP-систем за власними критеріями оптимальності.

Ключові слова: метод, модель, оптимізація, критерій, ERP, експертний аналіз, SAP.

Вступ та постановка проблеми. Широке застосування і постійне вдосконалення інформаційних технологій, наявність великої кількості ERP-систем на ринку, а також відсутність у осіб, що приймають рішення, технічних знань і досвіду для оптимального вибору програмного забезпечення автоматизованої системи управління роблять необхідним розроблення методів і засобів вибору відповідних програмних продуктів із безлічі аналогів. Вибір того, яку ERP використовувати, є складним рішенням, яке має значні економічні наслідки. Завдання вибору вимагає знаходження компромісу між технічними характеристиками, функціональними можливостями і фінансовими питаннями і може бути сформульоване як багатокритеріальна проблема прийняття рішень. Тому необхідне розроблення математичних методів і алгоритмів, які дадуть змогу науково обґрунтовано знаходити оптимальний варіант впровадження автоматизованої системи управління на підприємстві

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вирішенням проблем вибору інформаційних систем для впровадження за допомогою методів математичного моделювання займалися багато вчених, зокрема E. Bernroider [1], Н.А. Длугунович [2], К.Ф. Ковальчук [3], Т. Сааті [4]. У працях цих авторів доведено доцільність використання економіко-математичного моделювання під час пошуку оптимального вибору. Критерії прийняття рішення пропонується вибирати відповідно до вимог підприємства і з урахуванням його економічної та технічної ситуації. Існуюча сьогодні методологія евристичного прийняття рішень по багатокритеріальному вибору систем ERP в умовах невизначеності є досить складною для застосування на підприємствах і дає змогу знайти лише раціональний варіант замість оптимального варіанту впровадження системи.

Метою даної роботи є дослідження теоретичних основ та прикладних проблем під час управління інноваційною діяльністю підприємств щодо впровадження або модернізації ERP. Необхідно:

- розробити економіко-математичний підхід, який дає змогу знайти оптимальний варіант впровадження інформаційної системи з урахуванням багатьох критеріїв, які сформулюються усіма залученими сторонами, які впроваджують систему у виробництва підприємства;

- розробити алгоритм прийняття рішень, який можливо реалізувати в прикладному програмному забезпеченні.

Результати дослідження.

Сучасні підприємства України впроваджують або оновлюють програмне забезпечення систем управління виробництвом (ERP), тому перед ними постає проблема вибору такої системи, яка найкраще задовольняє вимоги підприємства. Керівництво підприємства постає перед умовами невизначеності і складного вибору між багатьма критеріями впровадження системи на підприємстві, їх узгодження і реалізації у практичній виробничій діяльності. Існує велика кількість систем ERP та їх конфігурацій, тому слід звизити коло систем, які можна всебічно проаналізувати.

Вибір системи є багатокритеріальним завданням із таким критеріями.

Завершеність: програмне забезпечення повинно інтегрувати всі аспекти ведення виробничого бізнесу – від закупівлі матеріалів і найму робочої сили до системи продажів готової продукції.

Зручність і простота в роботі: впроваджувана система повинна бути найсучаснішою на даний момент. Робота із системою повинна бути інтуїтивно зрозумі-

лою співробітникам. Це полегшить упровадження та навчання персоналу.

Настроюваність: система повинна давати змогу створювати нові вхідні і вихідні документи і настройки без участі розробника системи.

Гнучкість: програмне забезпечення повинно адаптуватися до умов виробництва підприємства. ERP не повинна вимагати зміни структури підприємства або режиму роботи підрозділів.

Інтегрованість: зміни, внесені в одній точці системи, мають автоматично оновитися в усіх модулях системи.

Вартість: розроблення і супровід системи повинні вкладатися в бюджет підприємства.

Технічні вимоги системи: важливо вибрати ERP, яка не залежить від апаратного забезпечення, операційної системи і системи баз даних.

Репутація і можливості виробника: частка ринку постачальника, відгуки клієнтів, доступність консультантів, приклади впроваджених систем, інфраструктура підтримки і супроводження впровадженої системи.

Післяпродажна підтримка ERP і навчання: постачальник ERP повинен забезпечити навчання користувачів, а також супроводження програмного продукту після впровадження на підприємстві.

Резервування системи: для забезпечення безпеки та надійності систем ERP виконується резервне копіювання баз даних.

Особливості звітності та аналізу: крім стандартних звітів, команда повинна бути в змозі здійснювати свої власні інструменти звітності та аналізу і складати їх у систему для подальшого використання.

Інтеграція з іншими програмами: модулі ERP повинні бути інтегровані й забезпечувати безперервний обмін даними з будь-якими модулями інших виробників чи систем.

Інтернет-інтеграція: програмне забезпечення повинно підтримувати електронний бізнес, електронну комерцію та електронний обмін транзакціями.

Робота в реальному часі: модулі ERP мають функціонувати в реальному часі, підтримувати пакетну обробку інформації і забезпечувати безперебійне цілодобове обслуговування виробничого процесу.

Варіанти фінансування: варіанти розрахунків за інвестиції у систему, що впроваджується, та ліцензії на використання програмного, технічного забезпечення, хмарних просторів даних.

Під час вибору системи ERP та структури і конфігурації модулів, що впроваджуються, необхідно взяти до уваги всю множину можливих критеріїв.

Для застосування оптимізаційних алгоритмів критеріїв, які визначають якісні характеристики системи, мають бути подані як кількісні показники з використанням методу експертних оцінок.

Досвід експлуатації систем указує, що для підприємств, які впроваджують ERP, найважливішим критерієм є вартість системи. Важливість інших критеріїв варіюється залежно від вимог конкретних підприємств. Місце в ієрархії критеріїв може змінюватися від одного підприємства до іншого. Структура важливості критеріїв для вибору системи та її конфігурації може змінюватися у межах одного підприємства залежно від того, яким підрозділом оцінюється ця ієрархія. Крім того, ієрархія критеріїв змінюється у часі. Таким чином, для того щоб зробити науково і економічно обґрунтовані висновки щодо вибору системи, необхідно виконати оцінку різних варіантів упровадження ERP і серед них вибрати оптимальний. Як правило, на підприємствах такий вибір виконується

вручну і містить у собі значну питому вагу суб'єктивних оцінок, які в кінцевому підсумку дають не оптимальне, але раціональне рішення, яке може виглядати привабливим, але не є найкращим, оптимальним. Тому виникає необхідність у розробленні математичних формальних процедур, які б могли бути запрограмовані і реалізовані в програмному забезпеченні, щоб дати можливість розраховувати об'єктивні, оптимальні оцінки для керівництва підприємства в складних задачах інвестування в нову ERP або модернізацію існуючої системи.

На ринку України представлено широкий спектр систем, які відносяться до класу ERP: SAP, Sap Business One, ORACLE, «ІТ-підприємство», «Парус», «ІС: Підприємство», Vaan ERP-Infor, GrossBee, «Галактика» [5; 6].

Розглянемо економіко-математичну модель багатокритеріальної оптимізації.

Задача багатокритеріальної оптимізації включає множину n розв'язків, множину цільових функцій f_i $i = 1, \dots, k$ і множину m обмежень. Цільові функції й обмеження є функціями змінних розв'язку. Метою оптимізації є знаходження максимуму

$$\bar{y} = f(x) = (f_1(x), f_2(x), \dots, f_k(x))$$

$$\text{за обмежень } e(x) = (e_1(x), e_2(x), \dots, e_m(x)) < \Omega$$

$$\bar{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n) \in X$$

$$\bar{y} = (y_1, y_2, \dots, y_k) \in Y$$

де \bar{x} – вектор розв'язків, \bar{y} – вектор цільових функцій, X – простір припустимих розв'язків, Y – простір цільових функцій. Обмеження $e(x) < \Omega$, визначають множину можливих розв'язків. Множина припустимих рішень X_f визначається як множина векторів розв'язків x , що задовольняють обмеженням

$$X_f = \{x \in X \mid e(x) \leq \Omega\}.$$

Область допустимості в просторі цільових функцій має вигляд:

$$Y_f = f(X_f) = \bigcup_{x \in X_f} \{f(x)\}$$

Оптимальне значення багатокритеріальної задачі $f(x)$ відповідає найбільшому значенню поверхні, створеної трьома критеріями на рис. 1.

У разі оптимізації за багатьма критеріями множина X_f частково визначена. Розв'язок, представлений точкою В (рис. 2), кращий, ніж розв'язок для точки С. У такий

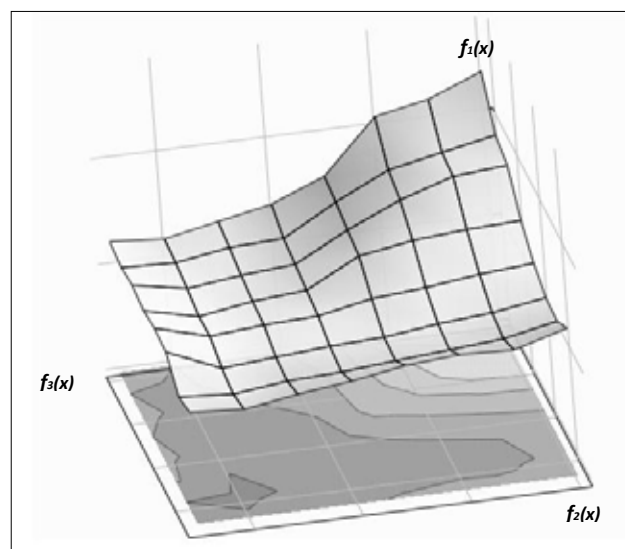


Рис. 1. Взаємозв'язок критеріїв

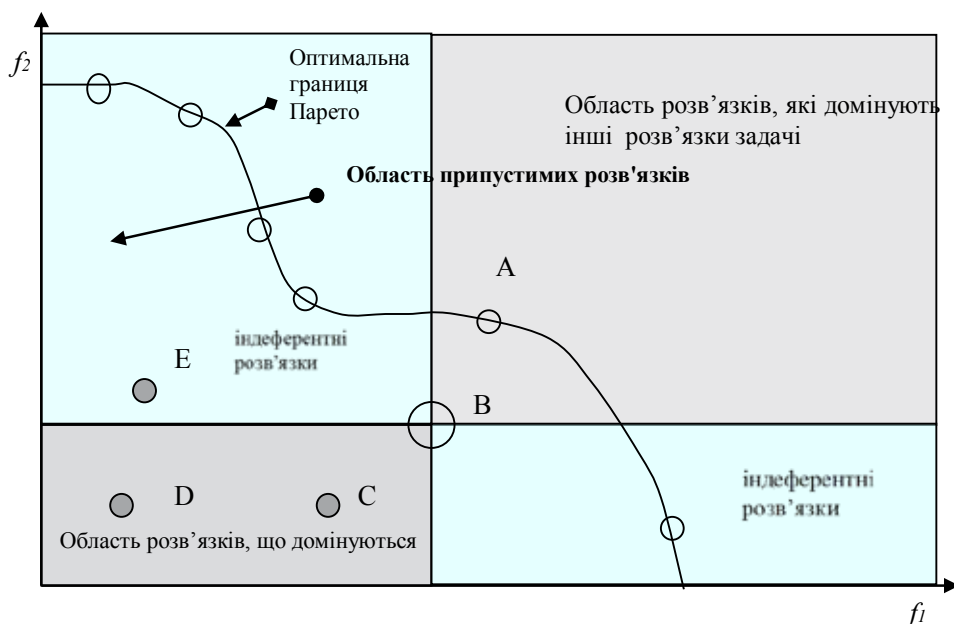


Рис. 2. Оптимальність Парето в просторі цільових функцій і відносини між розв'язками

же спосіб С краще D для рівних вартостей. Тоді якщо u і v – два вектори цільових функцій, то:

$$u = v \Leftrightarrow \forall i \in \{1, 2, \dots, k\} : u_i = v_i$$

$$u \geq v \Leftrightarrow \forall i \in \{1, 2, \dots, k\} : u_i \geq v_i$$

$$u > v \Leftrightarrow u \geq v \wedge u \neq v$$

Використовуючи ці визначення, виявляється, що $B > C$, $C > D$ і, отже, $B > D$. Порівнюючи B і E, знаходимо, що ці рішення не перевищують один одного, у т. ч. $B \neg > E$ і $E \neg > B$. У цьому разі має місце домінування.

$$a > b (a \text{ домінує } b) \Leftrightarrow f(a) > f(b)$$

$$a \geq b (a \text{ слабо домінує } b) \Leftrightarrow f(a) \geq f(b)$$

$$a \sim b (a \text{ індеферентно по відношенню до } b) \Leftrightarrow$$

$$(f(a) \neg \geq f(b)) \wedge (f(b) \neg \geq f(a))$$

На рис. 2 показано домінуючі області, ті, що домінуються, й індеферентні області відносно точки B. На рис. 2 існує одна точка A, серед B, C, D, E, для якої вектор розв'язків не домінується ніяким вектором рішень. Це означає, що A є оптимумом Парето. На рис. 2 білі кружки, позначають оптимальні розв'язки, які індеферентні один до одного. Ці рішення утворюють оптимальну множину Парето, а відповідний вектор цільових функцій – оптимальну межу Парето.

Таким чином, основною відмінністю багатокритеріальних задач є те, що в них немає єдиного оптимального рішення, а існує множина компромісних оптимальних рішень. Жодне із цих рішень не може бути визначено кращим без додаткового визначення його переваги.

Тому алгоритм багатокритеріальної оптимізації повинен задовольняти таким умовам:

- відстань від межі, що не домінується, до оптимальної Парето повинна мінімізуватися;
- у процесі оптимізації мають використовуватися не всі критерії, а тільки підмножина критеріїв, що знаходиться на межі оптимальності Парето або в безпосередній близькості до неї;
- для окремих критеріїв із визначеної підмножини критеріїв доцільно встановлювати поступки, з урахуван-

ням яких знаходити оптимальні розв'язки по компромісних цільових функціях.

Розглянемо алгоритм пошуку оптимальної системи управління виробництвом, яку ми вибираємо за багатьма критеріями.

Нехай маємо низку критеріїв $f_1(x), f_2(x), \dots, f_k(x)$. Знайдемо домінуючий критерій $f_i(x)$, якій знаходиться на межі оптимальності Парето. Обмеженнями в задачі будуть $X_f = \{x \in X \mid e(x) \leq \Omega\}$. До складу обмежень входять інші критерії, які задовольняють вираз $f_j(x) \neq f_i(x)$ $j = \overline{1, k}; i = \overline{1, k}$. Критерії, що входять до багатокритеріальної задачі оптимізації, мають оптимуми в різних точках простору допустимих рішень. Оскільки неможливо знаходитися одночасно в усіх цих точках, то необхідно виконати оптимізацію за одним із цих критеріїв, а інші критерії мають бути в обмеженнях. Прийmemo як змінні x_i ($x_i = 0, 1$) окремі інформаційні системи, які вибираємо для впровадження, далі виконуємо вказану оптимізацію і знаходимо ту систему ERP, яка відповідає оптимальному значенню цього критерію. Оскільки інформаційну систему вибирають по багатьох конкуруючих критеріях, то наступним кроком є вибір іншої цільової функції (критерію) і розрахунок оптимального розв'язку цієї задачі за цими критерієм. При цьому критерій $f_i(x)$, за яким виконувалася попередня оптимізація, стає одним з обмежень. Критерій $f_i(x)$ послаблюється на 1–5% від його оптимального значення. Розв'язок цієї оптимізаційної задачі дасть іншу інформаційну систему для впровадження.

Виконуємо k ітераційних кроків, на кожному з яких виконуємо оптимізацію по чергово за всіма критеріями підмножини, яка знаходиться на межі оптимальності Парето або в безпосередній близькості до неї. У результаті отримуємо низку розв'язків (рис. 3) для критеріїв, які визначають множину можливих варіантів впровадження систем ERP на підприємстві. Критерії, позначені на рис. 3, є конкуруючими між собою, тому для визначення найкращого варіанту кожний із критеріїв доповнюється підмножиною однакових показників, що характеризують ефективність системи.

Загалом показники мають різні впливи на ефективність конкретної ERP, тому за допомогою методу експерт-

них оцінок кожному з показників за окремими системами надається пріоритет. Значення пріоритетів змінюється від 0 до 1, сума пріоритетів для одного критерію дорівнює одиниці. Своєю чергою, підприємство-замовник має свої

вподобання й оцінку переваг систем, що впроваджуються, тому системи ERP мають неоднакові перспективи і пріоритети впровадження. Внаслідок цього доцільно визначити методом експертних оцінок пріоритети фі систем

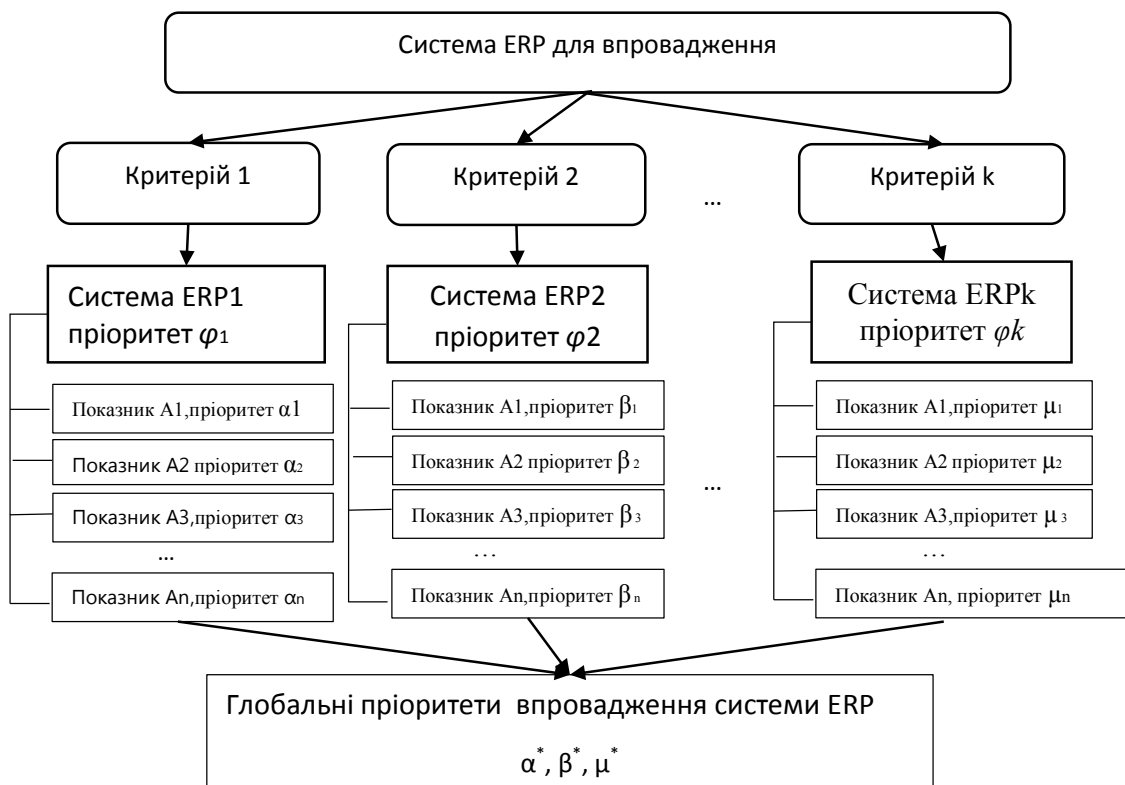


Рис. 3. Алгоритм вибору системи ERP

Таблиця 1

Порівняльний аналіз систем ERP

Показник	IT-Enterprise	1С: Підприємство	Парус	ERP SAP SAPBusiness One	Oracle E-Business Suite
Виробник	IT-Enterprise	ТОВ «1С Київ, Україна	Парус, Київ, Україна	SAP AG, Німеччина	Oracle США
Масштаб підприємства	Малі, середні, великі	Малі, середні, великі	Малі, середні, великі	Малі, середні, великі	Середні, великі
Терміни впровадження	6 міс-1,5 року і більше	3 – 1 рік. і більше	4 міс. – 1 рік і більше	1-5 років і більше	1-5 років і більше
Орієнтовна вартість впровадження	Вартість одного робочого місця від \$100 і вище	Ліцензія на одне робоче місце – \$150-600. Вартість упровадження на одне робоче місце – \$200-1000	Вартість ліцензії на одне робоче місце – \$1-2 тис. Вартість упровадження – 100-200% ціни рішення	Близько \$ 390 тис. на 50 користувачів (включає вартість ліцензії і витрати на реалізацію)	Вартість рішення на одне робоче місце становить близько \$5 тис. Остаточна вартість порівнянна з SAP
Політика ціноутворення	Необхідно домовлятися з IT-Enterprise або посередником	Фіксовані ціни на ліцензії	Фіксовані ціни на ліцензії	Складна і непрозора	Складна, необхідно домовлятися через посередника корпорації ПАРУС
Вартість супроводу	За один рік близько 10% -20% від вартості системи	Супровід здійснює розробник, а не 1С. До 30% від вартості ПО	30% на рік від вартості ПО	За один рік близько 18% від вартості системи	За один рік близько 15% -20% від вартості системи
Наявність фахівців і фірм-розробників	Великий вибір	Досить великий вибір	Помірний вибір	Недостатньо	Недостатньо
Масштабованість ERP	Відмінно	Добре	Добре	Добре	Добре
Операційна система	Windows	Windows,	Windows,	Windows, Unix, Linux,	Windows, Unix, Linux,

ERP, що впроваджуються. Сума всіх пріоритетів фі дорівнює одиниці.

На останньому кроці обчислюємо глобальні пріоритети. За кожним критерієм розраховується один показник глобального пріоритету відповідно α^* , β^* , ..., μ^* . Показники пріоритетів указують частку ваги, або переваги одних систем автоматизованого управління перед іншими, з урахуванням усіх критеріїв і обмежень, прийнятих у конкретній багатокритеріальній задачі оптимального вибору системи ERP. Розрахунки виконуються за такими формулами:

$$\begin{cases} \alpha^* = \sum_{i=1}^n \alpha_i^* \varphi_1 \\ \beta^* = \sum_{i=1}^n \beta_i^* \varphi_2 \\ \dots \\ \mu^* = \sum_{i=1}^n \mu_i^* \varphi_k \\ \alpha^* + \beta^* + \dots + \mu^* = 1 \end{cases}$$

Система ERP, яку буде рекомендовано до впровадження, має глобальний пріоритет, який задовольняє формулі: $F_{max} = \max(\alpha^*, \beta^*, \dots, \mu^*)$.

Дослідження, які було проведено для машинобудівних підприємств, дали змогу зробити порівняльний аналіз поширених в Україні систем ERP. Наведені в табл. 1 дані доцільно враховувати під час формулювання критеріїв і

обмежень у процесі вибору системи ERP на конкретному підприємстві.

Висновки. Розроблено чітку систему методичних положень, придатних та зручних для використання на практиці. Розроблено метод оптимального багатокритеріального вибору ERP-системи в умовах невизначеності, що дає змогу підприємству здійснювати вибір ERP-систем за власними критеріями оптимальності. Отримані результати дослідження дадуть змогу підприємствам знизити видатки на впровадження ERP-систем, запропонований метод та алгоритм можуть бути реалізовані в додатках для комп'ютерів та мобільних пристроїв для автоматизації процесу вибору системи ERP та її складу.

Запропоновано метод багатокритеріальної порівняльної оцінки і вибору най-кращих систем ERP для автоматизації управління підприємством на основі сучасних стандартів.

Запропоновано двоетапний алгоритм пошуку оптимального рішення визначення найкращих систем за багатьма критеріями і вибору серед них оптимального з використанням експертних оцінок і аналітичного ієрархічного аналізу.

На основі проведених досліджень, які було проведено для машинобудівних підприємств, зроблено порівняльний аналіз поширених в Україні систем ERP, який доцільно враховувати під час формулювання критеріїв і обмежень у процесі вибору системи ERP на конкретному підприємстві.

Список використаних джерел:

1. Bernroider E. Differences in Characteristics of the ERP System Selection Process between Small or Medium and Large Organizations: Americas Conference on Information Systems (AMCIS) at AIS Electronic Library. NY., 2004. P. 1022–1028.
2. Длугунович Н.А., Форкун Ю.В. Формалізація системи вибору ІТ-проектів при створенні інформаційного простору високотехнологічних підприємств. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2012. Вип. 22.02. С. 318–326.
3. Ковальчук К.Ф., Бандоріна Л.М., Савчук Л.М. Оцінка ефективності інформаційно-інтелектуальних технологій : монографія. Дніпропетровськ : ІМА-прес, 2007. 132 с.
4. Саати Т., Кернс К. Аналитическое планирование. Организация систем. Москва : Радио и связь, 1991. 224 с.
5. Демиденко М.А. Системи підтримки прийняття рішень. Дніпро : НГУ, 2016. 106 с.
6. Демиденко М.А. Управління проектами інформатизації за методологією SCRUM. Дніпро : НГУ, 2017. 80 с.

ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ НАУЧНО ОБОСНОВАННОГО ВЫБОРА СИСТЕМЫ ERP ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЕМ

Аннотация. В работе предлагаются теоретические и практические рекомендации для решения экономической задачи научно обоснованного выбора систем ERP (Enterprise Resource Planning) и их состава для предприятий Украины с применением экономико-математического моделирования. Теоретической и методологической основой исследования являются фундаментальные положения современной экономической теории, научные труды ученых. В процессе исследования использовались следующие методы: экономико-математического моделирования (для решения многокритериальной оптимизационной задачи поиска оптимальных вариантов внедрения автоматизированных информационных систем для управления промышленными предприятиями), графический (для наглядного представления результатов исследования); аналитический и структурно-логический (при оптимизации выбора ERP за аналитически-иерархическим подходом). Предложен комплексный подход для нахождения в условиях неопределенности с использованием моделирования такого состава ERP, который удовлетворяет и согласовывает требования к системе как отдельных подразделений и служб, так и всего предприятия в целом. Разработана четкая система методических положений, пригодных и удобных для использования на практике. Разработан метод оптимального многокритериального выбора ERP-системы в условиях неопределенности, что позволяет предприятию осуществлять выбор ERP-систем по собственным критериям оптимальности.

Ключевые слова: метод, модель, оптимизация, критерий, ERP, экспертный анализ, SAP.

ECONOMIC AND MATHEMATICAL MODEL OF SCIENTIFIC-BASED SELECTION OF ERP SYSTEM FOR MANAGEMENT OF ENTERPRISES.

Summary. The article offers theoretical and practical recommendations for solving the economic problem of a scientifically based choice of ERP systems (Enterprise Resource Planning) and their composition for enterprises of Ukraine with the use of economic and mathematical modeling. The theoretical and methodological basis of the research are the fundamental positions of modern economic theory, scientific works of scientists. In the process of research, the following methods were used: economic-mathematical modeling (for solving the multicriteria optimization problem of finding optimal variants for the introduction of automated information systems for management of industrial enterprises); graphic (for visual presentation of research results); analytical and structural-logical (in optimizing the choice of ERP by analytical hierarchical approach). Extensive and continuous improvement of information technology, the presence of many ERP systems on the market as well as the absence of skilled experts, technical knowledges and experience for the optimal choice of ERP software, make necessary the development of methods and tools of choice among many ERP analogues. The choice of ERP to implement is a complex decision that has important economic consequences. The task of choice requires a compromise between technical characteristics, functional capabilities and financial problems, and can be formulated as a multi-criteria decision-making problem. Therefore, it is necessary to develop mathematical methods and algorithms that will allow to find a scientifically proven optimal variant of the implementation of ERP in the company. The complex approach is proposed for finding with the use of modeling, such an ERP that satisfies all requirements of enterprise. The system of methodological guidelines is developed that is suitable and convenient for use in practice. The method of optimal multi-criteria choice of ERP system in the conditions of uncertainty is developed, which enables the enterprise to select ERP systems according to their own optimality criteria. The method of multicriteria comparative estimation for the selection of the best ERP systems is proposed. A two-stage algorithm for optimal determination of the best systems by many criteria and an optimal choice among them using expert estimates and analytical hierarchical analysis is proposed. Based on the research, carried out for machine-building enterprises, a comparative analysis of the common ERP systems in Ukraine was made.

Key words: method, model, optimization, criterion, ERP, expert analysis, SAP.