

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА**  
Факультет комп'ютерних наук та кібернетики  
Кафедра системного аналізу та теорії прийняття рішень

**Кваліфікаційна робота  
на здобуття ступеня бакалавра**

за спеціальністю 124 Системний аналіз

на тему:

**Застосування математичних методів та моделей при виборі оптимальної ERP  
системи для підприємства**

Виконала студентка 4-го курсу  
Тарасенко Олександра Владленівна



(підпис)

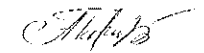
Науковий керівник:  
асистент, кандидат технічних наук  
Махно Михайло Федорович



(підпис)

Засвідчую, що в цій роботі немає  
запозичень з праць інших авторів без  
відповідних посилань

Студент



(підпис)

Роботу розглянуто й допущено до захисту  
на засіданні кафедри системного аналізу та  
теорії прийняття рішень

« 01 » червня 2023 р.,

протокол № 13  
Завідувач кафедри  
О. Г. Наконечний



(підпис)

Київ – 2023

## РЕФЕРАТ

Бакалаврська робота містить: 75 с., 9 рис., 4 табл., 33 літературних джерела, 4 додатки.

**Ключові слова:** ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ, МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ, МЕТОДИ СИСТЕМОГО АНАЛІЗУ, МАТЕМАТИЧНИЙ ІНСТРУМЕНТАРІЙ, АЛГОРИТМ ФОРМАЛІЗАЦІЇ ОЦІНКИ, ОПТИМІЗАЦІЯ, ERP-СИСТЕМА, ЕКСПЕРТНІ ОЦІНКИ.

**Об'єкт дослідження** – підприємства та організації (бізнес), що збираються запроваджувати або оновлювати ERP-системи.

**Предмет дослідження** – моделі і методи обґрунтування вибору ERP-систем

**Метою роботи** є розробка комплексного економіко-математичного інструментарію, орієнтованого на підтримку прийняття рішення щодо вибору ERP-системи. Для досягнення поставленої мети у роботі було використано наступні дослідницькі підходи: застосування математичних методів прийняття рішень, використання теорії ігор, проведення спостережень, використання системного аналізу та експертного оцінювання, проведення регресійного аналізу, здійснення порівняльного аналізу, використання методів оптимізації та системного аналізу.

**Практичне значення** дослідження полягає в тому, що результати дослідження є основою для системи прийняття рішень щодо вибору ERP-системи підприємства, побудованого на основі математичних інструментів та моделей. Надані практичні рекомендації у вигляді формалізованого алгоритму вибору ERP-системи, що задовольняє вимогам підприємства.

## ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ .....	4
ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1 Сучасні інформаційні технології в управлінні підприємством .....	8
1.1. Інформаційні технології в управлінні сучасним бізнесом.....	8
1.2. Математичні моделі як формалізований опис об’єкту досліджень .....	13
РОЗДІЛ 2 Використання математичного моделювання при виборі ERP .....	20
2.1. Модель системи вибору IT-проекту на основі методу експрес-оцінювання альтернатив та методу аналізу ієрархій .....	20
2.2. Економіко-математична модель вибору ERP-системи для управління підприємством .....	25
2.3. Стохастичне моделювання процесу вибору ERP-системи з використанням W- функцій, теорії замкнутих потокових графів .....	33
РОЗДІЛ 3 Використання математичного інструментарію для вибору ERP-системи .....	42
3.1. Алгоритм формалізації оцінки вибору ERP-системи для підприємств.....	42
ВИСНОВКИ .....	61
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ .....	63
ДОДАТОК А .....	67
ДОДАТОК Б .....	68
ДОДАТОК В.....	69
ДОДАТОК Г.....	71

## СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ



- АС** – автоматизована система управління;
- ЖЦВ** – життєвий цикл виробу;
- CAD** – Computer Aided Design (комп'ютерне проектування);
- CAE** – Computer Aided Engineering (комп'ютерний інженерний аналіз);
- CALS** – Computer Aided Acquisition and Lifecycle Support (підтримка безперервних постачань і життєвого циклу);
- CAM** – Computer Aided Manufacturing (комп'ютерне виготовлення);
- CAPP** – Computer Aided Process Planning (комп'ютерне планування процесів підготовки виробництва);
- ERP** – Enterprise Resource Planning (планування і управління підприємством);
- PDM** – Product Data Management (управління даними про виріб);
- PLM** – Product Life-cycle Management (управління життєвим циклом виробу);
- MAI** -- Метод аналізу ієрархій
- СППР** -- Система підтримки прийняття рішень

## ВСТУП

**Актуальність теми.** У сучасному світі неможливо уявити будь-яку діяльність без використання сучасних технологій. Інформаційні технології проникли в наше життя дуже стрімко, і зайняли всі сфери життя. Використання інформаційних систем дозволяє скоротити часові і фінансові витрати, як наслідок підвищити ефективність бізнесу шляхом використання сучасних інформаційних технологій [1]. Найбільш вартісними, складними, функціональними і, водночас, ефективними для бізнесу є автоматизовані системи управління підприємствами (*ERP, Enterprise Resource Planning*), які використовуються в усіх секторах економіки.

Процес вибору ERP сьогодні є досить проблематичним, тому що серед усього розмаїття наявних сьогодні інформаційних технологій, складно обрати відповідну для своєї компанії. У випадку неможливості ефективного використання запровадженої в компанії ERP-системи підприємство несе як прямі фінансові втрати - безпосередні витрати на запровадження, так і супутні витрати – майбутні витрати, що пов'язані із порушеннями відображення або дублювання бізнес-процесів, що існували раніше. У той же час успішне запровадження ERP-системи дозволить підвищити ефективність бізнес-процесів, скоротити час на прийняття рішень, знизити логістичні витрати, оптимізувати рівень складських запасів та виробничого браку. Тому прийняття рішення щодо вибору ERP-системи, яка найкраще відповідає вимогам підприємства, демонструє потенціальні вигоди від її запровадження є дуже відповідальним кроком для керівництва підприємства. Отже прийняття рішень щодо вибору систем ERP в умовах невизначеності є досить складним та потребує методологічної підтримки та практичних рекомендацій.

**Мета і завдання роботи.** Метою роботи є розробка комплексного економіко-математичного інструментарію, орієнтованого на підтримку прийняття рішення щодо вибору ERP-системи, з урахуванням та узгодженням функціональних можливостей оцінюваних ERP-систем та поточних та стратегічних цілей підприємства.

Отже, метою даного дослідження є:

– запропонувати економіко-математичний підхід, що дасть змогу визначити оптимальний варіант вибору інформаційної системи з урахуванням багатьох критеріїв;

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

Для досягнення мети дослідження поставлені наступні завдання:

- дослідити та проаналізувати особливості впровадження ERP-систем українськими та іноземними компаніями, формалізувати процедуру оцінки відповідності функціональних можливостей ERP-систем стратегічним цілям;
- сформулювати комплексний підхід до розробки економіко-математичного інструментарію прийняття рішень щодо вибору ERP;
- дослідити вплив фінансових обмежень на вибір ERP;
- розробити економіко-математичну модель прийняття рішення щодо вибору ERP-системи, що містить формалізований алгоритм вибору такої системи, що задовольняє вимогам підприємства.

#### **Об'єкт і методи дослідження.**

Об'єкт дослідження – є підприємства та організації (бізнес), що збираються запроваджувати або оновлювати ERP-системи, ERP-системи від різних розробників.

Предмет дослідження – моделі і методи обґрунтування вибору ERP-систем.

Для вирішення поставленої мети було застосовано наступні методи дослідження: математичні методи прийняття рішень, теорія ігор, спостереження, системний аналіз та експертне оцінювання, регресійний аналіз, порівняння, оптимізація та системний аналіз.

**Можливі сфери застосування.** Практична значимість результатів бакалаврського дослідження полягає у тому, що його вони можуть бути використані підприємствами та організаціями та формують систему прийняття управлінського рішення щодо обрання ERP-системи на підставі запропонованого в роботі математичного апарату. Застосування даного математичного

інструментарію не є складним та дозволяє проводити необхідні розрахунки без залучення сторонніх консультантів, в подальшому запропонований алгоритм може виступити базою для створення програмного забезпечення для консалтингових компаній, які можуть залучатися до процесу.

**Взаємозв'язок з іншими роботами.** Предмет дослідження тісно пов'язаний з такими дисциплінами як сучасна економічна теорія, стратегічне планування, аналіз та оптимізація бізнес-процесів, даною проблематикою займалися українські та зарубіжні вчені, такі як І.В. Кононенко, І.І. Мазур, О.І. Шаров, Є.К. Корноушенко, Ю.М. Теслі, Джозеф Філіпс, Долорес Ш. Стайгер, Дж. Пинто, Карел Тейт, Деніз Колонна д'Істріа.

Вирішенням проблем вибору інформаційних систем для впровадження за допомогою методів математичного моделювання займалися Е. Bernroider [2], Н.А. Длугунович [3], К.Ф. Ковальчук [4], М. Деміденко [5]. Науковці довели, що економіко-математичне моделювання є цілком обґрунтованим підходом при виборі оптимальної інформаційної системи.

Незважаючи на наукові та методичні напрацювання щодо методів оцінки та порівняння ERP-систем, процес вибору залишається досить суб'єктивно орієнтованим та потребує подальшого вивчення та формалізації практичних рекомендацій.

**Апробація роботи** полягає у тому, що у бакалаврській роботі обрано та проаналізовано математичні інструменти та моделі, що можуть бути використані для комплексної оцінки ERP-систем, запропоновано та рекомендовано для практичного використання алгоритм вибору ERP-системи, з урахуванням потреб підприємства та цілей його стратегічного розвитку.

**Практичне значення** дослідження полягає в тому, що результати дослідження є основою для системи прийняття рішень щодо вибору ERP-системи підприємства, побудованого на основі математичних інструментів та моделей. Надані практичні рекомендації у вигляді формалізованого алгоритму вибору ERP-системи, що задовольняє вимогам підприємства та дозволяє прийняти обґрунтоване управлінське рішення.

## РОЗДІЛ 1 СУЧАСНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В УПРАВЛІННІ ПІДПРИЄМСТВОМ

### 1.1 Інформаційні технології в управлінні сучасним бізнесом

На сьогоднішній день неможливо уявити сучасний бізнес, що не користується ІТ-технологіями в своїй діяльності. Дослідження ІТ-компаній свідчать про те, що 70% представників українського малого та середнього бізнесу вважають, що ІТ-технології відіграють ключову роль в управлінні підприємством, 60% переконані, що саме ІТ технології є фактором, що допомагає розвивати бізнес та підвищує ефективність. ІТ-технології допомагають забезпечити ефективне функціонування підприємства, знижувати витрати, підвищувати продуктивність праці та удосконалювати управління бізнесом. Тому, вони є необхідною складовою успішної діяльності сучасних великих підприємств [3].

Зустрічний розвиток технологій виробництва та систем автоматизації сприяв появі таких сучасних систем і технологій як CAD (Computer Aided Design), CAE(Computer Aided Engineering), CAPP (Computer Aided Process Planning), EPR(Enterprise Resource Planning), CRM(Customer Relationship Management), CIM(Computer Integrated Manufacturing), CALS (Computer Aided Acquisition and Lifecycle Support ) .

Протягом останніх десятиліть ERP-системи планування ресурсів підприємства розвивалися швидкими темпами і тепер практично охоплюють усі бізнес-процеси.

ERP-системи з'явилися в кінці 1990-х років і відрізняються від попередніх систем тим, що вони охоплюють всі ключові бізнес-процеси в різних бізнес-функціях підприємства. У порівнянні з попередніми системами, які фокусувалися на окремих операціях, таких як планування та моніторинг виробництва, сучасні ERP-системи надають комплексні рішення.

Існує досить багато підходів до визначення поняття «ERP-система» зокрема в роботах українських та закордонних вчених (додаток А). Аналізуючи термін "ERP-система", можна зробити висновок, що це широко використовуваний термін, що описує програмне забезпечення, яке реалізує планування та управління всіма

ресурсами підприємства в єдиній базі даних у режимі реального часу.

Інтегрована корпоративна інформаційна система – це система управління діяльністю підприємства, що забезпечує ефективну роботу підприємства на основі повної та достовірної інформації. ERP-система забезпечує оперативний облік на всіх рівнях виробництва та базується на єдиній інформаційній базі, що охоплює та координує всі бізнес-процеси підприємства.

Інтегрована корпоративна інформаційна система управління промисловим підприємством складається з трьох рівнів:

- рівень управлінських рішень (ERP, Enterprise Resource Planning – Планування ресурсів підприємства) ;
- рівень синхронізації, аналізу, планування випуску продукції (MES, Manufacturing Execution System, система управління виробничими процесами);
- рівень управління технологічними процесами (ICS, Industrial Control System, АСУ).

Інтегрована ERP-система – одна з найважливіших складових успішного розвитку бізнесу. Якщо ця система обрана і реалізована правильно, вона допомагає усунути багато недоліків в управлінні, наприклад:

- роз'єднаність управлінських та інформаційних технологій;
- невідповідність систем планування і контролю;
- неефективність управління витратами;
- неефективність використання фінансових ресурсів (через відсутність в потрібний термін вивіреної інформації про запаси і витрати).

На практиці без інтегрованої ERP-системи усунути ці недоліки неможливо. Використання окремих локальних інформаційних систем для бухгалтерських розрахунків, управління кадрами, постачання, збуту, маркетингових завдань і т. п. може бути достатньо дешевим, однак ставить проблему обміну даними між локальними системами, для вирішення якої необхідна розробка доволі складних штучних програм, на налаштування і зміну алгоритмів роботи яких потребується

значний час і постійні фінансові вкладення.

За допомогою інтегрованої ERP-системи можуть бути вирішені такі основні завдання:

- створення або оптимізація єдиної системи планування діяльності підприємства;
- постановка або оптимізація внутрішньої облікової політики підприємства з деталізацією;
- підтримка прийняття рішень на всіх рівнях управління.

Конкретний перелік завдань визначається галуззю діяльності підприємства, структурою та іншими особливостями конкретних підприємств, типовий перелік наступний:

- керівництво підприємством (достовірна інформація про фінансовий стан компанії, можливість легкого отримання інформації будь-якого рівня, формування повної картини собівартості продукції, аналіз тенденцій і прогнозування роботи підприємства);
- фінансово-бухгалтерський облік (повний контроль за рухом коштів і фінансовою дисципліною, податкове і бюджетне планування, повний контроль за матеріальними потоками);
- управління виробництвом (контроль за виконанням виробничих замовлень, формування інформації про стан потужностей, визначення фактичної собівартості продукції, ведення документації для супроводу виробничих замовлень);
- служби маркетингу і реклами (аналіз ринку збуту, ведення статистики продажів, контроль за просуванням нових товарів на ринок, робота з потенційними замовниками);
- служби збуту і постачання (планування термінів поставки, оцінка витрат на транспортування, ведення контрактів);
- служби складського обліку (управління структурою складів, оперативний пошук продукції на складах, оптимальне розміщення продукції).

Найбільш поширеними повнофункціональними ERP-системами є SAP, Microsoft Dynamics Nav, Microsoft Dynamics Ax, Oracle Applications, Галактика ERP, 1С: Підприємство. Впровадження таких систем займає один – два роки, середній бюджет на промислове підприємство складає 2 млн. \$.

Прийняття рішення щодо вибору ERP-системи є відповідальним кроком, тому до нього треба підходити науково обґрунтовано та знайти оптимальний варіант програмного забезпечення, який дозволить суттєво покращити якість управління ресурсами підприємства.

Вирішенням проблеми вибору інформаційних систем для впровадження за допомогою методів математичного моделювання займалися такі вчені: E. Bernroider [1], Н.А. Длугунович [2], К. Ф. Ковальчук [3], Т. Сааті [14]. У працях цих авторів досліджено та обґрунтовано доцільність використання економіко-математичного моделювання, математичних інструментів для пошуку оптимального вибору ERP. Рекомендується добирати критерії відповідно до вимог підприємства та з урахуванням його економічної та технічної ситуації. Проте, існуючий сьогодні підхід евристичного прийняття рішень при виборі систем ERP є викликом для підприємств і може мати негативні фінансові наслідки. Тому важливо обрати такі методи оцінки систем, що дозволять врахувати всі фактори і прийняти обґрунтоване рішення.

Багато українських та зарубіжних авторів присвятили свої наукові роботи дослідженню процесу прийняття управлінських рішень щодо запровадження ІТ-технологій, зокрема даному питанню присвячені роботи В. Афанасьєва, Л. Бандоріної [4], Л. Савчук [4], К. Ковальчука [4], О. Павленка [13], Л. Савчук [4], Л. Пилипенко [18], М. Редько [18] та інших.

Вибір компонентів інформаційного простору підприємства, які в подальшому будуть реалізовані у вигляді інтегрованої інформаційної системи є складним завданням. Для вирішення цього завдання підприємство може залучити зовнішніх консультантів із сфери інформаційних технологій. Проте, оскільки формування інформаційного простору підприємства та вибір його компонентів є комплексною інновацією, яка призводить до змін в організаційній структурі,

структурі персоналу та загальній культурі підприємства, остаточне рішення про вибір компонентів інформаційного простору має бути прийняте самим підприємством. Отже виникає потреба в розробці простих, доступних та надійних механізмів вибору ERP-системи із декількох альтернативних варіантів.

На українському ринку найбільш поширеними є системи, що використовуються для планування ресурсів підприємства та відомі як системи управління ресурсами підприємства (ERP). Ці системи відносяться до категорії корпоративних інформаційних систем, які використовуються для автоматизації та планування діяльності та ресурсів підприємства. З плином часу популярність ERP-систем зростає, але виникають проблеми, пов'язані з оновленням існуючих систем або впровадженням нових систем такого типу.

На сучасному етапі ERP-системи є невід'ємною частиною управління тисячами підприємств різних розмірів і галузей. Для цих компаній ERP-система має таку ж важливість, як електроенергія, що забезпечує світло. З одного боку, ERP-система дозволяє автоматизувати бізнес-процеси підприємства на високому рівні, забезпечує аналітику в різних аспектах, створює додаткову аналітику для управлінських звітів, що дозволяє зменшити витрати часу і покращити якість інформації, необхідної для прийняття управлінських рішень [19]. З іншого боку, варто відзначити, що впровадження та супровід ERP-системи є витратним, перехід на нову корпоративну інформаційну систему може бути складним, довготривалим і не існує універсального рішення, що буде підходити для всіх підприємств.

Використання систем ERP може сприяти отриманню конкурентної переваги організаціями та сприяти підвищенню якості бізнес-процесів. Однак, слід зауважити, що такий процес може також призвести до проблем. Невідповідність між функціональністю ERP-систем та вимогами підприємства є найпоширенішою проблемою, пов'язаною з впровадженням ERP-систем. Програмне рішення є стандартним та вимагає ретельного аналізу та оцінки, з точки зору відображення бізнес-процесів окремого підприємства. Все починається з «стандартного» набору проектних рішень, а далі підприємство повинно проаналізувати наявну інженерію, можливість реалізації своїх задач [20].

Постачальники ERP-систем та їхні консультанти відзначають, що інженерні вимоги залишаються важливим питанням у проектах впровадження ERP-систем. Зазвичай постачальники рекомендують використовувати стандартну структуру системи. Адаптація конкретної еталонної моделі системи ERP на підприємстві може порушити його унікальний спосіб роботи. З іншого боку, спроба налаштувати ERP-систему без внесення змін у бізнес-процеси організації може призвести до вартісного та ризикованого впровадження. Визначення вимог (критеріїв) є критичним завданням у реалізації ERP-системи, оскільки дві важливі причини потенційних проблем пов'язані з неправильним визначенням функціональних специфікацій та нерозумінням виконавцями функціональних вимог. Можливість адаптації бізнес-процесів до стандартних процесів ERP-системи є важливим моментом при прийнятті управлінського рішення щодо впровадження [22].

Вибір ERP-системи для запровадження – є складним рішенням, що має суттєві економічні наслідки. Таке управлінське рішення потребує компромісу між технічними характеристиками, функціональними можливостями системи та фінансовими можливостями підприємства. Таке завдання прийняття рішення можна описати як багатокритеріальне, тому воно потребує науково-обґрунтованих методів вибору ERP-системи для запровадження.

Дослідження в межах даної бакалаврської роботи має на меті запропонувати економіко-математичний підхід, що дозволить обрати оптимальний варіант ERP-системи для підприємства з урахуванням багатьох критеріїв та стратегії підприємства, розробити алгоритм прийняття управлінських рішень із застосуванням математичних інструментів та моделей.

## **1.2 Математичні моделі як формалізований опис об'єкту досліджень**

Протягом останніх двадцяти років світове промислове виробництво пройшло через ряд суттєвих змін, які в значній мірі були обумовлені розвитком інформаційних технологій, що базуються на сучасних комп'ютерних досягненнях. Коротко розглянемо як з'явилося поняття комплексна автоматизована інформаційна система .

Методологія CALS [17]. зародилася в департаменті оборони США в середині 80-х рр. CALS – це Continuous Acquisition and Life cycle Support. CALS знайшли своє відображення у концепції PLM (Product Life-cycle Management – управління життєвим циклом виробу). [7, 8]

Системи класів CAD/CAM/CAE(Computer Aided Design – комп’ютерне проектування / Computer Aided Manufacturing – комп’ютерне виготовлення / Computer Aided Engineering – комп’ютерний інженерний аналіз) та PDM є основними компонентами, які забезпечують реалізацію стратегії PLM (Product Lifecycle Management - управління життєвим циклом виробу). Згідно з концепцією Dassault Systems, системи класів ERP, SCM і CRM не є складовими PLM-рішень, але разом з PLM вони сприяють ефективному функціонуванню промислових підприємств і забезпечують різні аспекти управління, такі як планування ресурсів підприємства, управління ланцюгами постачань та управління відносинами з замовниками.

Всі вищенаведені інформаційні системи вимагають формалізації конкретної задачі, уніфікованого математичному опису необхідної інформації, побудови прогнозної моделі на базі математичного моделювання. Математика є формалізованою мовою опису моделей досліджень.

З метою формалізації оцінки даних ми будемо розглядати підприємство як «технічну систему» [16]: «Різноманітні об’єкти та системи, а також виробничі, технологічні та інші процеси з погляду їх подальшої формалізації, алгоритмізації та математичного моделювання надалі будемо називати одним узагальненим терміном – технічна система»[16]. Таким чином, виходячи із визначення, ми можемо вважати підприємство технічною системою.

Математичне моделювання (математичні моделі) з прадавніх часів використовувались у фізиці для опису реального світу, отримання якісних та кількісних властивостей явищ і процесів, що вивчаються. Сучасні інформаційні технології дозволяють моделювати об’єкти, системи і процеси. Використання математичних моделей в інженерній та економічній практиці дозволяє досягти ефективності та якості розробок шляхом всебічного аналізу існуючих або

потенційних процесів та об'єктів. Завдяки комп'ютерним інформаційним системам та програмам математичного моделювання, можна швидко розглянути кілька варіантів технічних рішень та з визначеною ймовірністю обрати найкращий варіант.

Отже, математична модель технічної системи (підприємства): «є набором математичних об'єктів, таких як числа, змінні, матриці, множини та інші, а також відношень між ними. Ця модель призначена для точного відображення властивостей, особливостей та поведінки технічної системи» [16].

Отже, математичне моделювання використовується :

- а) при дослідженні, для встановлення чутливості характеристик до змін об'єкта, що досліджується та зовнішнього середовища;
- б) при аналізі та синтезі різних варіантів системи, в процесі вибору такого варіанту, що відповідає заданому критерію ефективності з врахуванням обмежень;
- в) при експлуатації для отримання інформації щодо прогнозів розвитку.

Математичне моделювання, як альтернатива фізичним експериментам, давно використовується в промисловому виробництві як ефективний і економічно вигідний інструмент дослідження для вдосконалення.

Використання ERP-систем підприємствами суттєво збільшують практичне використання математичних моделей. Наприклад, Ви – керівник підприємства, якому запропонували декілька альтернативних інформаційних систем для запровадження. Як вибрати такий варіант, який при найменших витратах принесе найбільший прибуток? В цьому випадку потрібно оцінити наявні ресурси, провести аналіз бізнес-процесів і сформулювати цілі, які прагнете досягти, а також врахувати інші фактори, що впливають на ефективність. Використання математичного моделювання, а в подальшому впровадження автоматизованої системи управління дозволить виявити недоліки бізнес-процесів та знайти оптимальне рішення для поставлених завдань.

Математичні моделі можна класифікувати за трьома основними критеріями:

- 1) залежно від поведінки моделей у часі, вони можуть бути динамічними, статичними або квазістатичними;

2) в залежності від характеру вхідної інформації, параметрів і виразів, що утворюють математичну модель, вони можуть бути детермінованими, стохастичними, безперервними або дискретними;

3) в залежності від типу математичного апарату, що використовується (рівняння, апроксимаційні, оптимізаційні, стохастичні).

моделі по кожному із вказаних критеріїв (рис. 1.1)



Рисунок. 1.1. Види математичних моделей

Зауважимо, що при вирішенні економічних проблем, математичне моделювання набуває специфічних рис.

Зупинимось на важливому етапі висування проектних вимог (ПВ). Для ухвалення управлінського рішення щодо вибору ERP необхідно визначити наступні ПВ:

- граничні ПВ;
- оптимальні ПВ;
- множину недомінуючих ПВ (Парето-оптимальну множину).

Цікавими для дослідження є граничні ПВ, що враховують максимальне задоволення вимог і мінімальну вартість. Реалізація таких граничних ПВ дозволяє оцінити загальні параметри проекту. При вирішенні задачі вибору варіантів необхідно знайти одне оптимальне проектне рішення, яке задовольняє критеріям. Особі, яка приймає рішення, слід надати можливість самостійної оцінки і вибору ПВ на основі неформальних методів. Так ПВ слід шукати серед множини недомінуючих ПВ (в Парето-оптимальній множині). За допомогою формального опису КМВ можна поставити ці завдання формально.

Використовуючи позначення множини ВЗВ, що входять в  $l$ -й ПВ,  $a_l$  інтегральних критеріїв задоволення вимог  $H_E(a_l)$ , модифікації компонентів  $H_W(a_l)$  вартості реалізації  $H_C(a_l)$  можна сформулювати вимоги для пошуку граничних ПВ:

- з максимальним задоволенням вимог:

$$A^E: H_E(a^E) = \max_A H_E(a_l); \quad (1)$$

- з мінімальною модифікацією компонентів:

$$A^W: H_W(a^W) = \max_A H_W(a_l); \quad (2)$$

- з мінімальною вартістю реалізації:

$$A^C: H_C(a^C) = \max_A H_C(a_l). \quad (3)$$

Для вибору найоптимальнішого проектного варіанта здійснюється обчислення критерію оптимальності ПВ у цілому шляхом комбінування трьох інтегральних критеріїв (задоволення вимог, вартість, модифікація компонентів) за допомогою адитивного оператора [3]. Для розрахунку значення цього критерію потрібно визначити вагу кожного інтегрального критерію, яка встановлюється за допомогою масових характеристик  $a_E, a_W, a_C$  (задоволення вимог, модифікації компонентів системи, вартості ПВ, відповідно), що задовольняють умовам:

$$a_E \in (0,1), a_W \in (0,1), a_C \in (0,1), a_E + a_W + a_C = 1. \quad (4)$$

Ваги інтегральних критеріїв встановлюються шляхом використання експертних методів. Значення інтегральних критеріїв обчислюються відповідно до формул (2-4).

Умову формування Парето-оптимальної множини проектних варіантів  $A_{ПО}$  можна записати наступним чином:  $A_{ПО} = \{A_s\} \subseteq A: (\forall A_s, A_l \in A)[(H_W(a_s) \geq H_W(a_l)) \vee (H_E(a_s) \geq H_E(a_l)) \vee (H_C(a_s) \geq H_C(a_l))]$

Введемо вектор булевих змінних, що відображають реалізацію ВЗВ

$$x = (x_1, x_2, \dots, x_l), \quad (5)$$

де:

$$x_i = \begin{cases} 1, & \text{якщо } v_i \text{ входить в ПВ (реалізується)} \\ 0, & \text{в протилежному випадку} \end{cases}.$$

Позначимо  $x^t = (x_1^t, x_2^t, \dots, x_l^t)$   $t$ -ту конфігурацію вектора  $x$ . Тоді кожному ПВ можна поставити у відповідність конфігурвцію цього вектора  $A_l \leftrightarrow x^t, a_l \leftrightarrow x^t$ , що описують склад ВЗВ у проектному варіанті.

Вимогу наявності непорожньої множини ВЗВ в складі  $l$ -го ПВ можна записати як  $\sum_{i=1}^l x_i^t > 0$ . Умова задоволення

$l$ -им ПВ  $j$ -ї вимоги можна записати як  $\sum_{i=1}^l x_i^t \cdot vq_{ij} > 0$ , а задоволення всіх вимог - як  $\prod_{j=1}^J \sum_{i=1}^l x_i^t \cdot vq_{ij} > 0$ . Відсутність в складі  $l$ -го ПВ взаємовиключних ВЗВ можна записати як  $\sum_{i=1}^l \sum_{y=1}^l v n_{iy} \cdot x_i^t x_y^t > 0$ .

Множина ПВ утворюється множиною конфігурацій  $\tilde{X} = \{x^t\}$ , що задовольняють вимоги допустимості:

$$\sum_{i=1}^l x_i^t > 0, \prod_{j=1}^J \sum_{i=1}^l x_i^t \cdot vq_{ij} > 0, \sum_{i=1}^l \sum_{y=1}^l v n_{iy} \cdot x_i^t x_y^t > 0. \quad (6)$$

Умови граничних вирішень задачі вибору проектного варіанту  $(A^E, A^W, A^C)$  можна записати у вигляді:

$$A^E: \forall x^t \in \tilde{X}, x^t \neq x^E \Rightarrow H_E(x^E) > H_E(x^t) \text{ або } H_E(x^t) \rightarrow \max; \quad (7)$$

$$A^W: \forall x^t \in \tilde{X}, x^t \neq x^W \Rightarrow H_W(x^W) > H_W(x^t) \text{ або } H_W(x^t) \rightarrow \max; \quad (8)$$

$$A^C: \forall x^t \in \tilde{X}, x^t \neq x^C \Rightarrow H_C(x^C) > H_C(x^t) \text{ або } H_C(x^t) \rightarrow \max. \quad (9)$$

Умови пошуку оптимального ПВ  $A^*$  можна записати в наступному вигляді  $A^* = \forall x^t \in \tilde{X}, x^t \neq x^W \Rightarrow Z(x^*) > Z(x^t)$  або  $Z(x^t) \rightarrow \max$ , де  $Z(x^t)$  - критерій оптимальності ПВ, і визначається за формулою:

$$Z(x^t) = a_E H_E(x^t) + a_W H_W(x^t) + a_C H_C(x^t). \quad (10)$$

Таким чином, умову формування Парето-оптимальної множини ПВ  $A_{\text{по}}$  можна записати наступним чином:

$$A_{\text{по}} = \{A_s\}: (\forall x^s, x^l \in \tilde{X}) [(H_E(x^s) \geq H_E(x^l)) \vee (H_W(x^s) \geq H_W(x^l)) \vee (H_C(x^s) \geq H_C(x^l))] \quad (11)$$

Разом з тим, практика доводить, що одних математичних знань, на жаль, не достатньо для вирішення тієї чи іншої задачі. Математичні методи допомагають у формалізації задачі, її опису, дозволяють представити об'єкт в вигляді математичної моделі з подальшим використанням отриманої моделі для аналізу, синтезу,

розрахунку та оптимізації за допомогою сучасних інформаційних технологій.

Вибір ERP-системи для впровадження – витратний та складний технологічний процес, який потребує чималих фінансових ресурсів та кваліфікованого персоналу. В той же час, вирішення даної проблеми пов'язано з багатьма важко прогнозованими зовнішніми та внутрішніми факторами, які ми можемо оцінити використовуючи математичні методи. Особливо гостро дана проблема стоїть при запровадженні складних, багатофункціональних систем, які орієнтовані на вирішення не однієї, а цілого спектру різноманітних завдань управління.

## РОЗДІЛ 2 ВИКОРИСТАННЯ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРИ ВИБОРІ ERP-СИСТЕМИ

### 2.1. Модель системи вибору ІТ-проекту на основі методу експрес-оцінювання альтернатив та методу аналізу ієрархій.

У високотехнологічному виробництві, єдиний інтегрований інформаційний простір будується на базі різних систем та технологій: CAD, CAE, CAPP, ERP, CRM, DSS, CALLS та багато інших. Враховуючи вартість ІТ-технологій, ключовим моментом побудови інформаційного простору підприємства стає усвідомлення того, що розробка повноцінної системи "з нуля" є дуже дорогою для більшості підприємств в Україні. Це зумовлено двома основними причинами - вартістю і термінами розробки та впровадження.

Як вже ми зазначали вище, на даний момент на ринку України існує досить велика кількість готових рішень систем та технологій, тому головним завданням перед підприємством при побудові інформаційного простору стає:

1. вибір вже існуючих систем та технологій, які стануть складовими елементами глобального інформаційного простору підприємства;
2. запровадження та поєднання всіх компонентів між собою в єдиний інформаційний простір.

Питаннями підтримки прийняття рішень та управління інформаційними технологіями займалися такі зарубіжні та вітчизняні вчені: В. Афанасьєва, Л. Бандоріна, Н. Георгіаді, К. Ковальчук, Н. Лепа, П. Павленко, Л. Савчук, А. Тютюнник, Н. Длугунович.

Аналіз праць зазначених вище авторів дозволив мені зробити висновок, що питання підтримки прийняття управлінських рішень щодо вибору інформаційної системи потребує додаткового вивчення.

Отже, вибір інформаційної системи є дуже складним завданням, для вирішення якого підприємство може залучати зовнішніх консультантів в галузі інформаційних технологій або внутрішні підрозділи ІТ та аудиту. Але враховуючи той факт, що вибір комплексної автоматизованої системи є комплексною

інновацією для підприємства, що спричиняє зміни в організаційній структурі, то остаточне рішення щодо вибору такої системи має відбуватись на основі неупередженою та достовірної інформації. Саме таку інформацію ми можемо отримати використовуючи методи математичного моделювання.

Дослідження вибору ІТ-простору підприємства на основі методу експрес-оцінювання альтернатив та методу аналізу ієрархій за були запропоновані Н. Длугунович [3].

Длугунович Н. представила процес вибору у вигляді керованої системи, що складається з шести блоків. До моделі увійшли алгоритм оцінювання пріоритетності ІТ-проекту, набір вимог, множина критеріїв, набір альтернатив, множина експертних оцінок та інструментарій вибору [3]. Таким чином, керована система оперує: множиною вимог до ІТ-проекту  $VIP_m$ ,  $m \in V$ ; множиною критеріїв оцінювання альтернатив ІТ-проекту  $KIP_k$ ,  $k \in K$ ; скінченою матрицею експертних оцінок альтернатив  $EOIP_e$ ,  $e \in E$ ; множиною самих альтернатив ІТ-проекту  $AIP_n$ ,  $n \in A$ . Дослідження та аналіз альтернатив ІТ-проектів відбувається на після визначення пріоритетності ІТ-проектів та визначення потенційних варіантів рішень щодо ERP.

Стан системи вибору ІТ-проектів визначається:

1) *вектором вхідних змінних*

$$E \in G, G\{E|E \subset V; E \subset K; E \subset A\}, \quad (12)$$

де  $V = (V_1, V_2, \dots, V_m)$  - вектор вимог до ІТ-проекту;  $K = (K_1, K_2, \dots, K_k)$  - вектор критеріїв оцінювання ІТ-проекту;  $A = (A_1, A_2, \dots, A_n)$  - вектор альтернатив ІТ-проекту;

2) *вектором вихідних змінних*

$$Y \in H, H = \{Y|Y \subset \Theta; Y \subset S; Y \subset A'; Y \subset \Theta'; Y \subset S'\}, \quad (13)$$

де  $\Theta = [\theta_{ij}]_{m \times n}$  - матриця оцінок АІП експертами,  $\theta_{ij}$  - оцінка  $i$ -ї вимоги по  $j$ -й альтернативі;  $S = (S_1, S_2, \dots, S_n)$  - вектор стану оцінок альтернатив, який отримується після стабілізації множини альтернатив шляхом задоволення вимог;  $A' = (A'_1, A'_2, \dots, A'_s)$ ,  $s \leq n$  - вектор кінцевої множини альтернатив, отриманий в

результаті стабілізації множини за допомогою вимог;  $\Theta' = [\theta'_{ij}]_{k \times s}$  - матриця оцінок АІП експертами,  $\theta'_{ij}$  - оцінка і-го критерію по j-й альтернативі;  $S' = (S'_1, S'_2, \dots, S'_s)$  - вектор стану оцінок альтернатив, які отримали в результаті оцінювання за допомогою критеріїв.

Автор [3] використовує математичний запис, щоб символічно відобразити взаємозв'язок між усіма змінними системи вибору ІТ-проектів, яка є складною системою управління.

$$f: E \rightarrow Y, \text{ де } E \in G, Y \in H. \quad (14)$$

Таким чином, проблема вибору ІТ-проекту включає наступні завдання:

- визначення моделі, яка виокремлює важливі компоненти векторів  $V, K, A$  з точки зору функціонування системи управління;
- стабілізація множини альтернатив шляхом визначення кінцевої множини альтернатив  $A'$ ;
- виокремлення найкращої альтернативи  $A_{opt}$  з кінцевої множини альтернатив  $A'$ .

В роботі Н. Длугунович [3] для вирішення задачі визначення кінцевої множини альтернатив пропонується наступний алгоритм. Кожен програмний продукт (ПП), що є основою ІТ-проекту, має свої характеристики. Для вибору ERP формується перелік вимог до програми. Кожній з вимог надається оцінка: нуль або одиниця (так/ні). Після цього, якщо суму всіх одиниць розділити на число, що відображає ідеальний програмний продукт для підприємства, можна отримати оцінку ПП.

Метод експрес-оцінювання альтернатив. [3]

Послідовність експрес-оцінювання альтернатив присутня у моделі системи вибору ІТ-проектів, де  $V = (V_1, V_2, \dots, V_m)$  - вектор вимог до інноваційного ІТ-проекту,  $m \in R$  - кількість вимог;  $A = (A_1, A_2, \dots, A_n)$  - вектор альтернатив ІТ-проекту,  $n \in R$ ;  $\Theta' = [\theta'_{ij}]_{m \times n}$  - матриця оцінок альтернатив експертами,  $\theta'_{ij}$  - оцінка i-ї вимоги за j-ю альтернативою,  $m \in R$  - кількість оцінок, де  $\theta'_{ij}$  формується за правилом:

$$\theta_{ij} = \begin{cases} 0 & \text{якщо, } i \text{ – а вимога по } j \text{ – й альтернативі не задовольняється;} \\ 1 & \text{якщо, } i \text{ – а вимога по } j \text{ – й альтернативі задовольняється.} \end{cases}$$

На основі цих даних формується вектор стану оцінок  $S = (S_1, S_2, \dots, S_n)$ , за допомогою чого стабілізується множина альтернатив і визначається кінцева множина альтернатив – вектор  $A'$ . Вектор,  $A' = (A'_1, A'_2, \dots, A'_s)$ ,  $s \leq n, s \in R$  - кількість альтернатив, що отримана в результаті попереднього відбору за допомогою вимог, причому

$$S = \sum_{i=1}^m \theta_{m,n} \quad (15)$$

Вектор  $A'$  формується наступним чином  $s = j$ , за умови

$$S_j \geq 3/4 S_{max} \quad (16)$$

де  $S_{max}$  - максимально допустима оцінка альтернативи за вимогами, де,  $s \leq n, s, n \in R$ .

Після застосування моделі оцінювання пріоритетності ІТ-проекту та пошуку інформації, було виділено 10 альтернатив. Для експрес-оцінювання цих альтернатив та визначення кінцевої множини, був розроблений формалізований комплекс вимог і встановлена максимально допустима оцінка альтернативи - 40 балів. Перелік вимог до SCM-системи та оцінки відповідних альтернатив наведений у Додатку В. З цієї множини була виділена кінцева множина, що складається з п'яти альтернатив (A0, A2, A6, A8, A9), які відповідно набрали 36, 33, 30, 31 та 31 балів і увійшли до проміжку  $S_j \geq 3/4 S_{max}$ .

Після визначення кінцевої множини альтернатив вирішується завдання вибору найкращої альтернативи з цієї множини. Для досягнення цієї мети можуть використовуватися різноманітні методи, включаючи:

- методи теорії корисності;
- метод аналізу ієрархій;
- евристичні методи тощо.

Н. Длугунович [3] використовує метод аналізу ієрархій (MAI), як основний інструмент для вибору кращої альтернативи ІТ-проекту, який є цілісним об'єктом.

Цей метод був обраний через кілька переваг, які він має порівняно з іншими методами, зокрема:

1. МАІ показує не тільки місце фактору серед інших, але й ступінь відмінності одного фактору від іншого, що дозволяє оцінювати пріоритетність різних факторів один відносно одного.
2. МАІ включає в себе компоненти традиційного експертного аналізу та структурного аналізу, що дозволяє комплексно оцінити проблему.
3. МАІ добре працює з неформалізованими або слабоформалізованими даними, що може бути важливо в реальних умовах прийняття рішень.
4. МАІ має ефективний, але нескладний математичний апарат, що дозволяє зручно застосовувати його на практиці.
5. МАІ можна досить легко автоматизувати, що спрощує процес прийняття рішень.
6. МАІ є універсальним, простим для розуміння та відповідає сучасним тенденціям в галузі прийняття рішень.

Складність процесу багатокритеріальної оцінки ІТ-проектів і прийняття на її основі ефективного рішення, обумовлює використання комп'ютерних систем. Що стосується даного прикладу, то для розв'язання поставленої задачі на кафедрі програмної інженерії Хмельницького національного університету була застосована система прийняття рішень (СППР) «Вибір оптимального інноваційного проекту».

Зазвичай СППР призначена для прийняття управлінських рішень в ситуаціях, коли необхідно обрати одну з декількох альтернатив. СППР в даному випадку поєднала в собі: метод експрес-оцінювання альтернатив та метод аналізу ієрархій. За допомогою системи підтримки прийняття рішень (СППР) можна вирішувати обидві задачі: задачу визначення кінцевої множини альтернатив та задачу вибору найкращої альтернативи.

Напочатку вирішується задача визначення кінцевої множини альтернатив. На першому етапі вводяться вхідні дані до системи: визначені вимоги до програмного продукту та всі можливі альтернативи ІТ-проектів (додаток Г, крок 1).

На другому кроці здійснюється оцінка вимог за кожною альтернативою (додаток Г, крок 2). В результаті розв'язку за методом експрес-оцінювання альтернатив можна виділити наступну множину альтернатив: А0,А2,А6,А8,А9 (додаток Г, крок 3).

Після визначення кінцевої множини альтернатив переходять до пошуку найкращої альтернативи за допомогою методу аналізу ієрархій, використовуючи систему підтримки прийняття рішень (СППР). При розв'язанні цієї задачі до системи вводяться критерії оцінювання кінцевої множини альтернатив. (додаток Г, крок 4).

Далі встановлюються пріоритети критеріїв оцінювання (додаток Г, крок 5).

У відповідності до методу аналізу ієрархій СППР виконує порівняння альтернатив за заданими критеріями (додаток Г, крок 6). Результатом пошуку за допомогою СППР «Вибір оптимального інноваційного рішення ІТ-проекту» було визначено найкращою альтернативою А0 (додаток Г, крок 7).

Таким чином, нами було розглянуто можливості застосування методу експрес-оцінювання альтернатив та методу аналізу ієрархій. Поєднання даних методів являє собою простий, доступний та надійний інструмент аналізу для вибору ІТ-проектів. Для практичної реалізації була використана система підтримки прийняття рішень, що була розроблена кафедрою інженерних технологій Хмельницького національного університету.

На сучасному етапі дана задача може бути реалізована в програмному комплексі Power BI.

## **2.2 Економіко-математична модель вибору ERP-системи для управління підприємством.**

Підприємства України сьогодні впроваджують або оновлюють системи управління виробництвом (ERP), і тому перед ними стоїть завдання вибору системи, яка буде найбільш відповідати їх вимогам. Це вимагає від керівництва підприємства роботи в умовах невизначеності і складного вибору між багатьма критеріями впровадження системи, а також вирішення завдань щодо їх узгодження

та реалізації в практичній виробничій діяльності. Процес вибору може бути сформульований як задача багатокритеріального прийняття рішень.

Оскільки існує велика кількість систем ERP та їх конфігурацій, необхідно обмежити кількість систем, які можна детально проаналізувати.

Вибір системи для підприємства є складним завданням з багатьма критеріями.

- **Завершеність:** Програмне забезпечення повинно охоплювати всі аспекти виробничого бізнесу, включаючи закупівлю матеріалів, найм робочої сили та систему продажів готової продукції.
- **Зручність і простота в роботі:** Впроваджена система повинна бути сучасною та інтуїтивно зрозумілою для співробітників, що сприятиме успішному впровадженню та навчанню персоналу.
- **Настроюваність:** Система повинна дозволяти користувачам створювати нові вхідні та вихідні документи та настройки без необхідності залучення розробника системи.
- **Гнучкість:** Програмне забезпечення повинно бути адаптовано до умов виробництва підприємства і не вимагати змін структури або режиму роботи підрозділів.
- **Інтегрованість:** Система повинна бути здатна до автоматичного оновлення всіх її модулів після внесення змін у будь-якому з них.
- **Вартість:** Розроблення та підтримка ERP-системи має вписуватися в бюджет підприємства.
- **Технічні вимоги системи:** Вибір ERP-системи, яка не залежить від апаратного забезпечення, операційної системи та системи баз даних, є критично важливим.
- **Репутація та можливості виробника:** Наявність на ринку, відгуки клієнтів, консультації, приклади успішно впроваджених систем, інфраструктура підтримки та супроводження є важливими факторами при виборі виробника.

- *Після продажна підтримка та навчання:* Постачальник ERP-системи повинен забезпечувати навчання користувачів та підтримку програмного продукту після впровадження на підприємстві.
- *Забезпечення безпеки та надійності системи:* резервне копіювання баз даних є важливим кроком для запобігання втраті даних та забезпечення стабільної роботи ERP.
- *Система звітності та аналізу:* окрім стандартних звітів, важливо мати можливість створювати власні інструменти звітності та аналізу, які можна буде використовувати у системі.
- *Інтеграція з іншими програмами:* модулі ERP повинні бути інтегровані з іншими виробниками та системами для безперервного обміну даними і забезпечення їх сумісності.

При виборі системи ERP та конфігурації її модулів потрібно враховувати широкий спектр критеріїв. Для застосування оптимізаційних алгоритмів, критерії, які визначають якість системи, повинні бути виражені у вигляді кількісних показників за допомогою методу експертної оцінки. Досвід експлуатації систем ERP показує, що для більшості підприємств найважливішим критерієм є вартість системи. Інші критерії можуть мати різну важливість залежно від вимог конкретного підприємства. Місце кожного критерію в ієрархії може різнитися від підрозділу до підрозділу в рамках одного підприємства. Крім того, ієрархія критеріїв може змінюватися з часом.

Отже, для того, щоб прийняти обґрунтоване наукове та економічне рішення щодо вибору системи ERP, потрібно провести оцінку різних варіантів і обрати оптимальний. Зазвичай такий вибір здійснюється вручну на підприємстві і ґрунтується на значних суб'єктивних оцінках, які можуть привести до прийняття не найкращого, але раціонального рішення. Щоб уникнути цього, необхідно розробити математичні процедури, які можуть бути запрограмовані та реалізовані в програмному забезпеченні, щоб надавати об'єктивні та оптимальні оцінки для

керівництва підприємства в складних задачах модернізацію вже існуючої системи або інвестування в нову ERP.

Український ринок ІТ продуктів автоматизованих систем управління пропонує такі системи класу ERP: SAP, Oracle, "ІТ-підприємство", "Парус", "1С: Підприємство", Галактика ERP.

М. А. Демиденко [5] розглядає економіко-математичну модель багатокритеріальної оптимізації для вирішення поставленого завдання вибору. 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 [5]

$$\bar{y} = (f_1(x), f_2(x), \dots, f_k(x)) \quad (17)$$

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

$$X_f = \{x \in X \mid e(x) \leq \Omega\}. \quad (18)$$

Область допустимості в просторі цільових функцій має вигляд:

$$Y_f = f(X_f) = \cup_{x \in X_f} \{f(x)\} \quad (19)$$

Оптимальне значення багатокритеріальної задачі  $f(x)$  відповідає найбільшому значенню поверхні, створеної трьома критеріями на рис. 1.2

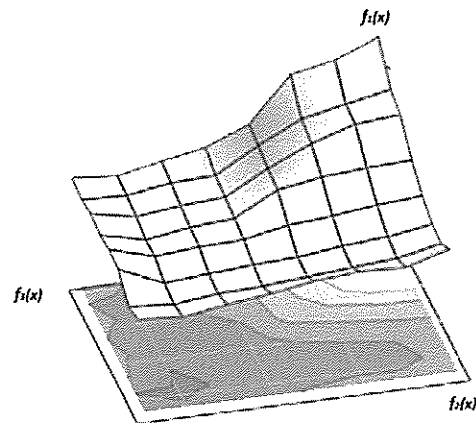


Рис. 1. 2 Взаємозв'язок критеріїв

У разі оптимізації за багатьма критеріями множина  $X_f$  частково визначена. Розв'язок, представлений точкою В на рис. 2.2 кращий, аніж розв'язок для точки С.

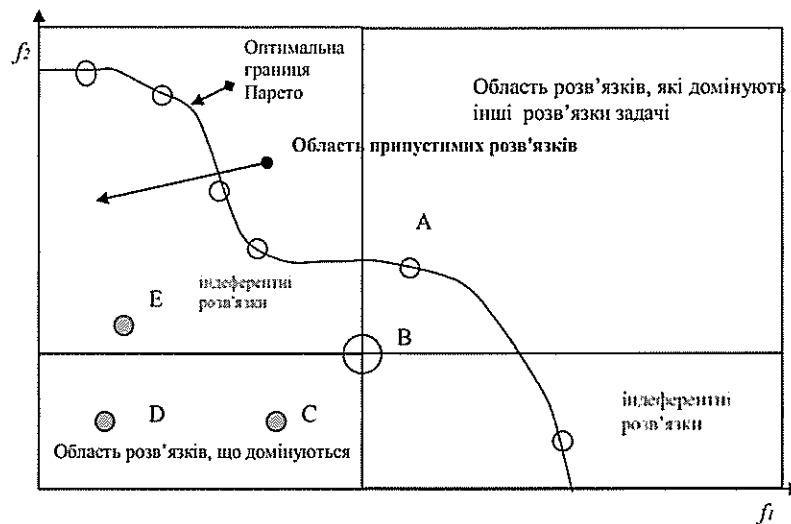


Рис. 2.2 Оптимальність за Парето

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

$$u = v \Leftrightarrow \forall i \in \{1, 2, \dots, k\} : u_i = v_i \quad (20)$$

$$u \geq v \Leftrightarrow \forall i \in \{1, 2, \dots, k\} : u_i \geq v_i \quad (21)$$

$$u > v \Leftrightarrow u \geq v \wedge u \neq v \quad (22)$$

Використовуючи ці визначення, виявляється, що  $B > C, C > D$  і, отже,  $B > D$ . Порівнюючи  $B$  і  $E$ , бачимо, що ці рішення не перевищують один одного, у тому числі  $B \neg > E$  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. 2.2. показано домінуючі області, ті, що домінуються, й індіферентні області відносно точки  $B$ . На рис. 2.2 існує одна точка  $A$ , серед  $B, C, D, E$ , для якої вектор розв'язків не домінується ніяким вектором рішень. Це може свідчити, що  $A$  є оптимумом Парето. [5] На рис. 2.2 білі кружечки, позначають оптимальні розв'язки, що є індіферентними один до одного. Ці розв'язки утворюють оптимальну множину Парето, а відповідний вектор цільових функцій – оптимальну межу Парето.

Отже, в багатокритеріальних задачах відсутнє єдине оптимальне рішення, а замість цього існує множина компромісних оптимальних рішень. Ні одне з цих рішень не може бути визначено як найкраще без додаткового дослідження його переваг.

Алгоритм багатокритеріальної оптимізації має відповідати наступним умовам:

- мінімізувати відстань від межі, яка не домінується, до оптимальної Парето.
- використовувати для оптимізації лише підмножину критеріїв, що знаходиться на межі оптимальності Парето або в безпосередній близькості до неї.
- встановлювати поступки для окремих критеріїв з визначеної підмножини критеріїв, з урахуванням яких знаходити оптимальні розв'язки по компромісних цільових функціях.

Перейдемо до алгоритму пошуку оптимальної системи управління підприємством, яку ми вибираємо за багатьма критеріями. Припустимо, що маємо

низку критеріїв  $f_1(x), f_2(x), \dots, f_k(x)$ . Знаходимо домінуючий критерій  $f_i(x)$ , який знаходиться на межі оптимальності Парето. Обмеженнями в даній задачі будуть  $X_f = \{x \in X \mid e(x) \leq \Omega\}$ . До складу обмежень входять інші критерії, які задовольняють вираз  $f_j(x) \neq f_i(x), j = \overline{1, k}; i = \overline{1, k}$ . Кожен критерій в багатокритеріальній задачі оптимізації має свій власний оптимум, який може знаходитися в різних точках простору допустимих рішень. Так як неможливо бути одночасно в усіх цих точках, то для вирішення задачі необхідно оптимізувати за одним з критеріїв, а решту критеріїв використовувати як обмеження. Приймаючи змінні  $x_i (x_i = \overline{0, 1})$  для окремих інформаційних систем, які вибираються для впровадження, ми можемо проводити оптимізацію, щоб знайти систему ERP, яка відповідає оптимальному значенню даного критерію. [5] Маючи на увазі, що вибір інформаційної системи відбувається на основі конкуруючих критеріїв, наступним кроком є вибір іншої цільової функції (критерію) і розрахунок оптимального рішення для цієї задачі на основі цього критерію. 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 даної оптимізаційної задачі дасть іншу інформаційну систему для впровадження.

Виконуємо  $k$  ітераційних кроків, на кожному з яких виконуємо оптимізацію послідовно за всіма критеріями підмножини, що знаходиться на межі оптимальності Парето або безпосередньо близько до неї. Як результат отримуємо низку розв'язків на рис. 2.3 для критеріїв, які визначають множину можливих варіантів упровадження систем ERP на підприємстві [5].

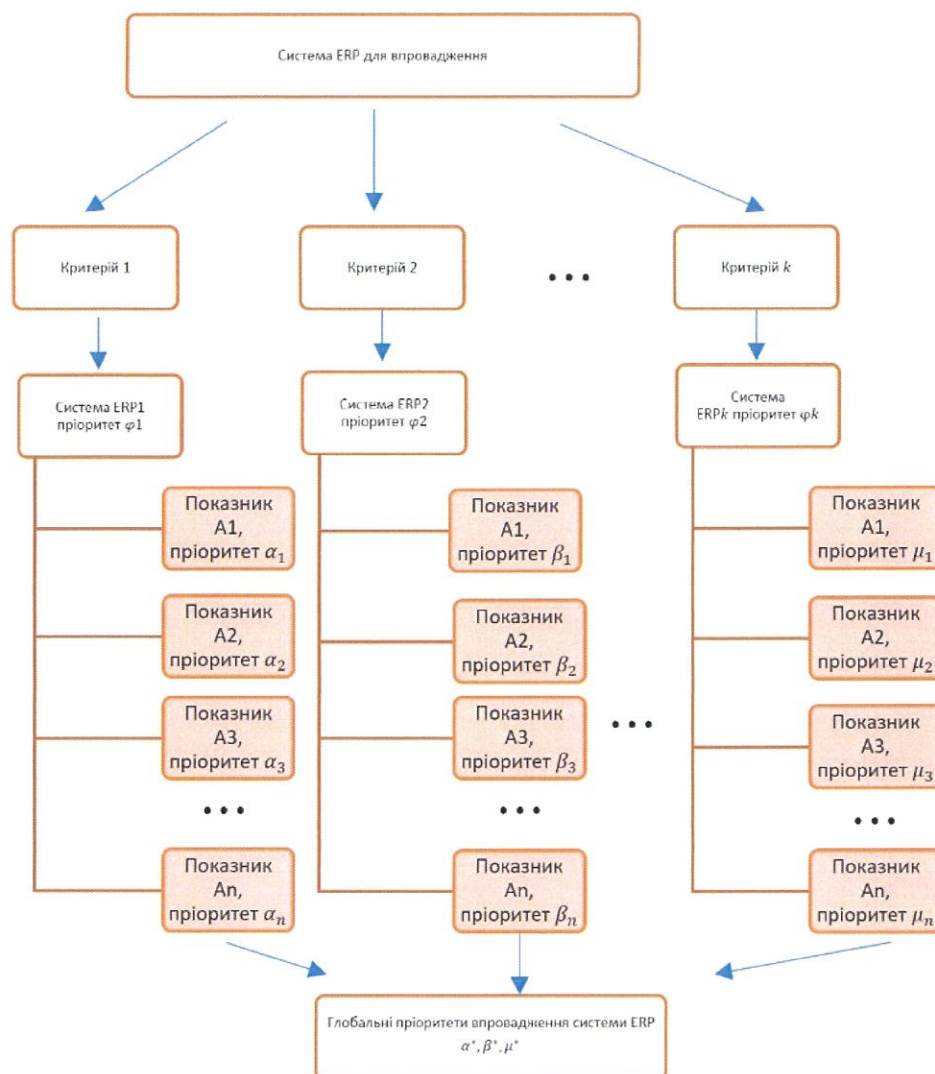


Рис. 2.3 Алгоритм вибору системи ERP

Критерії, показані на рис. 3, конкурують між собою, тому для визначення найкращого варіанту кожен критерій доповнюється підмножиною однакових показників, що відображають ефективність системи. Загалом, ці показники мають різний вплив на ефективність конкретної ERP, тому за допомогою методу експертних оцінок кожному з них надається пріоритет від 0 до 1, причому сума пріоритетів для кожного критерію дорівнює одиниці. Крім того, підприємство-замовник має власні вподобання та оцінку переваг систем, що впроваджуються, тому системи ERP мають різні перспективи та пріоритети впровадження. Внаслідок цього доцільно визначити методом експертних оцінок пріоритети  $\varphi_i$  систем ERP, що впроваджуються. Сума всіх пріоритетів  $\varphi_i$ .

На останньому кроці обчислюються глобальні пріоритети. За кожним критерієм розраховується один показник глобального пріоритету відповідно  $\alpha^*, \beta^*, \dots, \mu^*$ . 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:

$$\begin{cases} \alpha^* = \sum_{i=1}^n \alpha_i^* \varphi_1 \\ \beta^* = \sum_{i=1}^n \beta_i^* \varphi_2 \\ \dots \\ \mu^* = \sum_{i=1}^n \mu_i^* \varphi_k \\ \alpha^* + \beta^* + \dots + \mu^* = 1 \end{cases} \quad (23)$$

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

Таким чином, Демиденко М.А. [24] було розроблено систему методичних положень, які можуть бути використані на практиці. Автором Також був розроблений метод оптимального багатокритеріального вибору ERP-системи в умовах невизначеності, що дає можливість підприємствам обирати ERP-систему з урахуванням власних критеріїв оптимальності. Результати дослідження можуть допомогти підприємствам знизити витрати на впровадження ERP-системи. Також можна зауважити, що розроблений метод та алгоритм можуть бути реалізовані в додатках для комп'ютерів та мобільних пристроїв, щоб автоматизувати процес вибору системи ERP та її складу.

### **2.3 Стохастичне моделювання процесу вибору ERP-системи з використанням W-функцій, теорії замкнутих потокових графів**

В сучасних умовах конкурентного середовища та невизначеності, ефективно управління підприємством потребує використання сучасної управлінської інформаційної системи, що інтегрує максимальний комплекс функцій для управління всіма бізнес-процесами підприємства, таких як управління

маркетингом та продажами, постачанням, фінансами аспектами, життєвим циклом виробу від конструкторських розробок до масового виробництва та сервісного обслуговування тощо. Така управлінська інформаційна система необхідна для прийняття ефективних управлінських рішень.

Впровадження ERP-системи на підприємстві - це багатоетапний та складний процес, який вимагає постійних зусиль для подолання різноманітних ендогенних і екзогенних факторів. Цей потребує комплексної оцінки витрат і позитивних ефектів, які будуть отримані в результаті. На успішне впровадження автоматизованої системи впливають такі фактори, як чіткі цілі та вимоги до проекту, стратегія впровадження, проведення перед проектним обстеження підприємства, побудова моделей "як є" і "як буде".

Щоб підвищити ефективність реалізації проекту з вибору та інтеграції управлінської інформаційної системи в систему управління підприємством, В. Г. Балан пропонує застосувати стохастичне моделювання на основі W-функцій та теорії замкнутих потокових графів [25].

Це дозволить:

- 1) наочно та повно представити всі етапи проекту у вигляді GERT-сіток;
- 2) врахувати стохастичну природу процесу впровадження та вплив різних факторів за допомогою ймовірнісних міркувань щодо часу здійснення кожної операції та її виконання;
- 3) дослідити вплив ключових факторів успіху та провалу на різні складові процесу впровадження;
- 4) визначити основні ризики, пов'язані з реалізацією проекту та окремих його етапів;
- 5) підготувати організаційні зміни у зв'язку з впровадженням системи а також збалансувати діяльність підрозділів та відповідальних осіб в процесі реалізації проекту;
- 6) оцінити тривалості етапів впровадження управлінської інформаційної системи та всього проекту загалом;
- 7) визначити ймовірності завершення окремих етапів а також отримання

результатів у процесі реалізації проекту;

8) оптимізувати планування потреби в різноманітних ресурсах на всіх етапах проекту;

9) підвищити рівень та ефективність проектних управлінських рішень;

10) отримати інформацію про можливості для подальшого вдосконалення всіх підсистем підприємства

У GERT-сітках [25] для урахування стохастичної природи процесів, що аналізуються використовуються два типи вузлів: вузли з детермінованими вихідними функціями (рис.2.4) та вузли з ймовірнісними вихідними функціями (рис. 2.5), які мають відповідні позначення.



Рис. 2.4. GERT-вузол з детермінованим виходом



Рис. 2.5 GERT-вузол з ймовірнісним виходом

виходом

Слід зазначити, що кожна  $k$ -та операція стохастичної моделі характеризується певною ймовірністю  $p_k$  а також часом виконання  $t_k$  (з використанням певного розподілу), які можуть бути трансформовані в один параметр –  $W$ -функцію ( $W_k = p_k * M_k$ , де  $M_k$  – умовна твірна функція моментів випадкової величини  $t_k$ , яка враховує тип її ймовірнісного розподілу (нормальний, експоненційний, ..., вироджений [9])). Також потрібно розуміти, що час виконання кожної операції в GERT-сітках буде варіюватися в залежності від конкретного підприємства, обсягу запланованих робіт та інших факторів, які впливають на стохастичний характер та невизначеність його діяльності.

Однією з характерних рис GERT-сітки є те, що вона може бути перетворена за допомогою правил редукції в еквівалентну сітку з однією дугою, оскільки складається з паралельних і/або послідовних ланцюжків і/або петель, і це узагальнюється на будь-яку GERT-сітку, яка може бути перетворена шляхом комбінування базисних перетворень (редукція послідовних, паралельних дуг та петель).

На рис. 2.6 зображена стохастична модель, яка описує процес вибору та впровадження управлінської інформаційної системи ERP-класу. Ця модель містить два основні блоки: 1) блок вибору конкретної УІС для впровадження і 2) блок безпосередньої імплементації цієї системи в систему управління підприємством.

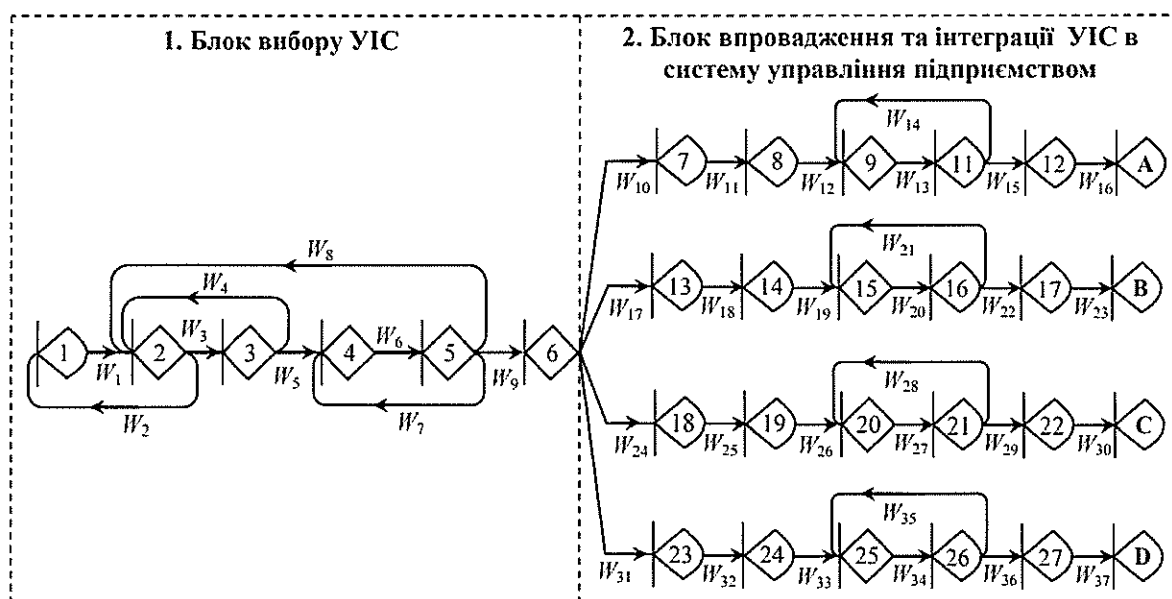


Рис. 2.6 Стохастична модель вибору системи ERP-класу [25].

Розглянемо детальніше характерні особливості кожного блоку:

**Блок вибору ERP (УІС).** Розглядаються питання, пов'язані з проведенням діагностики конкретного підприємства, потреб його автоматизації та безпосередньо вибору управлінської інформаційної системи. Методика вибору інформаційної системи управління ресурсами підприємства ERP-класу, яка передбачає виконання послідовних етапів (формування системи цілей впровадження системи; формування дерева критеріїв оцінювання альтернативних варіантів; формування набору альтернатив; оцінювання та вибір альтернатив на основі модифікованого методу аналізу ієрархій) для побудови складної ієрархії: цілі – підцілі – групи критеріїв – критерії – альтернативи та використання модифікованого методу аналізу ієрархій з нечіткими експертними оцінками.

У блоці вибору ERP (УІС) ( розробленої авторами моделі прийнято такі позначення  $W$ -функцій для відповідних операцій:

$W_1$  – формування й підготовка координаційної робочої групи проекту;

$W_2$  – доукомплектування та коригування складу робочої групи проекту;

$W_3$  – початкове обстеження підприємства та ідентифікація вимог підприємства;

$W_4$  – отримання нової інформації про потреби в автоматизації його діяльності.

Результатом має бути не простий опис «як є», але й формулювання рекомендацій «як має бути». Зазначимо, що у випадку залучення експертів по конкретній ERP від зовнішньої компанії-консультанта (розробника) або ж у випадку реалізації проекту повною мірою «під ключ» силами зовнішньої компанії-консультанта (розробника), які мають досвід численних впроваджень систем різного класу на різних підприємствах дають змогу не тільки рекомендувати можливі шляхи вирішення відомих проблем, але й виявляти «непомічені» проблемні питання.

$W_5$  – формування початкового переліку альтернативних ERP та побудова матриці «рішень» із використанням інформації про ERP за критеріями оцінювання;  $W_6$  – визначення обмежень за кожним критерієм оцінювання, «відсівання» альтернативних варіантів ERP, які їх не задовольняють встановленим критерійним обмеженням та застосування методів багатокритеріального аналізу для оцінювання «переважності» виділених ERP;  $W_7$  – виявлення необхідності в коригуванні результатів рейтингування шляхом використання інших методів багатокритерійного оцінювання;  $W_8$  – перегляд концепції автоматизації підприємства;  $W_9$  – прийняття рішення про впровадження обраної ERP і модернізація комп'ютерної техніки та мережевого обладнання відповідно до вимог даної ERP.

1. Блок впровадження ERP Автором методики В.Г. Баланом наведено приклад використання системи BS Integrator ERP консалтингової компанії Бізнес Сервіс [25].

Основними особливостями BSI ERP є те, що система, розроблена в Україні з розумінням потреб і специфіки роботи вітчизняних підприємств та врахуванням світового досвіду створення й експлуатації великих систем управління.

Можливі варіанти впровадження даної системи включають наступне:

- 1) Повна реалізація проекту власними зусиллями;
- 2) Реалізація проекту за допомогою зовнішньої компанії-консультанта (розробника);
- 3) Залучення керівника проекту зовнішньої компанії-консультанта (розробника);
- 4) Залучення експертів з конкретної УІС зовнішньої компанії-консультанта (розробника).

Відповідно до вищезазначених варіантів впровадження ERP уведемо такі позначення:  $W_{10}$  – узагальнення результатів попереднього обстеження підприємства та вибір варіанту здійснення проекту повністю власними силами;  $W_{17}$  – узагальнення результатів попереднього обстеження підприємства та вибір варіанту реалізації проекту повною мірою «під ключ» силами зовнішньої компанії-консультанта (розробника);  $W_{24}$  – узагальнення результатів попереднього обстеження підприємства та вибір варіанту залучення керівника проекту від зовнішньої компанії-консультанта (розробника);  $W_{31}$  – узагальнення результатів попереднього обстеження підприємства та вибір варіанту залучення експертів по конкретній ERP від зовнішньої компанії-консультанта (розробника).

Варто відзначити, що кожен розділ блоку імплементації системи має однаковий набір дій, які можуть мати різні значення параметрів (наприклад, ймовірності та тривалості). Отже, були введені наступні позначення:  $W_{11}, W_{18}, W_{25}, W_{32}$  – складання й затвердження проектного завдання;  $W_{12}, W_{19}, W_{26}, W_{33}$  – виконання чорнових конфігурацій системи (дані операції можуть бути деталізовані шляхом декомпозиції на такі роботи: автоматизація процесів продажів, кадрового обліку і заробітної плати; автоматизація виробничого і фінансового обліку, управління запасами; автоматизація управлінського обліку та бюджетування; автоматизація оперативного управління виробництвом тощо);  $W_{13}, W_{20}, W_{27}, W_{34}$  – тестування налаштувань;  $W_{14}, W_{21}, W_{28}, W_{35}$  – виявлення необхідності в коригуванні та виправленні налаштувань;  $W_{15}, W_{22}, W_{29}, W_{36}$  –

остаточне налаштування системи та навчання користувачів;  $W_{16}, W_{23}, W_{30}, W_{37}$  – документування налаштувань та задача системи в експлуатацію [31].

Для використання теорії замкнутих поточкових графів у сітках, потрібно додати додаткову дугу до кожного вузла закінчення з фіктивною  $W$ -функцією ( $W_A(s), W_B(s), W_C(s)$  та  $W_D(s)$ ), що з'єднують початковий вузол із кінцевими  $A, B, C$  та  $D$  відповідно (рис.2.7) і після цього для кожного замкнутого стохастичного графа записати топологічне рівняння (рівняння Мейсона), яке у загальному випадку має такий вигляд:  $1 - \sum_i W(L_i(2)) + \dots + (-1)^m \sum_p W(L_p(m)) = 0$ , де  $\sum_i W(L_i(k))$  – сума  $W$ -функцій всіх петель  $k$ -порядку в замкнутому графі.

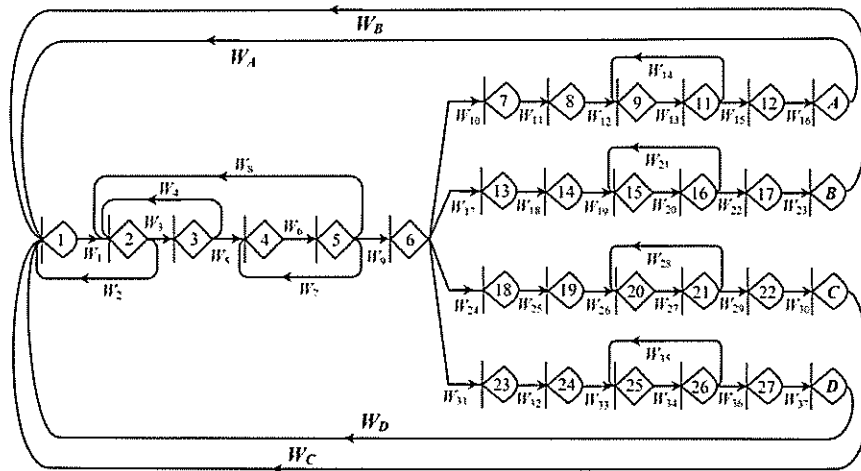


Рис. 2.7 Замкнутий поточковий граф стохастичної моделі вибору та впровадження управлінської інформаційної системи ERP-класу [25].

Отже, застосування рівняння Мейсона дозволяє розрахувати ймовірності виконання кожного кінцевого вузла, а також математичне сподівання та дисперсію часу виконання всієї мережі. Крім цього, аналіз рівняння Мейсона дозволяє визначити значення середньоквадратичного відхилення очікуваного часу завершення для кожного з кінцевих вузлів у стохастичній моделі. Це дозволяє оцінити ризики, пов'язані з відповідними вузлами.

Таким чином, нами було розглянуто стохастичну модель вибору та впровадження управлінської інформаційної системи ERP-класу (BS Integrator) на

підприємстві. Ця модель базується на теорії замкнутих потокових графів та W-функціях, що дозволяє наглядно та достатньо повно представити всі етапи проекту інтеграції системи в систему менеджменту підприємства. Використання ймовірнісних міркувань щодо часу здійснення кожної операції та її виконання дозволяє врахувати стохастичну природу процесу впровадження і вплив різноманітних факторів на нього. Крім того, ця модель дозволяє завчасно виявити можливі проблемні моменти та "вузькі місця" процесу впровадження. Це збільшує шанси успішного впровадження інформаційної системи управління та її ефективного використання в майбутньому [27].

Завдяки розрахунковій схемі, що реалізована в системі "Mathematica", можна провести дослідження чутливості результатів в залежності від можливих змін вхідних параметрів системи, враховуючи ймовірнісні міркування щодо часу здійснення операцій, крім обчислення необхідних параметрів сіткової моделі. Для подальших аналізів автором запропоновано вдосконалити дві складові моделі:

- першу, що пов'язана з вибором управлінської інформаційної системи і включає формування системи вимог до управлінських інформаційних систем та адаптацію критеріїв їх оцінювання відповідно до специфіки діяльності підприємства і потреб його автоматизації, використання інструментів багатокритеріального аналізу альтернативних варіантів з урахуванням нечіткості даних (у вигляді інтервалів чи вербальної інформації), зокрема методів, так званої, fuzzy logic.
- другу, що пов'язана з безпосереднім етапом впровадження управлінської інформаційної системи і включає оптимізацію відповідних заходів і зусиль на кожному з етапів проекту з урахуванням особливостей та специфіки діяльності підприємства (розмірів, галузевої належності тощо) та пошуку можливих інструментів зниження ризиків окремих процесів проекту.

Отже, особливість прийняття управлінських рішень в області впровадження ІТ-технологій обумовлені перш за все тим, що управління нововведеннями відбувається у умовах невизначеності об'єкта управління, навколишнього середовища, майбутнього ефекту від впровадження ERP. Тому менеджмент

підприємства повинен мати навички та володіти методами СППР для прийняття рішень в таких умовах, оцінювати ефективність інвестицій в ІТ-проекти та забезпечувати відповідність рішень стратегічним цілям компанії. В таких ситуаціях використання стохастичних сіткових графів для моделювання процесів оцінки та впровадження системи ERP дозволяє підвищити рівень обґрунтованості рішення щодо впровадження.

## **РОЗДІЛ 3 Використання математичного інструментарію для вибору ERP-системи**

### **3.1. Алгоритм формалізації оцінки вибору ERP-системи.**

У першому та другому розділах досліджено та систематизовано існуючі економіко-математичні методи, що можуть бути використані в процесі вибору корпоративної інформаційної системи планування і управління ресурсами ERP-класу.

Третій розділ бакалаврського дослідження присвячений побудові алгоритму вибору ERP-системи та розробці практичних рекомендацій для підприємств, що вирішують питання впровадження таким систем.

Актуальність проведеного дослідження полягає в тому, що описаний алгоритм дозволить структурувати вихідні дані, вимоги для вибору системи, дозволить однозначно визначити ERP-систему, рекомендовану до впровадження. Використаний методичний підхід на основі математичного моделювання пошуку ERP-системи, яка найбільш повно задовольняє вимогам компанії дозволить обрати оптимальний варіант інформаційної системи для кожного підприємства. В основі алгоритму покладено метод вибору ERP-системи за власними критеріями оптимальності. Використання алгоритму на практиці дозволить знизити витрати на запровадження ERP-системи, також даний методологічний підхід може бути реалізовано в програмних додатках з метою автоматизації.

Отже, запровадження ERP-системи – це складний технологічний процес, що потребує від підприємства чималих витрат фінансових ресурсів та часу персоналу. В той же час цей процес пов'язаний з багатьма важко передбачуваними зовнішніми та внутрішніми факторами, наслідками такої невизначеності може бути невідповідність кінцевого результату початковим очікуванням. Особливо гостро дана проблема проявляється при запровадженні складних, багатofункціональних систем, що орієнтовані на вирішення не однієї, а цілого спектру різноманітних завдань управління підприємством.

У випадку неможливості ефективного використання запровадженої ERP-

системи, підприємство буде вимушене нести як прямі фінансові втрати (витрати на придбання та запровадження), так і додаткові поточні та майбутні витрати – обслуговування зайвих або недосконало побудованих бізнес-процесів. В той же час успішне запровадження ERP-системи дозволить підприємству підвищити ефективність бізнес-процесів, скоротити час на прийняття рішень, тощо.

Тому прийняття рішення щодо обрання конкретної ERP-системи, яка найкращим образом відповідає вимогам підприємства, наявність потенціальних переваг від впровадження є однією із ключових завдань для менеджменту.

Розглянемо послідовність на методологічний математичний апарат запропонований в алгоритмі. З метою вирішення ключових завдань, що стоять перед менеджментом компанії запропоновану в алгоритмі модель прийняття рішення пропонується розділити на два рівня:

- рівень автоматизації ключових бізнес-процесів;
- перевірка на відповідність завдань, які вирішуються ERP стратегічним цілям компанії.

В загальному вигляді алгоритм має наступний вигляд (рис. 3.1):

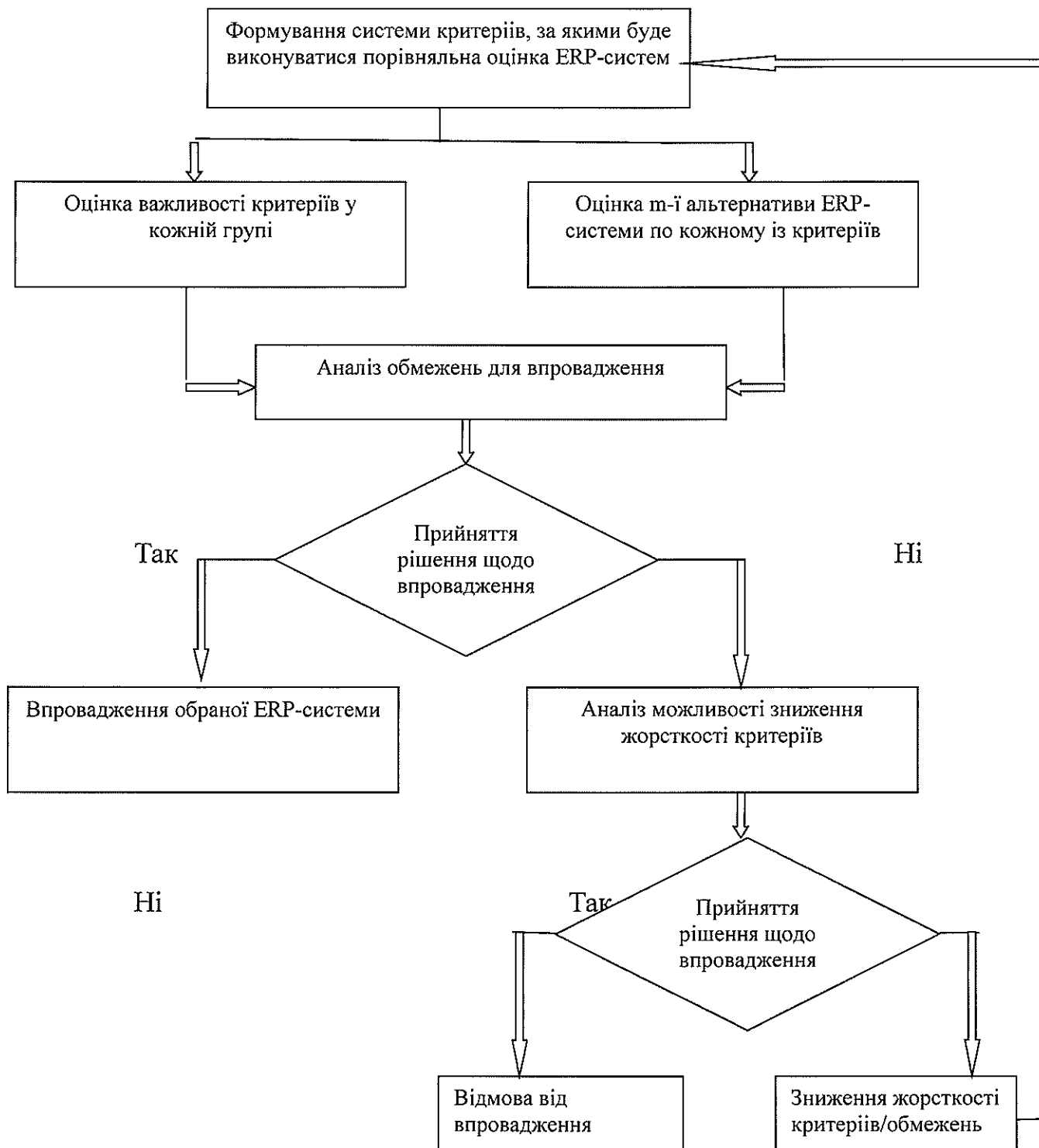


Рис 3.1. Алгоритм прийняття рішення щодо вибору ERP-системи.

Далі розглянемо формалізовану процедуру роботи алгоритму:

*1. Формування системи кількісних та якісних критеріїв.*

На даному етапі формується перелік критеріїв для подальшого вибору ERP-системи, що буде задовольняти таким критеріям. Критерії оцінки ERP-систем групуються в групи у відповідності з функціональними блоками ERP-систем, що пов'язано з різним рівнем важливості функціональних блоків при досягненні середньострокових та довгострокових цілей компанії. Принципи визначення ступеня важливості критеріїв оцінки доцільності впровадження ERP-систем формалізуються відповідно стратегічних цілей та завдань компанії.

Для оцінки ERP-систем нами обрано наступні критерії:

- наявність галузевих рішень (якість галузевих рішень);
- вартість проекту впровадження;
- гнучкість системи;
- термін впровадження;
- репутація вендора (постачальника) на ринку IT систем;
- термін повернення інвестицій.

## 2. *Оцінка важливості критеріїв у кожній групі.*

Для визначення важливості критеріїв використовуються експертні оцінки менеджменту компанії. Зведення експертних думок до кількісних оцінок відбувається за допомогою алгоритму прийняття рішень на основі методу аналізу ієрархій (MAI), розробленого Томасом Сааті, за системою оцінок, що виставляються за цією шкалою:

1-рівноцінність; 3-помірна перевага; 5-сильна перевага; 7-дуже сильна перевага; 9-максимальна перевага.

На першому етапі проведення аналізу співставимо критерії порівняння ERP-систем у матриці парних порівнянь, розставимо пріоритети, вагові коефіцієнти критеріїв наведені у таб. 3.1.

Таблиця 3.1

## Вага критеріїв при виборі ERP-системи

№	Критерій	Пріоритет
1	Наявність галузевих рішень (якість галузевих рішень)	0,09
2	Вартість проекту впровадження	0,44
3	Гнучкість системи	0,03
4	Термін впровадження	0,15
5	Репутація вендора (постачальника) на ринку ІТ систем	0,18
6	Термін повернення інвестицій	0,07

Для визначення важливості критеріїв у роботі використовуються матриці парних порівнянь критеріїв. Матриці парних порівнянь будуються для всіх критеріїв, що відносяться до функціонального блоку. Парні порівняння проводяться у термінах домінування одного елемента над іншим.

### 3. Оцінка $m$ -ї альтернативи ERP-системи по кожному критерію.

По кожному критерію складемо матрицю парних порівнянь, ми отримаємо 6 (шість) матриць парних порівнянь. У кожній з матриць зібрані та систематизовані експертні оцінки значущості двох ERP-систем відносно одна одної у розрізі кожного критерія. Отримані судження виражаються у цілих числах. Аналіз відповідності функціонала різних ERP-систем критеріям оцінки може проводитися паралельно з визначенням вагових коефіцієнтів критеріїв, оскільки у цілях підвищення якості остаточної оцінки і зниження впливу на думки експертів факторів, зовнішніх щодо відношення до процесу оцінки ERP-систем. Експертній групі, що проводить оцінку відповідності ERP-систем заданим критеріям результати другого етапу моделювання не розкриваються. Далі формується матриця значень критеріїв:

$$M = \begin{pmatrix} 0 & K_1 & K_2 & \dots & K_k \\ A_1 & e_{11} & e_{12} & \dots & e_{1k} \\ A_2 & e_{21} & e_{22} & \dots & e_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ A_m & e_{m1} & e_{m2} & \dots & e_{mk} \end{pmatrix} \quad (24)$$

де:  $A_1 \dots A_m$  - назви ERP-систем, що розглядаються;

$V_1 \dots V_k$  – критерії оцінки ERP-систем, що відносяться до групи критеріїв  $V$ ;

$e_{mk}$  - значення, що відповідають  $m$ -й системі і  $k$ -тому критерію.

Серед тих критеріїв, що входять в вектор  $V$  можуть бути як кількісні так і якісні параметри, тому при аналізі відповідності ERP-систем задачам компанії необхідна консолідація якісних і кількісних критеріїв у єдину шкалу оцінок. В середині кожної групи критеріїв виділяються кількісна і якісна підгрупа критеріїв. Відповідно серед кількісних критеріїв виділяються три типи критеріїв: максимізуючі, мінімізуючі і критерії, значення яких повинно бути близьким до еталонних. Поділ кількісних критеріїв за типами необхідно для їх подальшого агрегування у єдину систему для подальшого вирішення оптимізаційної задачі на пошук максимуму.

Для кожного з параметрів  $e \in E_d$  визначаються мінімальні, максимальні і оптимальні(задані на першому етапі) значення.

Для подальшого аналізу формується вектор значень, відносно яких буде проводитися нормалізація:  $e_{norm} = (e_{norm,1}, e_{norm,2}, \dots, e_{norm,k})$ .

Вектор  $e_{norm}$  формується наступним чином:

- для критеріїв, значення яких повинно бути максимальним, значення  $e_{norm}$  приймається мінімальним;
- для критеріїв, значення яких повинно бути мінімальним, значення  $e_{norm}$  приймається максимальним;
- для критеріїв, значення яких повинно прямувати до заданої константи, значення  $e_{norm}$  приймається константою.

На основі значень, визначених на етапі формування вектору еталонних для компанії критеріїв, для кожної альтернативи ( $A_m$ ) будується нормований показник  $x(e_j)$ . Отже, ми маємо 6 матриць, побудованих за 6 критеріями, розрахуємо для кожної матриці оцінку узгодженості, для того щоб виключити помилки при

проведенні дослідження. Якщо оцінка узгодженості матриці менш ніж 10%, то це говорить про логічність виставлених експертами оцінок. Якщо оцінка узгодженості знаходиться і інтервалі від 10%-20%, то матриця має допустимий рівень узгодженості. Нижче наведена таблиця оцінок узгодженості матриць на обраними критеріями таб.3.2.

Таблиця 3.2

## Оцінка узгодженості матриць парних порівнянь

№ критерія	Найменування критерія	Оцінка узгодженості матриці
1	Наявність галузевих рішень (якість галузевих рішень)	12,4%
2	Вартість проекту впровадження	17,90%
3	Гнучкість системи	18,74%
4	Термін впровадження	9,97%
5	Репутація вендора (постачальника) на ринку ІТ систем	4,28%
6	Термін повернення інвестицій	10,02%

Після того, як вагові коефіцієнти критеріїв за матрицями парних порівнянь отримані, результати оцінки формуються *вектори ваг* для кожної групи критеріїв:

$$\begin{cases} V^\beta = (v_1^\beta, v_2^\beta, \dots, v_k^\beta) \\ \sum_{i=1}^k v_i = 1 \end{cases} \quad (25)$$

де:  $V^\beta$  - вектор ваг критеріїв В,  $k$  - кількість критеріїв групи В.

Окрім безпосередньої оцінки важливості критеріїв на другому етапі формується вектор  $e^*$ :  $(e_1^*, e_2^*, \dots, e_n^*)$ , елементами якого є еталонні значення тих кількісних критеріїв, до яких має прагнути компанія.

Розглянемо для прикладу матрицю парних порівнянь ERP-систем за першим критерієм – наявність галузевих рішень, проаналізуємо оцінки, виставлені за шкалою Сааті, що наведені в таб. 3.3

Таблиця 3.3

Матриця парних порівнянь ERP-систем за критерієм наявності галузевих рішень.

Наявність галузевих рішень	SAP R\3	1С: Підприємство	Oracle Application	Microsoft Dynamics Nav	Microsoft Dynamics Ax	Галактика ERP	Вектор переваг
SAP R\3	1	1/2	2	2	3	3	0,205
1С: Підприємство	2	1	2	3	6	2	0,322
Oracle Application	1/2	1/2	1	2	2	2	0,127
Microsoft Dynamics Nav	1/2	1/3	1/2	1	1/3	1	0,084
Microsoft Dynamics Ax	1/3	3	1/2	3	1	1	0,154
Галактика ERP	1/3	1/2	1/2	1	1	1	0,108
Сума	4,6	5,8	4,5	12	13,3	10	1,000

По діагоналі матриці стоять одиничні значення, та як кожна ERP-система відносна самої себе є рівнозначною. Система SAP R\3 має близько тридцяти стандартизованих галузевих рішень, але рішення є типовими і потребують значного доопрацювання, а в подальшому налаштування. 1С: Підприємство також має спеціалізовані рішення для 45 галузей, крім того можливо вводити до промислової експлуатації без суттєвого доопрацювання та налаштування. Тому коефіцієнт переваги SAP R\3 над 1С: Підприємство складає  $\frac{1}{2}$ . Oracle Application представлена 15 галузевими рішеннями, що за кількістю поступається SAP R\3, тому коефіцієнт переваги SAP R\3 до Oracle складає 2. Microsoft Dynamics Nav та Microsoft Dynamics Ax відомі великою кількістю вузьких галузевих рішень, але ті рішення часто неповністю охоплюють специфіку ведення бізнесу країн Східної Європи та не передбачають особливості бізнес-процесів для деяких галузей, в зв'язку з чим галузеві рішення Microsoft потребують додаткових розробок та налаштувань. Отже,

експертні оцінки пріоритетів SAP R/3 над Microsoft Dynamics Nav та Microsoft Dynamics Ax склали 2 та 3 відповідно, таким чином SAP R/3 помірно переважає системи Oracle, ERP-система Галактика не має галузевих обмежень, так як її модулі мають універсальні налаштування. Кількість галузевих рішень у Галактика ERP -8, поступається за кількістю SAP, тому SAP R/3 помірно переважає Галактика ERP.

Треба також зазначити, що дослідження ринку ERP-систем, що передують прийняттю управлінського рішення щодо вибору ERP-системи для окремого підприємства, буде враховувати наявність галузевого рішення, якості його реалізації, обсяги його доопрацювання та налаштування. Аналіз у межах дослідження бакалаврської роботи здійснюється без прив'язки до конкретного підприємства, тому для обґрунтування методологічного підходу вибрано саме показники – наявність галузевих рішень.

Для матриці парних порівнянь у розрізі *критерію вартість впровадження* оцінювалася інформація постачальників (вендорів) про вартість ліцензій та базового пакету впровадження у порівнянні з обсягом послуг, які компанія отримує при впровадженні. Вектор переваг за критерієм вартість впровадження довів, що випереджає SAP R/3 зі значенням 0,24, а на останньому місці знаходиться Галактика ERP. Для матриці парних порівнянь за *критерієм гнучкість системи*, до уваги приймалися експертні оцінки з різних відкритих джерел інформації: інтерв'ю менеджерів компаній замовників, менеджерів компаній-підрядників, відгуки користувачів та розробників на галузевих форумах. Інформація для матриці парних порівнянь за *критерієм термін впровадження* була отримана з офіційних сайтів вендорів, де наводяться середні терміни впровадження стандартного пакету ERP. За *критерієм надійність постачальника (вендора)* на ринку ІТ продуктів відображається інформація отримана на основі маркетингових досліджень, враховується термін роботи на ринку, позиція в рейтингу по відношенню до конкурентів. *Критерій термін повернення інвестицій* оцінювався виходячи з інформації про базову вартість впровадження, очікуваній економії в подібних компаніях, що впровадили ERP.

Після того як експертами виставлені оцінки кожної з ERP-системи, що увійшли до вибірки, отримані параметри додаються до матриці  $M_B^e$ . Для оцінок якісних критеріїв значення  $e_{norm}$  приймається мінімальним. Нормування проводиться аналогічно нормуванню кількісних критеріїв.

Після проведення нормування формується матриця нормованих значень.

Отримані нормовані значення множаться на отримані на отримані на другому етапі вагові коефіцієнти і вибір ERP-системи зводиться до вирішення оптимізаційної задачі для пошуку максимуму:

$$F = \sum_{i=1}^m (\sum_{j=1}^k x_{ij}) \cdot v_j \rightarrow \max(i), \quad (26)$$

$$\sum_{j=1}^k v_j = 1, \quad (27)$$

$$v_j \geq 0, \quad (28)$$

$$x_{ij} \in x^*; i = 1 \dots m, j = 1 \dots k. \quad (29)$$

$x^*$ - область допустимих значень нормованих критеріїв.

Результатом даного типу побудови моделі прийняття рішень про впровадження ERP-системи є оцінка супер-критерію вибору ERP-системи для подальшого прийняття рішення про впровадження.

Зауважимо, що у останньому стовпчику Таблиці 3.3 наведено вектор переваг, тобто ранжування переваг. Вектор переваг розраховано за допомогою методу аналізу ієрархій (MAI), спочатку обчислюємо середнє геометричне значення для кожного рядка матриці парних порівнянь. Для цього перемножимо всі значення у кожному рядку таблиці за кожним критерієм і візьмемо корінь степені, що дорівнює кількості елементів у рядку.

У нашому випадку після обчислення були отримані такі значення:

$$\text{SAP R\3: } \sqrt[6]{(1 \cdot \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 3)} \approx 1.350$$

$$1\text{C: Підприємство: } \sqrt[6]{(2 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 6 \cdot 2)} \approx 2.137$$

$$\text{Oracle Application: } \sqrt[6]{(\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2)} \approx 0.841$$

$$\text{Microsoft Dynamics Nav: } \sqrt{\left(\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot \frac{1}{3} \cdot 1\right)^{\frac{1}{6}}} \approx 0.544$$

$$\text{Microsoft Dynamics Ax: } \sqrt{\left(\frac{1}{3} \cdot 3 \cdot \frac{1}{2} \cdot 3 \cdot 1 \cdot 1\right)^{\frac{1}{6}}} \approx 1.000$$

$$\text{Галактика ERP: } \sqrt{\left(\frac{1}{3} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1\right)^{\frac{1}{6}}} \approx 0.606$$

Потім нормалізуємо ці значення, поділивши їх на суму всіх отриманих значень:

$$\text{SAP R\3: } \frac{1.350}{1.350+2.137+0.841+0.544+1.000+0.606} \approx 0.21$$

$$\text{1С: Підприємство: } \frac{2.137}{1.350+2.137+0.841+0.544+1.000+0.606} \approx 0.32$$

$$\text{Oracle Application: } \frac{0.841}{1.350+2.137+0.841+0.544+1.000+0.606} \approx 0.13$$

$$\text{Microsoft Dynamics Nav: } \frac{0.544}{1.350+2.137+0.841+0.544+1.000+0.606} \approx 0.08$$

$$\text{Microsoft Dynamics Ax: } \frac{1.000}{1.350+2.137+0.841+0.544+1.000+0.606} \approx 0.15$$

$$\text{Галактика ERP: } \frac{0.606}{1.350+2.137+0.841+0.544+1.000+0.606} \approx 0.11$$

Таким чином, ми отримали вектор переваг за критерієм наявності галузевих рішень. Значення вектору переваг відображають вагу кожного значення відносно інших значень у матриці парних порівнянь.

Чим більше показник вектору системи, тим більший вплив це значення має у комплексній оцінці. Іншими словами, вектор переваг – це рейтинг альтернатив відносно кожного критерію. За тим же методом, як ми розраховували вектор переваг для критерія - наявності галузевих рішень, розраховуємо вектор переваг по кожному з оцінюваних критеріїв.

В таблиці 3.4. наведемо результати за розрахунками матриць порівнянь ERP-систем за обраними критеріями.

Таблиця 3.4.

## Порівняльний аналіз ERP-систем

Критерій/ ERP-система	Наявність галузевого рішення	Вартість впровадження	Гнучкість системи	Термін впровадження	Надійність постачальника на ринку IT-систем	Термін повернення інвестицій	Підсумок
SAP R/3	0,21	0,24	0,24	0,07	0,14	0,02	21,9%
1С: Підприємство	0,32	0,12	0,05	0,12	0,12	0,02	14,7%
Oracle Application	0,13	0,16	0,07	0,02	0,07	0,07	9,9%
Microsoft Dynamics Nav	0,08	0,06	0,06	0,07	0,02	0,14	8,40%
Microsoft Dynamics Ax	0,15	0,07	0,06	0,16	0,02	0,19	15,00%
Галактика ERP	0,11	0,05	0,10	0,07	0,02	0,11	13,90%

Таким чином, базуючись на експертних оцінках нами було прораховано перевагу системи SAP R/3 (21,9%), дана система може бути рекомендована для впровадження при оцінці за вище зазначеними критеріями. Наведена методологія є універсальною, при використанні для аналізу можна змінювати перелік ERP-систем, критерії оцінки. Завдяки використанню методу MAI (метод аналізу ієрархій) було вирішене багатокритеріальне завдання вибору ERP-системи шляхом застосування декомпозиції основного завдання на проміжні завдання та порівняння двох альтернатив. Серед недоліків даного підходу треба зазначити суб'єктивність експертних оцінок. Отже, дану методологію може бути використана менеджментом підприємств, аналітиками та консультантами по впровадженню з обачністю на використання експертних оцінок.

#### 4. Аналіз фінансових обмежень щодо впровадження ERP-системи.

Фінансові можливості компанії (бюджет впровадження) необхідно роздивлятися як обмеження на прийняття рішень, а не як основу для прийняття рішень про впровадження.

В умовах наявності жорстких фінансових обмежень необхідне проведення аналізу цих обмежень. Фінансові можливості при витратах на впровадження ERP-системи є природним обмеженням на вибір системи. Ключова складність оцінки фінансового ефекту від впровадження ERP-системи полягає у високому степені похибки при визначенні фінансового ефекту від реалізації якісних поліпшень.

Перший етап аналізу фінансових обмежень являє собою оцінку витрат компанії на автоматизацію функціональних блоків при вибраній на попередніх етапах ERP-системі.

$$C_m = C_l + C_1 + C_2 + \dots + C_n + C_{\text{супр}}, \quad (30)$$

де:

$C_m$  - вартість впровадження  $m$ -ї ERP-системи;

$C_l$  - вартість ліцензії на використання ERP-системи;

$C_1 \dots C_n$  - вартість реалізації у ERP-системі функціоналу, для відповідного критерію;

$C_{\text{супр}}$  - вартість супроводу (обслуговування) роботи системи в компанії.

$C_{\text{супр}}$  розраховується як сума дисконтованої вартості обслуговування системи за роками:

$$C_{\text{супр}} = \sum_{t=1}^N \frac{C_{\text{супр},t}}{(1+r)^t}, \quad (31)$$

де :

$N$  - кількість років для розрахунку витрат на обслуговування, що визначається у відповідності до горизонту стратегічного планування діяльності компанії.

$C_{\text{супр},t}$  - вартість супроводу (обслуговування) роботи системи у  $t$ -му році;

$r$  - ставка дисконтування.

У випадку, якщо вартість реалізації функціонального блоку, що відповідає  $j$ -му критерію невідома, тоді вартість  $j$ -го критерію розраховується як:

$$C_j = \frac{C_{\text{мод}} - \sum_{j=1}^n C_{j,r}}{K_{\text{мод}} - K_{j,r}}, \quad (32)$$

де:

$C_j$ - вартість реалізації в ERP-системі функціонального блоку, що відповідає j-му критерію;

$C_{\text{мод}}$ - вартість впровадження модуля ERP-системи, що відповідає функціональному блоку, в який входить j-й критерій;

$C_r$ - вартість реалізації j-го критерія, для якого можлива оцінка вартості окремо від вартості впровадження всього модуля;

$K_{\text{мод}}$ — кількість критеріїв, що входять до функціонального блоку, що аналізується;

$K_r$ - кількість критеріїв, що входять у функціональний блок, для яких можлива оцінка вартості окремо від вартості впровадження всього модуля.

$$C_m < C_{\text{max}}, \quad (33)$$

де:

$C_{\text{max}}$ - максимально можлива вартість впровадження ERP-системи для компанії.

Якщо «найкраща обрана» ERP-система не задовольняє за своїми характеристиками обмеження за вартістю, то варто перейти до другого етапу аналізу: доцільності залучення додаткових інвестицій .

При дослідженні доцільності додаткових інвестицій використовується сценарний аналіз.

Роздивляються два альтернативних сценарії діяльності компанії:

- Без впровадження ERP-системи (базовий сценарій для оцінки);
- З урахуванням впровадження ERP-системи.

Для базового сценарію визначаються основні параметри, за якими проводиться оцінка: NPV, сукупні доходи і витрати компанії, доходи і витрати за функціональними блоками і тд.

$$NPV_{\text{без.ERP}} = \sum_{t=1}^N \frac{D_{\text{без.ERP},t} - C_{\text{без.ERP},t}}{(1+r)^t} \quad (34)$$

де

$D_{\text{без.ERP},t}$ - сукупні доходи компанії в t-й період часу без впровадження ERP-системи.

Сукупні доходи розподіляються за залежні від оптимізації бізнес-процесів і не залежні:

$$D_{\text{без.ERP},t} = D_{\text{фікс},t} + D_{\text{оптим},t} \quad (35)$$

де:  $D_{\text{фікс},t}$  – доходи компанії в  $t$ -й період часу, не залежні від оптимізації бізнес-процесів (ERP-системи);

$D_{\text{оптим},t}$  – доходи компанії в  $t$ -й період часу, залежні від оптимізації бізнес-процесів (ERP-системи);

$C_{\text{без.ERP},t}$  – сукупні затрати компанії в  $t$ -й період часу без впровадження ERP-системи, які декомпонуються у відповідності з функціональними блоками діяльності компанії, для яких проводиться аналіз доцільності впровадження ERP-системи.

Для кожного функціонального блоку затрати поділяються на фіксовані і оптимізовані:

$$C_{\text{без.ERP},t} = C_{\text{фікс},t} + C_{\text{оптим},t} \quad (36)$$

де :

$C_{\text{фікс},t}$  – затрати компанії в  $t$ -й період часу, не залежні від впровадження ERP-системи;

$C_{\text{оптим},t}$  – затрати компанії в  $t$ -й період часу, які можуть бути оптимізовані при впровадженні ERP-системи.

Відповідно, за статтями  $C_{\text{оптим},t}$  затрат проводиться оцінка потенційного обсягу скорочення витрат і формується параметр  $E_t$ . Тоді витрати після впровадження ERP по кожному функціональному блоку складуть:

$$C_{\text{ERP}} = C_{\text{фікс.}} + C_{\text{оптим.}} - E_t, \quad (37)$$

де:  $E_t$  – обсяг потенційної економії в  $t$ -й період часу.

Потенційні доходи компанії після впровадження ERP декомпонуються наступним чином:

$$D_{\text{ERP},t} = D_{\text{фікс},t} + D_{\text{додат},t} \quad (38)$$

де:  $D_{\text{додат},t}$  – додаткові (відносно основного сценарію) доходи компанії в  $t$ -й період часу, що отримані за рахунок оптимізації бізнес-процесів в результаті впровадження ERP-системи.

Після проведення проміжних розрахунків фінансових показників розраховується чистий дисконтований потік для сценарію впровадження ERP:

$$NPV_{ERP} = \sum_{t=1}^N \frac{D_{ERP,t} - C_{ERP,t}}{(1+r)^t}. \quad (39)$$

Тоді залучення додаткових інвестицій для впровадження обраної ERP-системи є доцільним за виконання системи умов:

$$\begin{cases} NPV_{ERP} - NPV_{безERP} > C_{додат.витр} \\ D_t - C_t > C_{додат.витр,t} \end{cases} \quad (40)$$

У відповідності з (40) важливою умовою залучення додаткових інвестиційних ресурсів є перевищенням чистого доходу компанії ( $D_t - C_t$ ) над затратами на обслуговування залучених інвестиційних ресурсів ( $C_{додат.витр,t}$ ).

Тоді оптимізаційна задача при аналізі доцільності залучення додаткових інвестицій набуває вигляду:

$$F_{опт} = \sum_{i=1}^m (\sum_{j=1}^k x_{ij}) \cdot v_j \rightarrow \max(i), \quad (41)$$

$$\begin{cases} NPV_{ERP} - NPV_{безERP} > C_{додат.витр} \\ D_t - C_t > C_{додат.витр,t} \end{cases} \quad (42)$$

$$\sum_{j=1}^k x_j = 1, \quad (43)$$

$$v_j \geq 0, \quad (44)$$

$$x_{ij} \in x^*; i = 1 \dots m, j = 1 \dots k. \quad (45)$$

У випадку, коли не виконується одне з двох умов системи, менеджмент компанії має наступні можливі варіанти прийняття рішень:

- вибір наступної за рейтингом ERP-системи («найкращої з гірших») з повторенням процедури оцінки за фінансовими обмеженнями;
- зниження жорсткості критеріїв;
- проведення аналізу доцільності залучення додаткових інвестицій на впровадження обраної ERP-системи ;
- поєднання зниження жорсткості критеріїв з залученням додаткових коштів;
- відмова від впровадження.

5. *Прийняття рішення щодо впровадження або зниження жорсткості оптимізаційної моделі*

Невідповідність ERP-системи, що найкращим чином задовольняє потреби компанії, фінансовим обмеженням, не є підставою для відмови від її впровадження.

В роботі розглянуто алгоритм зниження жорсткості критеріїв вибору ERP-системи в статичному положенні системи переваг критеріїв при відмові від частини функцій ERP-системи; сформульовано загальний вигляд задачі без відмови від частини функцій ERP-системи з поступовим впровадженням функціональних блоків в залежності від важливості бізнес-процесів, що автоматизуються (вектор вагових коефіцієнтів) і фінансових можливостей компанії з впровадження функціональних блоків.

У разі невідповідності обраної ERP-системи системі обмежень на прийняття рішення виникають *два варіанти* подальшої побудови моделі прийняття рішення про впровадження ERP-системи:

- відмова від частини критеріїв з метою зниження вартості впровадження до рівня фінансового обмеження;
- покрокове впровадження функціональних блоків ERP-системи з урахуванням динамічної зміни важливості критеріїв і вартості обмежень.

*Перший варіант.* В основі алгоритму є ітераційна відмова від найменш значимих для компанії критеріїв оцінки ERP-систем, що дозволяє знизити загальну вартість впровадження ERP-системи з мінімальними втратами її функціональних можливостей.

Для аналізу зниження жорсткості критеріїв поділимо критерії відносно типового функціоналу ERP-систем на стандартний та унікальний набір функціональних блоків ERP-системи. На першому етапі зниження критеріїв жорсткості моделі обирається найменш значимий критерій для кожної групи критеріїв. Кожному з обраних критеріїв відповідає вартість його досягнення у раніше обраній оптимальній ERP-системі. Оптимізації буде підданий критерій з максимальною середньою вартістю досягнення.

Для визначення найбільш затратного з найменш важливих критеріїв визначається максимальне середнє значення витрат на реалізацію функціонального блоку, що відповідає обраним критеріям:

$$C_{K_{min}}^{max} = \max(\bar{c}_{K_{max}^B}, \bar{c}_{K_{max}^G}, \bar{c}_{K_{max}^H}) \quad (46)$$

На наступному етапі приймається рішення про відмову від обраного критерію, після чого повторно вирішується задача вибору оптимальної ERP-системи, з урахуванням відповідності фінансовим обмеженням. Після того як визначається «найкраща» ERP-система вона, за описаним вище алгоритмом перевіряється на відповідність фінансовим обмеженням на прийняття рішень.

У випадку, коли необхідно залучення додаткових інвестиційних ресурсів формується  $C'_{max}$ . Якщо обмеження як і раніше не виконуються, то аналогічним чином здійснюється другий крок алгоритму зниження жорсткості критеріїв. Зниження жорсткості критеріїв припиняється, коли обидві умови виконуються.

*Другий варіант.* Початкова задача перетворюється в динамічну з покроковою зміною важливості критеріїв і вартості обмежень.

Аналогічно першому варіанту критерії оцінки ERP-систем поділяються на дві групи стандартних і унікальних функціональних блоків ERP-системи.

Вектор  $K$  також поділяється на два підвектори, що включають в себе типові і унікальні критерії.

Відповідно для покрокового включення додаткового (відносно впровадженого на початковому етапі) функціонального блоку формується задача динамічного програмування:

$$F_{i+1} = \max\{f_i(x_i) + F_{i-1}\{x_{i-1}, S_i\}\}, \quad (47)$$

$$D_t - C_t > C_x, \quad (48)$$

де:

$x_i$ - можливі рішення (набори критеріїв);

$S_i$ - стан системи;

$f_i$ - ефективність рішення на  $i$ -тому етапі;

$F_i$ - інтегральна ефективність;

$C_x$ - витрати, пов'язані з забезпеченням  $i$ -го набору критеріїв.

Отже, ми довели можливість та доцільність використання даного алгоритму для роботи по визначенню оптимізаційної моделі прийняття рішення щодо обрання ERP-системи для впровадження. Методика, що була використана при побудові

алгоритму передбачає такі етапи:

1. Формування системи кількісних та якісних критеріїв.
2. Оцінка важливості критеріїв у кожній групі.
3. Оцінка  $m$ -ї альтернативи ERP-системи по кожному критерію.
4. Аналіз фінансових обмежень щодо впровадження ERP-системи
5. Прийняття рішення щодо впровадження або зниження жорсткості оптимізаційної моделі

На підставі оптимізаційної моделі, наявності фінансових обмежень та їх ступеня жорсткості на впровадження, відбувається вибір ERP-системи, яка максимально задовольняє ключовим потребам компанії.

## ВИСНОВКИ

1. Розглянуто поняття *ERP*-системи та розкрито головні переваги та недоліки систем для управління ресурсами підприємства.

2. Проаналізовано приклади впровадження *ERP*-систем на підприємствах різних галузей.

3. Аналіз ролі *ERP*-системи у стратегічному плануванні діяльності підприємства, підтвердив, що *ERP* впливає на наступні функції управління:

- комплексне планування та контроль діяльності на всіх рівнях (автоматизація бізнес-процесів);
- підтримка прийняття управлінських рішень (аналітичний апарат);
- можливість швидкого коригування стратегії та планів при зміні внутрішніх параметрів;

4. Досліджено основні базові критерії вибору *ERP*-системи, які впливають на принцип вибору *ERP*-системи, основні з них:

- наявність галузевих рішень (якість галузевих рішень);
- вартість проекту впровадження;
- гнучкість системи;
- термін впровадження;
- репутація вендора (постачальника) на ринку ІТ систем;
- термін повернення інвестицій

5. Проведено порівняльний аналіз існуючих методів прийняття управлінських рішень з використанням методів математичного аналізу та моделювання, що можуть бути використані використані для комплексної оцінки *ERP*-систем :

- метод аналізу ієрархій;
- метод стохастичного моделювання;
- метод багатокритеріального аналізу.

6. Автором запропоновано формалізований алгоритм використання економіко-математичного інструментарію, що включає наступні кроки:

- 1) формування системи кількісних та якісних критеріїв;
- 2) оцінка важливості критеріїв у кожній групі;
- 3) оцінка  $m$ -ї альтернативи ERP-системи по кожному критерію;
- 4) аналіз фінансових обмежень щодо впровадження *ERP-системи*;
- 5) прийняття рішення щодо впровадження або зниження жорсткості оптимізаційної моделі (рис. 3.1)

7. Формалізований алгоритм дозволить структурувати вихідні дані, вимоги для вибору системи, все це дозволить однозначно визначити ERP-систему, рекомендовану до впровадження. Використаний в алгоритмі методичний підхід на основі математичного моделювання пошуку ERP-системи, яка найбільш повно задовольняє вимогам компанії, дозволить обрати оптимальний варіант інформаційної системи для кожного підприємства. В основі алгоритму покладено метод вибору ERP-системи за власними критеріями оптимальності. Використання алгоритму на практиці дозволить знизити витрати на запровадження ERP-системи, також даний методологічний підхід може бути реалізовано в програмних додатках з метою автоматизації.

8. Продемонстровано практичні особливості використання (проведено розрахунки на конкретних прикладах) алгоритму вибору *ERP-системи*, серед представлених на ринку України. Результатом є вибір оптимальної *ERP-системи* за заданими критеріями, оптимальним вибором за застосованими критеріями є інтегрована інформаційна система SAP ERP.

9. Результати дослідження є інформаційною основою для системи підтримки прийняття рішень (СППР) щодо вибору ERP-системи, побудованого на основі математичних інструментів та моделей.

10. Зроблено висновок про те, що кожне підприємство повинно використовувати власний перелік критеріїв при виборі ERP-системи, що задовольняє вимогам підприємства та дозволяє прийняти обґрунтоване управлінське рішення.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Haddara Moutaz ERP systems selection in multinational enterprises: a practical guide. *International Journal of Information Systems and Project Management*. 2018. Vol. 6. № 1. Article 4. URL: <https://aisel.aisnet.org/ijispm/vol6/iss1/4>.
2. 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.
3. 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.
4. Ковальчук К.Ф., Бандоріна Л.М., Савчук Л.М. Оцінка ефективності інформаційно-інтелектуальних технологій : монографія. Дніпропетровськ: ІМА-прес, 2007. 132 с.
5. Демиденко М.А. Системи підтримки прийняття рішень. Дніпро : НГУ, 2016. 106 с.
6. Пилипенко Л., Редько М. Аналіз переваг та недоліків упровадження ERP-системи на підприємствах. *Приазовський економічний вісник*. 2019. Вип. 6 (17). С. 172–178.
7. Tsai B., Chou S. Application of Multiple Output Data Envelopment Analysis in Interpreting Efficiency Improvement of Enterprise Resource Planning Integrated Circuit Firms. *The Journal of Developing Areas*. 2015. № 49 (1). P. 285–304. DOI: <https://doi.org/10.1353/jda.2015.0037>.
8. Yen T., Idrus R., Yusof U. A Framework for Classifying Misfits between Enterprise Resource Planning (ERP) Systems and Business Strategies. *Asian Academy of Management Journal*. 2014. № 16 (2). P. 53–75.
9. Haddara Moutaz ERP systems selection in multinational enterprises: a practical guide. *International Journal of Information Systems and Project Management*. 2018. Vol. 6. № 1. Article 4. URL: <https://aisel.aisnet.org/ijispm/vol6/iss1/4>

10. Bjelland E., Haddara M. Evolution of ERP Systems in the Cloud: A Study on System Updates. *Syst.* 2018. P. 6, 22.
11. Wadate J. Enterprise Resource Planning (ERP) in Universities. *International Journal of Informative & Futuristic Research.* 2014. № 2 (4). P. 949–961.
12. Haddara Moutaz ERP systems selection in multinational enterprises: a practical guide. *International Journal of Information Systems and Project Management.* 2018. Vol. 6. № 1. Article 4. URL: <https://aisel.aisnet.org/ijispm/vol6/iss1/4>.
13. Павленко П.М. Автоматизовані системи технологічної підготовки розширених виробництв. Методи побудови і управління : [монографія] / Павленко П.М. – К. : Книжкове видавництво НАУ, 2005. – 280 с.
14. Саати Т. Аналитическое планирование. Организация систем / Т. Саати, К. Кернс. – М.: Радио и связь, 1991.–224 с.
15. Системный анализ: принятие решений : словарь-справочник / Под ред В.Н. Волковой, В.Н. Козлова. – М.: Высш.шк, 2004. – 616 с.
16. Павленко П.М. Основи математичного моделювання систем і процесів: навч. посіб. – К.: Книжкове вид-во НАУ, 2013. – 201 с.
17. Smith J.M. CALS. An introduction to CALS: The Strategy and the Standards. – Dublin: The Cromwell Press Ltd, 1990. – 143 p.
18. Пилипенко Л., Редько М. Аналіз переваг та недоліків упровадження ERP-системи на підприємствах. Приазовський економічний вісник. 2019. Вип. 6 (17). С. 172–178.
19. Tsai B., Chou S. Application of Multiple Output Data Envelopment Analysis in Interpreting Efficiency Improvement of Enterprise Resource Planning Integrated Circuit Firms. *The Journal of Developing Areas.* 2015. № 49 (1). P. 285– 304. <https://doi.org/10.1353/jda.2015.0037>.
20. Yen T., Idrus R., Yusof U. A Framework for Classifying Misfits between Enterprise Resource Planning (ERP) Systems and Business Strategies. *Asian Academy of Management Journal.* 2014. № 16 (2). P. 53–75.

21. Haddara Moutaz ERP systems selection in multinational enterprises: a practical guide. *International Journal of Information Systems and Project Management*. 2018. Vol. 6. № 1. Article 4. URL: <https://aisel.aisnet.org/ijispm/vol6/iss1/4>.
22. Bjelland E., Haddara M. Evolution of ERP Systems in the Cloud: A Study on System Updates. *Syst.* 2018. P. 6, 22.
23. Wadate J. Enterprise Resource Planning (ERP) in Universities. *International Journal of Informative & Futuristic Research*. 2014. № 2 (4). P. 949–961.
24. Демиденко М.А. Управління проектами інформатизації за методологією SCRUM. Дніпро : НГУ, 2017. 80 с.
25. В.Г. Балан Стохастичне моделювання процесу вибору та імплементації інформаційної системи управління на підприємстві/ В.Г. Балан//Ефективна економіка.-№4, 2019.
26. Адамик О.В. Інформаційні системи управління підприємством: вибір базових технологій та програмного забезпечення / О.В. Адамик, С.В. Сисюк // Глобальні та національні проблеми економіки, Випуск 14. 2016. С. 891–895.
27. Верескун М.В. Обґрунтування і вибір рішень щодо впровадження інформаційних систем на промислових підприємствах / М.В. Верескун // Вісник Приазовського Державного Технічного Університету. Серія: Економічні науки. Випуск 29, 2015. С. 396–402.
28. Полуєктова Н.Р. Моделювання механізмів розвитку інформаційних систем управління ресурсами підприємств [Текст] : автореферат дис. ... д-ра екон. наук / Н.Р. Полуєктова ; 08.00.11 – мат. методи, моделі та інформ. технології в економіці. Харків : ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2016. с.36
29. Полуєктова Н.Р. Риски проектов внедрения ERP-систем: проблемы и решения / Н.Р. Полуєктова // Бізнес Інформ, № 6, 2014. С. 118–124.
30. Різніченко Л.В. Досвід упровадження корпоративних інформаційних систем управління на вітчизняних підприємствах / Л.В. Різніченко, Н.В. Ткаченко // Вісник КДПУ імені Михайла Остроградського. Випуск 4/2009 (57). Частина 2. С. 184–189.

31. Черваньов Д.М. Сіткові моделі у менеджменті / Д.М. Черваньов, В.Г. Балан. К.: Нічлава, 2003. 160 с.
32. Alanbay O. ERP selection using expert choice software is AHP [Electronic resource] / O. Alanbay.
33. Білоскурський Р.Р. AGILE Методологія впровадження інформаційних систем ERP-класу// Науковий погляд: економіка та управління, № 1 (77)/2022

## ДОДАТКИ

## Додаток А

## Систематизація підходів до визначення поняття «ERP-система»

Автор та джерело	Визначення поняття«ERP-система»
Л. Пилипенко, М. Редько	«Система, яка консолідує та концентрує всю інформацію підприємства, дає змогу керувати її потоком і забезпечує одночасний доступ до неї низки користувачів підприємства, які працюють у системі та мають відповідні права доступу, у результаті чого підвищуються якість обслуговування клієнтів та ефективність роботи персоналу».
Б. Тсай, С. Чоу	«Програмне забезпечення, яке розроблене для функцій управління бізнесом, які включають закупівлю, продаж, запаси, управління, людські ресурс, фінансові ресурси та логістичні послуги, які забезпечують єдину базу даних організації для інтеграції та кореляції з іншими організаціями за допомогою бізнес-процедур».
Т. Єн, Р. Ідрус, Ю. Юсуф	«Програмне забезпечення, що реалізує інтегровану передачу даних між різними функціональними галузями для їх об'єднання в одне системне середовище, координацію бізнес-процесів, покращення адміністративної структури між функціональними сферами для забезпечення комплексної інформаційної системи, включаючи єдину базу даних, до якої легко отримати доступ і використовувати в процесі контролю запасів, закупівель, обліку продажів».
Х. Моутаз	«Стандартні пакети програмного забезпечення, які забезпечують інтегроване оброблення транзакцій і доступ до інформації для кількох організаційних підрозділів і багатьох бізнес-функцій».
Е. Беланд, Х. Моутаз	«Міжфункціональна та корпоративна система інтегрованих модулів, які підтримують стандартні бізнес-процеси організації»
Дж. Вадейт	«Інтегрована система, де унікальна база даних забезпечує безперервний і послідовний потік інформації для всієї компанії».

Джерело: [33]

## Додаток Б

## Фактори ризику впровадження ERP-систем

Неадекватний вибір ERP-системи	високий
Погані навички проектної команди	середній
Слабке задіяння вищого керівництва	середній
Неефективна система комунікацій	середній
Низька активність ключових споживачів	середній
Недостатнє навчання та інструктаж	середній
Складність архітектури та велика кількість модулів	низька
Неадекватний фінансовий менеджмент	низька
Неадекватне управління змінами	середня

Джерело: [33]

## Додаток В

## Приклад реалізації методу експрес-оцінювання альтернатив

№	Вимоги до ПП	Оцінки альтернатив за вимогами									
		Альтернатива 0	Альтернатива 1	Альтернатива 2	Альтернатива 3	Альтернатива 4	Альтернатива 5	Альтернатива 6	Альтернатива 7	Альтернатива 8	Альтернатива 9
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Відповідність ПП цілям його застосування	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1
2	Відповідність складу та змісту вихідної інформації ПП вимогам користувачів	1	0	1	1	0	1	1	0	0	1
3	Відповідність вихідної інформації, що використовується на підприємстві, вимогам ПП	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0
4	Наявність спеціалізованої адаптованої до галузі версії	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1
5	Здатність до інтеграції з ERP-системою	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
6	Здатність до інтеграції з компонентами розподілених баз даних	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1
7	Здатність до інтеграції з ПП зовнішніх організацій	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8	Рівень універсальності ПП (задовільно/незадовільно)	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1
9	Рівень масштабованості ПП (задовільно/незадовільно)	1	0	0	0	1	0	1	0	1	1
10	Модя локалізації ПП (задовільно/незадовільно)	1	0	1	0	0	0	1	0	1	1
11	Відповідність ПП вимогам захисту від навмисних загроз безпеки	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1
12	Задоволення часом видачі відповідей на запити	1	0	1	1	1	1	0	0	0	1
13	Можливість внесення змін в програмний код	1	0	1	1	1	1	0	0	0	1
14	Повнота документів, що відображають порядок внесення змін	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1
15	Можливість налаштування інтерфейсу користувача	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1
16	Задоволення сукупною вартістю володіння	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1
17	Задоволення терміном окупності проекту	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1
18	Задоволення співвідношенням витрат на закупівлю/впровадження	1	1	1	0	0	1	0	1	1	0
19	Можливість освоєння ПП за документацією	1	0	1	0	1	0	1	1	1	0
20	Комфортність експлуатації (задовільно/незадовільно)	0	1	0	1	0	0	1	1	1	1
21	Достатній термін роботи компанії-постачальника ПП	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0
22	Відомість компанії-постачальника ПП	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1
23	Задоволення процентним співвідношенням завершених проектів до загального обсягу проектів за останній рік на компанії-постачальника ПП	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1
24	Достатність чисельності персоналу компанії-постачальника ПП	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0

25	Наявність часу для співпраці у найближчій термін компанії-постачальника ІІІ	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1
26	Кількість сертифікованих спеціалістів на компанії-постачальника ІІІ	1	0	1	0	0	0	1	0	1	1
27	Кількість спеціалістів служби розробки в конкретному територіальному підрозділі компанії-постачальника ІІІ	0	1	1	1	0	0	1	0	1	0
28	Термін (час) появи спеціалістів в екстрених випадках	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1
29	Визнання компанії-постачальника розробниками ІІІ	1	0	1	1	0	1	1	0	0	1
30	Досвід реалізації подібних проектів для підприємств галузі	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0
31	Наявність системи навчання персоналу в процесі впровадження	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1
32	Відповідність апаратного забезпечення підприємства вимогам ІІІ	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
33	Відповідність програмного забезпечення підприємства вимогам ІІІ	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1
34	Відповідність мережі підприємства вимогам ІІІ	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
35	Відповідність серверу підприємства вимогам ІІІ	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1
36	Приведена вартість витрат на додаткове програмне забезпечення	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1
37	Приведена вартість проекту по розширенню мереженої інфраструктури	1	0	1	0	0	0	1	0	1	1
38	Приведена вартість проекту по апаратному переоснащенню	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
39	Відомість фірми розробника в певній галузі	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1
40	Відповідність ІІІ суб'єктивним вимогам топ-менеджменту	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1
	Сумарна оцінка альтернативи	36	18	33	19	27	24	30	22	31	31

Джерело: [3]



### Крок 3. Визначення кінцевої множини альтернатив

Adobe Flash Player 9

File View Control Help

1. Ціль - вибір оптимального інноваційного проекту

Альтернативи

№	a0	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9
a0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1
a1	1	0	1	1	0	1	1	0	0	1
a2	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0
a3	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1
a4	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
a5	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1
a6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
a7	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1
a8	1	0	0	0	1	0	1	0	1	1
a9	1	0	1	0	0	0	1	0	1	1
a10	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1
a11	1	0	1	1	1	1	0	0	0	1
a12	1	0	1	1	1	1	0	0	0	1
a13	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1
a14	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1
a15	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1
a16	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1
a17	1	1	1	0	0	1	0	1	1	0
a18	1	0	1	0	1	0	1	1	1	0

Кінцева множина альтернатив : a0, a2, a5, a8, a9.

Зберегти    Заповнити    Крайні альтернативи    Назад    Далі

### Крок 4. Занесення критеріїв оцінювання альтернатив

Adobe Flash Player 9

File View Control Help

1. Ціль - вибір оптимального інноваційного проекту

Випадкова узгодженість : 1,12

Критерій : 5    Створити

Таблиця критеріїв :

№	Критерій
0	Функціональна достатність
1	Здатність до інтеграції
2	Технічна забезпеченість
3	Захищеність
4	Надійність

Видалити    Додати

Таблиця кінцевих альтернатив :

№	Альтернатива
0	Альтернатива0
2	Альтернатива2
6	Альтернатива6
8	Альтернатива8
9	Альтернатива9

Зберегти    Заповнити    Назад    Далі

## Крок 5. Встановлення пріоритетів критеріїв оцінювання

Adobe Flash Player 9

File View Control Help

2. Числові оцінки матриці попарних порівнянь для критерію

Випадкова узгодженість: 1.12

№	k0	k1	k2	k3	k4
k0	1	3	0.2	0.16	0.12
k1	0.33	1	0.16	0.12	0.11
k2	5	6.00	1	0.33	0.2
k3	6.00	8	3.00	1	0.33
k4	8	9.00	5	3.00	1

Інтенсивність відносної важливості	Визначення
1	Рівна важливість
2	Легка перевага одного над іншим
3	Слабка перевага одного над іншим
4	Помірна перевага одного над іншим
5	Значна перевага
6	Істотна перевага
7	Сильна перевага одного над іншим
8	Дуже сильна перевага
9	Безумовна перевага

Відношення узгодженості: 1.5143 %

**Примітка:** Повинно бути <10% , допускається <20%

**\*\*Примітка:** Якщо при порівнянні одного критерію з іншим отримано одне з вказаних чисел (наприклад x), то при порівнянні другого з першим одержимо обернену величину тобто 1/x

№	Критерій	Оцінки компонент власного вектора	Нормалізовані оцінки вектора пріоритета
0	Функціональна достатність	0.416276603667634	0.0519354123552
1	Здатність до інтеграції	0.238494797243929	0.0297550367475
2	Технічна забезпеченість	1.14869834121265	0.1433136561052
3	Захищеність	2.16890020534081	0.2705958622926
4	Надійність	4.04290488697725	0.5044000324985

Зберегти Заповнити Підрахувати оцінки Назад Далі

## Крок 6. Порівняння альтернатив за заданими критеріями

Adobe Flash Player 9

File View Control Help

3. Критерій

Випадкова узгодженість: 1.12

Здатність до інтеграції

№	a0	a1	a2	a3	a4
a0	1	0.5	0.2	0.33	0.11
a1	2	1	0.16	0.5	0.11
a2	5	6.00	1	2	0.2
a3	3.00	2	0.5	1	0.11
a4	9.00	9.00	5	9.00	1

Інтенсивність відносної важливості	Визначення
1	Рівна важливість
2	Легка перевага одного над іншим
3	Слабка перевага одного над іншим
4	Помірна перевага одного над іншим
5	Значна перевага
6	Істотна перевага
7	Сильна перевага одного над іншим
8	Дуже сильна перевага
9	Безумовна перевага

Відношення узгодженості: 1.9593 %

**Примітка:** Повинно бути <10% , допускається <20%

**\*\*Примітка:** Якщо при порівнянні одного критерію з іншим отримано одне з вказаних чисел (наприклад x), то при порівнянні другого з першим одержимо обернену величину тобто 1/x

№	Альтернатива	Оцінки компонент власного вектора	Нормалізовані оцінки вектора пріоритета
0	Альтернатива0	0.326369731750481	0.0389471570381
2	Альтернатива2	0.45030740353398	0.0537371926826
6	Альтернатива6	1.64376497984747	0.1961578129825
8	Альтернатива8	0.802741561760231	0.0957947340864
9	Альтернатива9	5.15662518546185	0.6153631032101

Зберегти Заповнити Підрахувати оцінки Назад Далі

## Крок 7. Визначення кращої альтернативи

Adobe Flash Player 9  
File View Control Help

4. Результати Випадкова узгодженість: 1 12

Критерії	Вектор пріоритета					Глобал пріоритети
	k0	k1	k2	k3	k4	
Альтернатива0	0.05193	0.02975	0.14331	0.27059	0.50440	0.351762966766
Альтернатива2	0.07692	0.05373	0.12120	0.08758	0.36378	0.188655476641
Альтернатива5	0.07692	0.19515	0.04518	0.23050	0.07535	0.230162223383
Альтернатива8	0.07692	0.09579	0.07179	0.03087	0.03830	0.116675733788
Альтернатива9	0.69230	0.61536	0.64061	0.40691	0.36382	0.044809707735

Потрібно зупинити свій вибір на альтернативі з максимальним значенням глобального пріоритета **0.351762966766**

Зберегти Назад Далі

Джерело: [3]