

МЕТОДИ АДАПТИВНОГО УПРАВЛІННЯ СМАРТ-ПІДПРИЄМСТВОМ З ВИКОРИСТАННЯМ СЛАБКИХ СИГНАЛІВ

Іван Цмоць¹, Ганна Назаркевич²

Національний університет “Львівська політехніка”, кафедри інформаційних систем та мереж,
вул. С. Бандери, 12, Львів, Україна,

¹ivan.h.tsmots@lpnu.ua, ORCID: 0000-0002-4033-8618,

²hanna.y.nazarkevych@lpnu.ua, ORCID: 0000-0002-1413-630X

© Цмоць І., Назаркевич Г., 2023

Сформовано вимоги до системи управління смарт-підприємством з використанням слабких сигналів, основними з яких є: збирання та інтеграція різноманітних даних за допомогою баз і сховищ даних; попереднє опрацювання та аналіз накопичених даних; визначення основних груп сигналів впливу на фінансову структуру, а саме підприємство, та їх оцінювання; обчислення узагальненого інтегрального сигналу впливу на компанію; візуалізація результатів обчислення цього значення; його прогнозування; виявлення слабких сигналів та їх класифікація; адаптація підприємства до швидких змін зовнішнього та внутрішнього середовища за допомогою своєчасного прийняття управлінських рішень; оцінювання майбутніх наслідків прийнятих рішень щодо управління підприємством. Запропоновано розроблення системи управління смарт-підприємством із використанням слабких сигналів виконувати на основі інтегрованого підходу та відповідно до таких принципів: системності; інтеграції комп'ютерних, комунікаційних і програмних компонентів; модульності; відкритості; сумісності; змінного складу обладнання. Розроблено метод виявлення слабких сигналів, який ґрунтується на використанні системних процедур, декомпозиції навколишнього середовища на сигнали впливу та порівняння порогового значення з різницею між обчисленим та прогнозованим значеннями інтегрального показника впливу на підприємство та забезпечує виявлення загроз на ранніх стадіях і збільшення часу на прийняття та реалізацію відповідних управлінських рішень. Розроблено на основі MATLAB програму для оцінювання сигналів навколишнього середовища, обчислення інтегрованого сигналу впливу на смарт-підприємство та виявлення слабких сигналів з можливістю адаптації до управління роботою конкретного підприємства.

Ключові слова: смарт-підприємство; метод виявлення слабких сигналів; система управління; зовнішнє середовище; адаптація.

Вступ

Розвиток сучасного бізнесу характеризується інтенсивним упровадженням інформаційних технологій, що забезпечують автоматизацію виробничих процесів і накопичення та зберігання інформації. Управління на основі слабких сигналів ґрунтується на ідеї, що деякі несприятливі явища виникають не раптово, є деякі провісники їх наближення, так звані слабкі сигнали. До слабких сигналів належать ранні й неточні ознаки настання важливих подій, які згодом перетворюються на сильні сигнали. Ефективність роботи смарт-підприємства залежить як від зовнішніх, так і від внутрішніх сигналів впливу. Існує взаємозв'язок між внутрішніми та зовнішніми сигналами впливу на смарт-підприємство, тому їх доцільно розглядати разом. Негативний вплив внутрішніх сигналів пов'язаний здебільшого із зовнішніми сигналами, які є динамічними і визначаються політичними та економічними змінами. Оцінювання стану смарт-підприємства ґрунтується на ретельному оцінюванні та аналізі економічних, соціально-культурних, політичних, виробничо-технологічних, ринкових, конкурентних і міжнародних груп сигналів впливів, які подано у вигляді часових рядів. Під

терміном “сигнал” у роботі [1, с. 11] розуміють “фізичний процес різної природи, спонтанно випромінюваний чи штучно викликаний (стимульований, збуджений) і розповсюджений у просторі/часі, трактований так, що у змінах своїх характеристик (параметрів) відображає просторово-часову структуру досліджуваного об’єкта, і є тому засобом перенесення відомостей про об’єкт”.

Це, своєю чергою, великою мірою перетворює підприємство на “розумне”. Смарт-підприємство, чи розумне підприємство [2] – це новий управлінський підхід, для використання нових технологій розвитку бізнесу компанії.

Отже, недостатньо вивчені питання, пов’язані з оцінюванням сигналів впливу на підприємство та виявлення слабких сигналів, які сигналізують про ризики та потенційні можливості.

Постановка проблеми

В умовах цифрової економіки змінюється інформаційний простір усіх економічних об’єктів і процесів, пов’язаних із виробництвом, в результаті чого виникає нова промисловість, яка отримала назву смарт-промисловість, основою якої є смарт-підприємство [3]. Поєднання глобального інтернету з матеріальними речами формує додаткову інформацію, яку можна використовувати для управління смарт-підприємством [4]. Досліджуючи такі підприємства, доводиться характеризувати стан кожного із них значеннями множини різноманітних факторів (або сигналів), які впливають на підприємство. Під терміном “сигнал” розуміють фізичний процес різної природи, спонтанно випромінюваний чи штучно викликаний (стимульований, збуджений) і поширений у просторі/часі, трактований так, що у змінах своїх характеристик (параметрів) він відображає просторово-часову структуру досліджуваного об’єкта, і є тому засобом перенесення відомостей про об’єкт [5]. Необхідно зазначити, що нині смарт-підприємства працюють в умовах, які вирізняються зростанням конкуренції, розширенням партнерських зв’язків на зовнішньому ринку, діджиталізацією, розвитком нових технологій та методів виробництва, постійними змінами, нестабільністю та невизначеністю зовнішнього середовища. Особливістю управління смарт-підприємством у таких умовах повинно бути швидке реагування на зміни в навколишньому середовищі із використанням адаптивного управління підприємством [6]. Складність і непередбачуваність навколишнього середовища смарт-підприємства є визначальними під час вибору методів [7], алгоритмів та засобів управління підприємством. Для управління підприємством в умовах нестабільності та невизначеності зовнішнього середовища доцільно використовувати адаптивне управління [8] із використанням слабких сигналів, яке ґрунтується на таких операціях: постійному моніторингу навколишнього середовища підприємства; оцінюванні сигналів впливу навколишнього середовища на підприємство; обчисленні інтегрального сигналу впливу на підприємство; прогнозуванні (квартал, рік) інтегрального сигналу впливу на підприємство; порівнянні реального та прогнозованого інтегрального сигналу впливу на підприємство. Адаптивне управління смарт-підприємством із використанням слабких сигналів передбачає, що чим слабший сигнал сприйнятий та ідентифікований із навколишнього середовища, тим більший часовий ресурс має підприємство для прийняття та реалізації відповідних управлінських рішень [9]. Прийняття управлінських рішень залежить від складності, швидкості змін у навколишньому середовищі та аналізу результатів прогнозування стану підприємства під час реалізації варіантів управлінських рішень. Ідеологія адаптивного управління смарт-підприємством з використанням слабких сигналів ґрунтується на виявленні сигналів-провісників та аналізі можливих наслідків управління із використанням прогнозу [10].

Отже, виявлення слабких сигналів та їх використання для управління смарт-підприємством є актуальною проблемою.

Аналіз остатніх досліджень та публікацій.

Аналіз літератури показує [10, 11], що сучасний бізнес розглядається як відкрита система, робота якої великою мірою залежить від зовнішнього середовища, яке динамічно розвивається та характеризується високою нестабільністю. У роботі [12] показано, що управління підприємством в умовах нестабільного зовнішнього середовища потребує швидкого реагування на дію зовнішніх факторів із прийняттям своєчасних і ефективних управлінських рішень.

Аналіз систем управління смарт-підприємствами [13, 14] показує, що у процесі управління такими підприємствами використовують “сигнальний аспект” взаємодії – передавання, перетворення і циркуляцію відомостей. Використання сигнального аспекту для управління підприємством потребує контролю й моніторингу його стану, трактування підприємства як багатофакторної системи, стан якої визначається значеннями сукупності різнорідних факторів (сигналів). А зміни значень факторів (сигналів), що діють на підприємство, у часі розглядають як часові ряди.

У роботах [13–15] показано, що системи управління підприємствами поділяють на три класи: з відкритим (розімкненим) управлінням; замкнутим (зі зворотним зв’язком) управлінням; адаптивним управлінням. Недоліком відкритого управління є те, що у разі відхилення результату від запланованого здійснюють аналіз, щоб пояснити причини відхилення, але не змінюють саме управління. Недоліком управління зі зворотним зв’язком є неврахування результатів впливу факторів (сигналів), які проявляться через доволі великий час. Адаптивне управління [16] використовує прогнозування для аналізу можливих наслідків реалізації управлінського рішення. Таке управління орієнтоване на підприємства, які працюють в умовах нестабільного середовища.

З виконаного аналізу випливає, що недостатньо вивчено питання оцінювання зовнішніх і внутрішніх сигналів впливу на підприємство, виявлення слабких сигналів, які сигналізують про ризики та потенційні можливості та їх використання в управлінні підприємством.

Формулювання цілі статті

Мета роботи – розроблення методу та засобів виявлення слабких сигналів для адаптивного управління смарт-підприємством.

Об’єкт дослідження – процеси управління смарт-підприємством, збирання, збереження та опрацювання даних про стан його навколишнього середовища.

Предмет дослідження – методи, алгоритми та засоби виявлення слабких сигналів для адаптивного управління смарт-підприємством.

Для досягнення зазначеної мети визначено такі основні завдання дослідження:

- сформулювати вимоги та принципи розроблення системи управління смарт-підприємством із використанням слабких сигналів;
- розробити метод виявлення слабких сигналів для адаптивного управління смарт-підприємством;
- розробити програмні засоби виявлення слабких сигналів для адаптивного управління смарт-підприємством.

Виклад основного матеріалу

Вимоги та принципи розроблення системи управління смарт-підприємством із використанням слабких сигналів. Управління смарт-підприємством з використанням слабких сигналів здійснюється на основі опрацювання у реальному часі великих обсягів інформації, які безперервно накопичують за допомогою комплексного моніторингу зовнішнього і внутрішнього середовищ підприємства. Для ефективної роботи системи управління (СУ) смарт-підприємством з використанням слабких сигналів така система повинна забезпечувати:

- збирання та інтеграцію різноманітних даних за допомогою баз і сховищ даних;
- попереднє опрацювання та аналіз накопичених даних;
- визначення основних груп сигналів впливу на підприємство та їх оцінювання;
- обчислення узагальненого інтегрального сигналу впливу на підприємство;
- візуалізацію результатів обчислення узагальненого інтегрального сигналу впливу на підприємство;
- прогнозування узагальненого інтегрального сигналу впливу на підприємство;
- виявлення слабких сигналів і їх класифікацію;
- адаптацію підприємства до швидких змін у зовнішньому та внутрішньому середовищах зі своєчасним прийняттям управлінських рішень;
- оцінювання наслідків управлінських рішень.

Для розроблення СУ смарт-підприємством із застосуванням слабких сигналів запропоновано використати такі принципи:

- системності, за якого між компонентами СУ утворюються такі зв'язки, що забезпечують цілісність і взаємодію із іншими системами;
- інтеграції комп'ютерних, комунікаційних і програмних компонентів;
- модульності, який передбачає використання функціонально завершених компонентів, із виходом на стандартний інтерфейс;
- відкритості, який передбачає можливості нарощування та оновлення функцій;
- сумісності, що передбачає використання стандартних провідних і безпроводних інтерфейсів для зв'язку між компонентами системи;
- використання для розроблення СУ комплексу базових проектних рішень;
- змінної схеми обладнання, що передбачає наявність ядра СУ та програмно-апаратних модулів, за допомогою яких ядро адаптується до конкретного завдання та замінюється залежно від вимог конкретного застосування.

Сучасні смарт-підприємства складаються із взаємозв'язаних смарт-пристроїв, основними компонентами яких є давачі/виконавчі механізми, мікроконтролери, засоби приймання та передавання даних, а також програмне забезпечення, що забезпечує передавання і обмін інформацією між фізичним світом та комп'ютерними вбудованими системами, за допомогою застосування стандартних мережевих протоколів зв'язку. Ці взаємопов'язані смарт-пристрої мають можливість зчитування та приведення у дію, функцію програмування та ідентифікації, а також не потребують участі людини за рахунок використання інтелектуальних інтерфейсів. Оскільки здебільшого структура сучасних смарт-підприємств ієрархічна та багаторівнева, СУ такими підприємствами також є ієрархічними та багаторівневими. Такі СУ спрямовані на вирішення двох основних проблем:

- перша – необхідність збирання оперативної та достовірної інформації у реальному часі про стан зовнішнього і внутрішнього середовищ підприємства;
- друга – опрацювання зібраної інформації і на основі результатів прийняття ефективних управлінських рішень.

Розроблення методу виявлення слабких сигналів для адаптивного управління смарт-підприємством. Якість роботи смарт-підприємства залежить як від зовнішніх, так і від внутрішніх факторів впливів на підприємство. На зовнішні фактори підприємство не може впливати або впливає неефективно. Внутрішні фактори пов'язані з організацією роботи підприємства, тому вони керовані [17]. Існує взаємозв'язок між внутрішніми та зовнішніми факторами впливу на підприємство [18], тому їх доцільно розглядати разом. Негативний вплив внутрішніх факторів великою мірою пов'язаний із зовнішніми факторами (політичними, економічними).

Інформацію, яка використовується у СУ смарт-підприємством за слабкими сигналами, можна класифікувати за такими ознаками:

1. *За джерелом походження:*

- державні установи – дані отримані у таких установах, як Державна податкова служба України;
- ЗМІ або засоби масової інформації – дані з широкого спектра питань, проте часто неперевірені;
- служби бізнес-інформації – спеціалізована інформація про бізнес та підприємства;
- конкуренти, постачальники, торгові експозиції, наукові конференції;
- інститути та організації, що займаються дослідженням ринків, макроекономічними аналізуванням та прогнозуванням.

2. *За змістом:*

- політична – дані про підтримку та забезпечення ресурсами окремих галузей і підприємств, міждержавні угоди, державна політика приватизації тощо;
- юридична – дані, пов'язані з економічним законодавством;
- фінансово-економічна – дані, пов'язані з обігом фінансів, товарів, матеріалів і ресурсів;

- технологічна – дані, пов'язані з розвитком технологічних засобів – техніки, обладнання, інструментів, матеріалів, процесів оброблення і нових технологій;
- соціально-демографічна – дані про кількість майбутніх споживачів, освіту та робочих кадрів, ставлення до іноземців, вплив профспілок на формування суспільної думки, середній рівень заробітної плати;
- науково-технічна – дані про питому вагу наукоємних виробництв і продукції, про освіту кадрів і науково-технічний рівень виробництва.

3. За часом використання:

- короткочасова;
- середньої тривалості;
- довготривала.

4. За терміновістю розрізняють:

- термінову;
- середньотермінову;
- довготермінову.

Етапи реалізації методу виявлення слабких сигналів. Оцінювання стану смарт-підприємства ґрунтується на ретельному оцінюванні та аналізі економічних, соціально-культурних, політичних, виробничо-технологічних, ринкових, конкурентних і міжнародних груп впливів, які подані у вигляді часових рядів. Під час опрацювання часових рядів, що описують сигнали впливу на підприємство, необхідно врахувати їх взаємодію та застосувати системні методи. Часовий крок формування часових рядів сигналів впливу на підприємство чи бізнес варто брати не надто великим – місяць або квартал. Така дискретність переважно визначається шокквартильною чи щомісячною звітністю, яка є на підприємствах. Для оцінювання сигналів впливу на підприємство використовуємо та адаптуємо метод аналізу ієрархій (MAI). На основі оцінювання сигналів впливу на підприємство розроблено метод виявлення слабких сигналів, який реалізується за п'ять етапів. Послідовність дій для реалізації кожного етапу методу виявлення слабких сигналів розглянемо детально.

На першому етапі виконують збирання, аналізування й опрацювання інформації про зовнішнє і внутрішнє середовища смарт-підприємства. За результатами опрацювання визначаємо групи та фактори впливів, які найбільше впливають на роботу смарт-підприємства. Для смарт-підприємства розроблено базове дерево ієрархій, яке наведено на рис. 1.

На другому етапі – визначають ваги важливості w_e , w_c , w_p , w_b , w_r , w_k , w_m груп сигналів впливу (Е, С, Р, В, R, К, М) на смарт-підприємство (другий рівень дерева ієрархій) та обчислюють вектор пріоритетів. Для визначення ваг важливості w_e , w_c , w_p , w_b , w_r , w_k , w_m груп сигналів впливу використовують накопичену інформацію про стан зовнішнього та внутрішнього середовищ смарт-підприємства та модифіковану шкалу важливості, яка наведена в табл. 1 [19].

Таблиця 1

Модифікована шкала ваг важливості

Вага важливості	Визначення	Пояснення
1	Однакова важливість	Однаковий вплив двох факторів на роботу підприємства
3	Помірна перевага одного фактора над іншим	Аналіз інформації показує неістотну перевагу одного фактора впливу над іншим
5	Суттєва або сильна перевага одного фактора над іншим	Аналіз інформації свідчить про істотну перевагу одного фактора впливу над іншим
7	Значна перевага	Одному фактору впливу надається велика перевага, така, що він стає практично значним
9	Дуже велика перевага	Очевидна перевага одного фактора впливу над іншими
2, 4, 6, 8	Проміжні значення між сусідніми рівнями	Застосовують у компромісних випадках

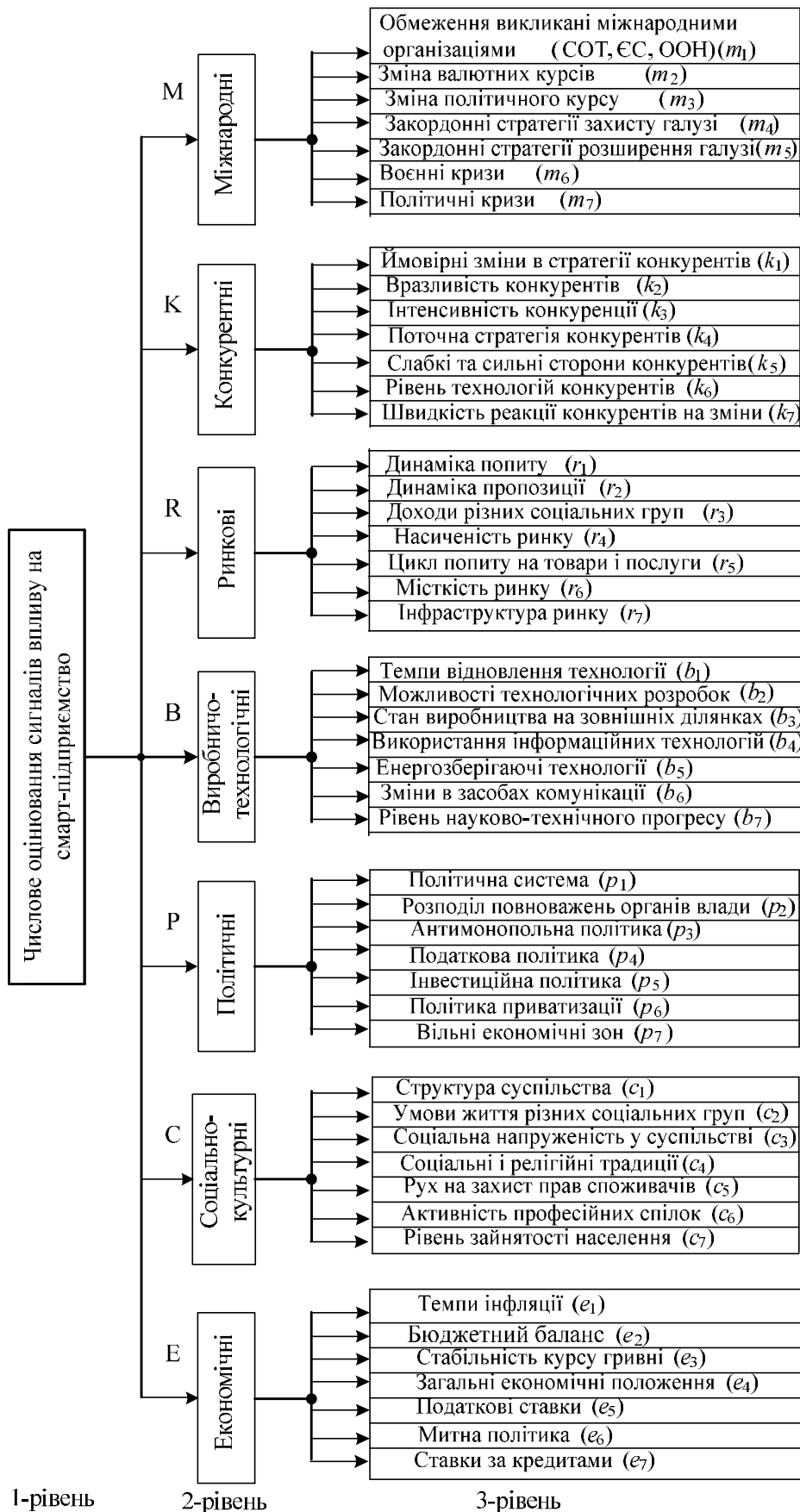


Рис. 1. Базове дерево ієрархії для смарт-підприємства

Обчислення вектора пріоритетів для другого рівня дерева ієрархій передбачає обчислення коефіцієнтів матриці попарних порівнянь A_{n-n} для груп сигналів впливу. Таку матрицю A_{n-n} формують, порівнюючи ваги кожної групи сигналів впливу з вагами інших груп згідно з виразом:

$$A_{n-n} = \begin{matrix} & \begin{matrix} E & C & P & B & R & K & M \end{matrix} \\ \begin{matrix} E \\ C \\ P \\ B \\ R \\ K \\ M \end{matrix} & \begin{matrix} a_{11} = \frac{w_e}{w_e} & a_{12} = \frac{w_c}{w_e} & a_{13} = \frac{w_p}{w_e} & a_{14} = \frac{w_b}{w_e} & a_{15} = \frac{w_r}{w_e} & a_{16} = \frac{w_k}{w_e} & a_{17} = \frac{w_m}{w_e} \\ a_{21} = \frac{w_e}{w_c} & a_{22} = \frac{w_c}{w_c} & a_{23} = \frac{w_p}{w_c} & a_{24} = \frac{w_b}{w_c} & a_{25} = \frac{w_r}{w_c} & a_{26} = \frac{w_k}{w_c} & a_{27} = \frac{w_m}{w_c} \\ a_{31} = \frac{w_e}{w_p} & a_{32} = \frac{w_c}{w_p} & a_{33} = \frac{w_p}{w_p} & a_{34} = \frac{w_b}{w_p} & a_{35} = \frac{w_r}{w_p} & a_{36} = \frac{w_k}{w_p} & a_{37} = \frac{w_m}{w_p} \\ a_{41} = \frac{w_e}{w_b} & a_{42} = \frac{w_c}{w_b} & a_{43} = \frac{w_p}{w_b} & a_{44} = \frac{w_b}{w_b} & a_{45} = \frac{w_r}{w_b} & a_{46} = \frac{w_k}{w_b} & a_{47} = \frac{w_m}{w_b} \\ a_{51} = \frac{w_e}{w_r} & a_{52} = \frac{w_c}{w_r} & a_{53} = \frac{w_p}{w_r} & a_{54} = \frac{w_b}{w_r} & a_{55} = \frac{w_r}{w_r} & a_{56} = \frac{w_k}{w_r} & a_{57} = \frac{w_m}{w_r} \\ a_{61} = \frac{w_e}{w_k} & a_{62} = \frac{w_c}{w_k} & a_{63} = \frac{w_p}{w_k} & a_{64} = \frac{w_b}{w_k} & a_{65} = \frac{w_r}{w_k} & a_{66} = \frac{w_k}{w_k} & a_{67} = \frac{w_m}{w_k} \\ a_{71} = \frac{w_e}{w_m} & a_{72} = \frac{w_c}{w_m} & a_{73} = \frac{w_p}{w_m} & a_{74} = \frac{w_b}{w_m} & a_{75} = \frac{w_r}{w_m} & a_{76} = \frac{w_k}{w_m} & a_{77} = \frac{w_m}{w_m} \end{matrix} \end{matrix} \quad (1)$$

Обчислення вектора пріоритетів для матриці A_{n-n} виконують так:

<i>Матриця попарних порівнянь A_{n-n}</i>	<i>Власний вектор A_{ϵ}</i>	<i>Вектор пріоритетів A_n</i>																																																																
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 5%;"></th> <th style="width: 12.5%;">E</th> <th style="width: 12.5%;">C</th> <th style="width: 12.5%;">P</th> <th style="width: 12.5%;">B</th> <th style="width: 12.5%;">R</th> <th style="width: 12.5%;">K</th> <th style="width: 12.5%;">M</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="border-right: 1px solid black; padding: 5px;">E</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">a_{11}</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">a_{12}</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">a_{13}</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">a_{14}</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">a_{15}</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">a_{16}</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">a_{17}</td> </tr> <tr> <td style="border-right: 1px solid black; padding: 5px;">C</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">a_{21}</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">a_{22}</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">a_{23}</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">a_{24}</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">a_{25}</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">a_{26}</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">a_{27}</td> </tr> <tr> <td style="border-right: 1px solid black; padding: 5px;">P</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">a_{31}</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">a_{32}</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">a_{33}</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">a_{34}</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">a_{35}</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">a_{36}</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">a_{37}</td> </tr> <tr> <td style="border-right: 1px solid black; padding: 5px;">B</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">a_{41}</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">a_{42}</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">a_{43}</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">a_{44}</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">a_{45}</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">a_{46}</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">a_{47}</td> </tr> <tr> <td style="border-right: 1px solid black; padding: 5px;">R</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">a_{51}</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">a_{52}</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">a_{53}</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">a_{54}</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">a_{55}</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">a_{56}</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">a_{57}</td> </tr> <tr> <td style="border-right: 1px solid black; padding: 5px;">K</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">a_{61}</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">a_{62}</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">a_{63}</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">a_{64}</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">a_{65}</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">a_{66}</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">a_{67}</td> </tr> <tr> <td style="border-right: 1px solid black; padding: 5px;">M</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">a_{71}</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">a_{72}</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">a_{73}</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">a_{74}</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">a_{75}</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">a_{76}</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">a_{77}</td> </tr> </tbody> </table>		E	C	P	B	R	K	M	E	a_{11}	a_{12}	a_{13}	a_{14}	a_{15}	a_{16}	a_{17}	C	a_{21}	a_{22}	a_{23}	a_{24}	a_{25}	a_{26}	a_{27}	P	a_{31}	a_{32}	a_{33}	a_{34}	a_{35}	a_{36}	a_{37}	B	a_{41}	a_{42}	a_{43}	a_{44}	a_{45}	a_{46}	a_{47}	R	a_{51}	a_{52}	a_{53}	a_{54}	a_{55}	a_{56}	a_{57}	K	a_{61}	a_{62}	a_{63}	a_{64}	a_{65}	a_{66}	a_{67}	M	a_{71}	a_{72}	a_{73}	a_{74}	a_{75}	a_{76}	a_{77}	\Rightarrow	\Rightarrow
	E	C	P	B	R	K	M																																																											
E	a_{11}	a_{12}	a_{13}	a_{14}	a_{15}	a_{16}	a_{17}																																																											
C	a_{21}	a_{22}	a_{23}	a_{24}	a_{25}	a_{26}	a_{27}																																																											
P	a_{31}	a_{32}	a_{33}	a_{34}	a_{35}	a_{36}	a_{37}																																																											
B	a_{41}	a_{42}	a_{43}	a_{44}	a_{45}	a_{46}	a_{47}																																																											
R	a_{51}	a_{52}	a_{53}	a_{54}	a_{55}	a_{56}	a_{57}																																																											
K	a_{61}	a_{62}	a_{63}	a_{64}	a_{65}	a_{66}	a_{67}																																																											
M	a_{71}	a_{72}	a_{73}	a_{74}	a_{75}	a_{76}	a_{77}																																																											
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr> <td style="border-right: 1px solid black; padding: 5px;"></td> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">$a_{e\epsilon}$</td> </tr> <tr> <td style="border-right: 1px solid black; padding: 5px;"></td> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">$a_{c\epsilon}$</td> </tr> <tr> <td style="border-right: 1px solid black; padding: 5px;"></td> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">$a_{p\epsilon}$</td> </tr> <tr> <td style="border-right: 1px solid black; padding: 5px;"></td> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">$a_{b\epsilon}$</td> </tr> <tr> <td style="border-right: 1px solid black; padding: 5px;"></td> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">$a_{r\epsilon}$</td> </tr> <tr> <td style="border-right: 1px solid black; padding: 5px;"></td> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">$a_{k\epsilon}$</td> </tr> <tr> <td style="border-right: 1px solid black; padding: 5px;"></td> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">$a_{m\epsilon}$</td> </tr> </tbody> </table>		$a_{e\epsilon}$		$a_{c\epsilon}$		$a_{p\epsilon}$		$a_{b\epsilon}$		$a_{r\epsilon}$		$a_{k\epsilon}$		$a_{m\epsilon}$	\Rightarrow	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr> <td style="border-right: 1px solid black; padding: 5px;"></td> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">a_{en}</td> </tr> <tr> <td style="border-right: 1px solid black; padding: 5px;"></td> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">a_{cn}</td> </tr> <tr> <td style="border-right: 1px solid black; padding: 5px;"></td> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">a_{pn}</td> </tr> <tr> <td style="border-right: 1px solid black; padding: 5px;"></td> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">a_{bn}</td> </tr> <tr> <td style="border-right: 1px solid black; padding: 5px;"></td> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">a_{rn}</td> </tr> <tr> <td style="border-right: 1px solid black; padding: 5px;"></td> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">a_{kn}</td> </tr> <tr> <td style="border-right: 1px solid black; padding: 5px;"></td> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">a_{mn}</td> </tr> </tbody> </table>		a_{en}		a_{cn}		a_{pn}		a_{bn}		a_{rn}		a_{kn}		a_{mn}																																				
	$a_{e\epsilon}$																																																																	
	$a_{c\epsilon}$																																																																	
	$a_{p\epsilon}$																																																																	
	$a_{b\epsilon}$																																																																	
	$a_{r\epsilon}$																																																																	
	$a_{k\epsilon}$																																																																	
	$a_{m\epsilon}$																																																																	
	a_{en}																																																																	
	a_{cn}																																																																	
	a_{pn}																																																																	
	a_{bn}																																																																	
	a_{rn}																																																																	
	a_{kn}																																																																	
	a_{mn}																																																																	

де значення власного вектора матриці A_{ϵ} обчислюємо за формулою:

$$\begin{aligned}
a_{e6} &= \sqrt[7]{a_{11} \times a_{12} \times a_{13} \times a_{14} \times a_{15} \times a_{16} \times a_{17}} \\
a_{ce} &= \sqrt[7]{a_{21} \times a_{22} \times a_{23} \times a_{24} \times a_{25} \times a_{26} \times a_{27}} \\
a_{pe} &= \sqrt[7]{a_{31} \times a_{32} \times a_{33} \times a_{34} \times a_{35} \times a_{36} \times a_{37}} \\
a_{be} &= \sqrt[7]{a_{41} \times a_{42} \times a_{43} \times a_{44} \times a_{45} \times a_{46} \times a_{47}} \\
a_{re} &= \sqrt[7]{a_{51} \times a_{52} \times a_{53} \times a_{54} \times a_{55} \times a_{56} \times a_{57}} \\
a_{ke} &= \sqrt[7]{a_{61} \times a_{62} \times a_{63} \times a_{64} \times a_{65} \times a_{66} \times a_{67}} \\
a_{me} &= \sqrt[7]{a_{71} \times a_{72} \times a_{73} \times a_{74} \times a_{75} \times a_{76} \times a_{77}},
\end{aligned} \tag{3}$$

а елементи вектора пріоритетів A_n так:

$$\begin{aligned}
a_{en} &= \frac{a_{e6}}{a_{e6} + a_{ce} + a_{pe} + a_{be} + a_{re} + a_{ke} + a_{me}}, & a_{cn} &= \frac{a_{ce}}{a_{e6} + a_{ce} + a_{pe} + a_{be} + a_{re} + a_{ke} + a_{me}}, \\
a_{pn} &= \frac{a_{pe}}{a_{e6} + a_{ce} + a_{pe} + a_{be} + a_{re} + a_{ke} + a_{me}}, & a_{bn} &= \frac{a_{be}}{a_{e6} + a_{ce} + a_{pe} + a_{be} + a_{re} + a_{ke} + a_{me}}, \\
a_{rn} &= \frac{a_{re}}{a_{e6} + a_{ce} + a_{pe} + a_{be} + a_{re} + a_{ke} + a_{me}}, & a_{kn} &= \frac{a_{ke}}{a_{e6} + a_{ce} + a_{pe} + a_{be} + a_{re} + a_{ke} + a_{me}}, \\
a_{mn} &= \frac{a_{me}}{a_{e6} + a_{ce} + a_{pe} + a_{be} + a_{re} + a_{ke} + a_{me}}.
\end{aligned} \tag{4}$$

На третьому етапі визначають ваги важливості та обчислюють вектори пріоритетів для груп сигналів впливу E, C, P, B, R, K, M , які розміщені на третьому рівні дерева ієрархії (рис. 2). Для визначення ваг важливості сигналів впливу в цих групах використовують накопичену інформацію про стан навколишнього середовища смарт-підприємства та табл. 1. Обчислення векторів пріоритетів $E_n, C_n, P_n, B_n, R_n, K_n$ і M_n передбачає формування відповідно до виразу (1) матриць попарних порівнянь $E_{n-n}, C_{n-n}, P_{n-n}, B_{n-n}, R_{n-n}, K_{n-n}, M_{n-n}$. Вектори пріоритетів $E_n = \{e_{1n}, e_{2n}, e_{3n}, e_{4n}, e_{5n}, e_{6n}, e_{7n}\}$, $C_n = \{c_{1n}, c_{2n}, c_{3n}, c_{4n}, c_{5n}, c_{6n}, c_{7n}\}$, $P_n = \{p_{1n}, p_{2n}, p_{3n}, p_{4n}, p_{5n}, p_{6n}, p_{7n}\}$, $B_n = \{b_{1n}, b_{2n}, b_{3n}, b_{4n}, b_{5n}, b_{6n}, b_{7n}\}$, $R_n = \{r_{1n}, r_{2n}, r_{3n}, r_{4n}, r_{5n}, r_{6n}, r_{7n}\}$, $K_n = \{k_{1n}, k_{2n}, k_{3n}, k_{4n}, k_{5n}, k_{6n}, k_{7n}\}$ і $M_n = \{m_{1n}, m_{2n}, m_{3n}, m_{4n}, m_{5n}, m_{6n}, m_{7n}\}$ обчислюються аналогічно, як вектор A_n , з використанням формул (3) і (4).

Четвертий етап передбачає обчислення інтегрального сигналу I_6 впливу на підприємство. Інтегральний сигнал впливу I_6 на бізнес чи підприємство – це скалярний добуток вектора пріоритетів $A_n = \{a_{en}, a_{cn}, a_{pn}, a_{bn}, a_{rn}, a_{kn}, a_{mn}\}$ на вектор глобальних пріоритетів $G_n = \{e_{maxn}, c_{maxn}, p_{maxn}, b_{maxn}, r_{maxn}, k_{maxn}, m_{maxn}\}$, який формуємо із елементів, що є максимальними значеннями у векторах пріоритетів відповідно $E_n = \{e_{1n}, e_{2n}, e_{3n}, e_{4n}, e_{5n}, e_{6n}, e_{7n}\}$, $C_n = \{c_{1n}, c_{2n}, c_{3n}, c_{4n}, c_{5n}, c_{6n}, c_{7n}\}$, $P_n = \{p_{1n}, p_{2n}, p_{3n}, p_{4n}, p_{5n}, p_{6n}, p_{7n}\}$, $B_n = \{b_{1n}, b_{2n}, b_{3n}, b_{4n}, b_{5n}, b_{6n}, b_{7n}\}$, $R_n = \{r_{1n}, r_{2n}, r_{3n}, r_{4n}, r_{5n}, r_{6n}, r_{7n}\}$, $K_n = \{k_{1n}, k_{2n}, k_{3n}, k_{4n}, k_{5n}, k_{6n}, k_{7n}\}$ і $M_n = \{m_{1n}, m_{2n}, m_{3n}, m_{4n}, m_{5n}, m_{6n}, m_{7n}\}$. Значення інтегрального сигналу впливу I_6 на підприємство обчислюють за формулою:

$$\begin{aligned}
I_6 &= A_n \times G = \{a_{en}, a_{cn}, a_{pn}, a_{bn}, a_{rn}, a_{kn}, a_{mn}\} \times \{e_{maxn}, c_{maxn}, p_{maxn}, b_{maxn}, r_{maxn}, k_{maxn}, m_{maxn}\} = \\
&= a_{en} \times e_{maxn} + a_{cn} \times c_{maxn} + a_{pn} \times p_{maxn} + a_{bn} \times b_{maxn} + a_{rn} \times r_{maxn} + a_{kn} \times k_{maxn} + a_{mn} \times m_{maxn}.
\end{aligned} \tag{5}$$

Як свідчить формула (5), інтегральний сигнал впливу I_6 на підприємство враховує взаємодію та взаємозалежність усіх груп усіх сигналів впливів, які діють на підприємство.

На п'ятому етапі виконують короткотермінове прогнозування на квартал інтегрального сигналу впливу I_6 на бізнес. Слабкий сигнал виявляють, обчислюючи різницю за такою формулою

$$h_j = |I_{60}(t_j) - I_{6n}(t_j)|, \tag{6}$$

де $I_{60}(t_j)$ – поточне значення інтегрального сигналу впливу; $I_{6n}(t_j)$ – прогнозоване значення інтегрального сигналу впливу. Якщо порівняти h_j з порогом ϵ , то можна виявити ознаку появи слабкого

сигналу. Якщо $h_j > \epsilon$, це означає, що виявлено слабкий сигнал, який сигналізує про появу нової тенденції. Поріг ϵ обчислюють за формулою:

$$\epsilon = \frac{\max I_B - \min I_B}{2},$$

де $\min I_B$ і $\max I_B$ – щорічні мінімальне та максимальне значення сумарного (інтегрального) сигналу впливу на бізнес. Для виявлення слабких сигналів застосовують схему, наведену на рис. 2. Слабкий сигнал визначається за рівнем порога ϵ , що означає, що його абсолютні значення малі, проте він має значення половини між максимальним і мінімальним значенням впливу інтегрального сигналу. Це дає підстави стверджувати, що це саме слабкі сигнали, а не ознаки поганої прогнозної здатності моделі. Підтвердження цієї гіпотези можна побачити на рис. 2, де розбіжності між реальним значенням та прогнозованим значенням за межами порога ϵ .

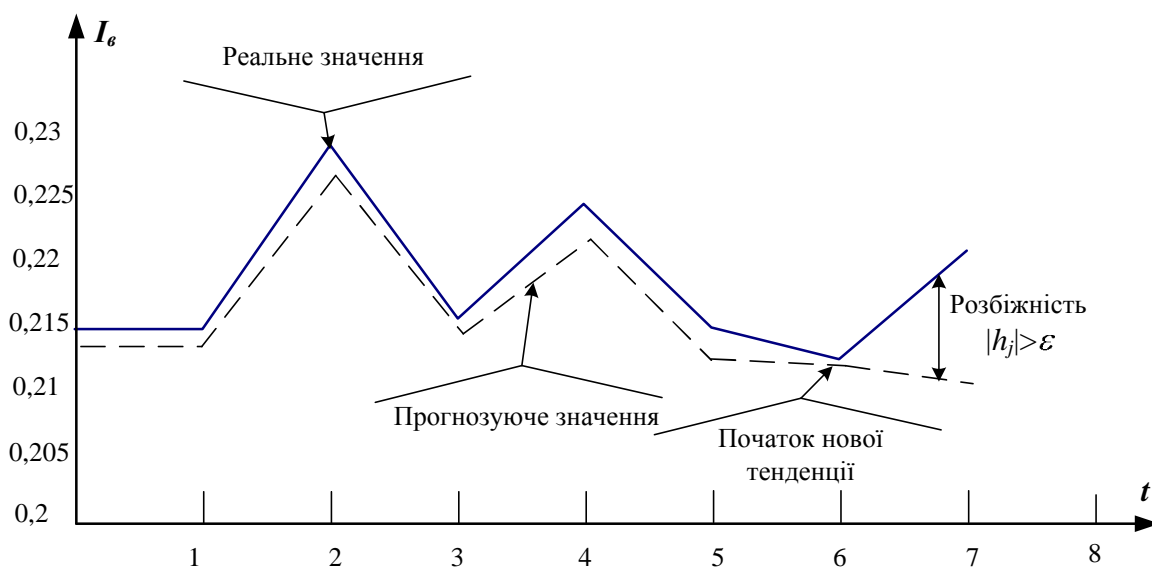


Рис. 2. Схема виявлення слабких сигналів

Для прийняття управлінського рішення [20] необхідно класифікувати слабкий сигнал за такими параметрами:

- характером сигналу (потенційні можливості та загрози);
- моментом надходження;
- джерелом походження (мікросередовище, макросередовище, внутрішнє середовище підприємства);
- силою сигналу;
- змістом сигналу (виробничо-технологічний, соціально-культурний, економічний, політичний, конкурентний, ринковий, міжнародний).

Що слабший сигнал отриманий та ідентифікований із навколишнього середовища, то більше часу матиме підприємство для прийняття та реалізації рішень стосовно можливості або загрози, які насуваються.

Розроблення програмних засобів виявлення слабких сигналів для адаптивного управління смарт-підприємством. На основі MATLAB розроблено програму оцінювання сигналів впливу на смарт-підприємство та виявлення слабких сигналів. Вікно користувальницького інтерфейсу програми оцінювання сигналів впливу на смарт-підприємство наведено на рис. 3.

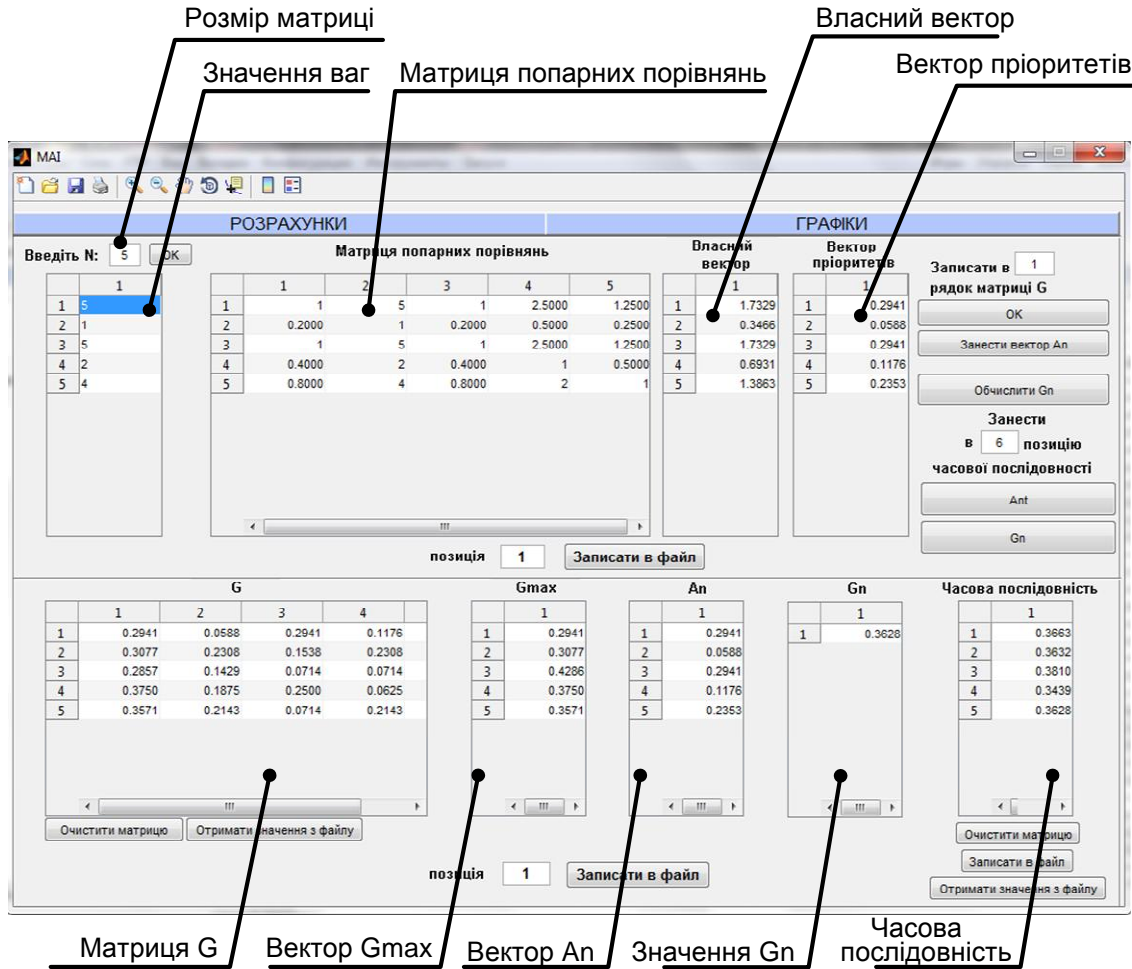


Рис. 3. Вікно користувальницького інтерфейсу програми оцінювання сигналів впливу на смарт-підприємство

Для оцінювання сигналів впливу на смарт-підприємство необхідно сформувати матрицю попарних порівнянь A_{n-n} , обчислити власний вектор і вектор пріоритетів A_n . Формування матриці попарних порівнянь починається із введення розмірів матриці в полі N , де N дорівнює розміру матриці. Формують матрицю попарних порівнянь A_{n-n} здійснюючи порівняння ваги групи сигналів впливу з вагами інших груп сигналів впливу. Результати такого попарного порівняння вводять у стовпець за стовпцем.

Після введення значень всіх рядків отримують матрицю попарних порівнянь A_{n-n} (рис. 4).

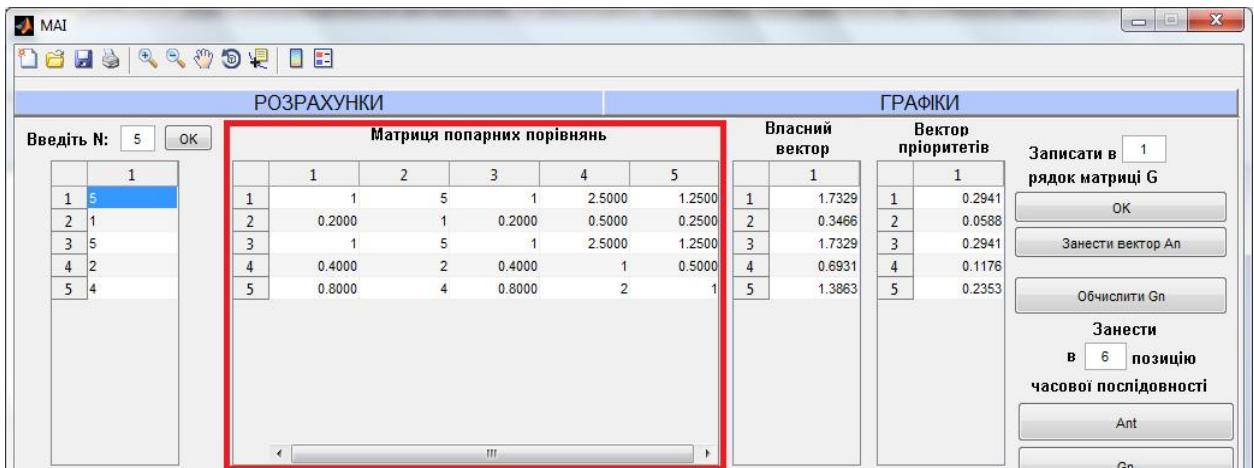


Рис. 4. Відображення результатів обчислення матриці попарних порівнянь

На основі матриці попарних порівнянь A_{n-n} обчислюють власний вектор і вектор локальних пріоритетів. Результати такого обчислення виводять в поле значень власного вектора та вектора пріоритетів A_n (рис. 5).

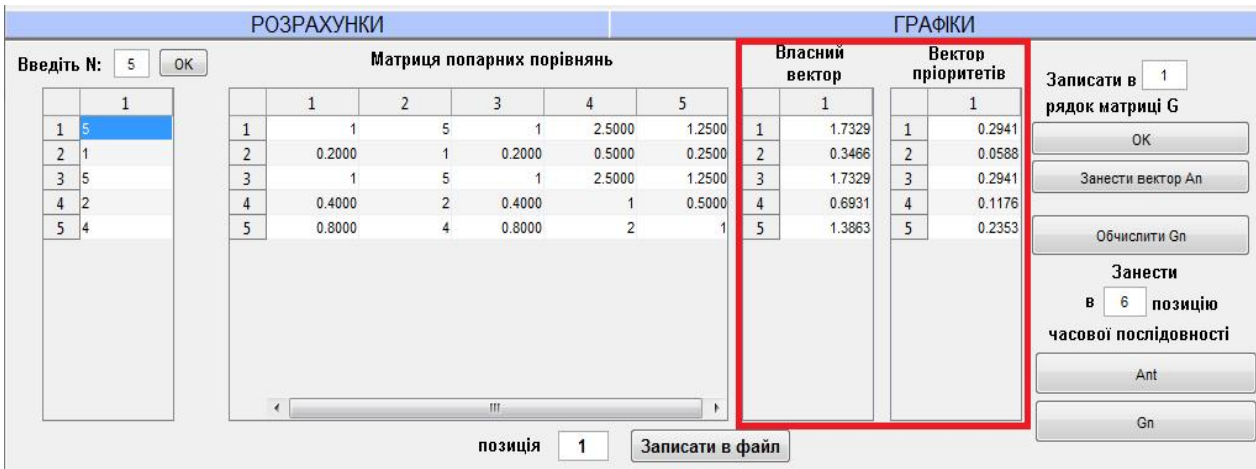


Рис. 5. Відображення результатів обчислення власного вектора і вектора пріоритетів

Після обчислення вектора пріоритетів A_n , його значення вносять у відповідне поле для подальшого опрацювання за допомогою кнопки “Внести вектор A_n ”. Значення A_n можна внести в матрицю часових послідовностей за допомогою кнопки “Ant”.

Всі обчислення можна зберегти у текстовий файл і файл формату Microsoft Office Excel, за допомогою кнопки “Записати в файл”, на певну позицію у файлі (якщо обчислення виконуються більше від одного разу). Результат експорту даних у програму Microsoft Office Excel наведено на рис. 6.

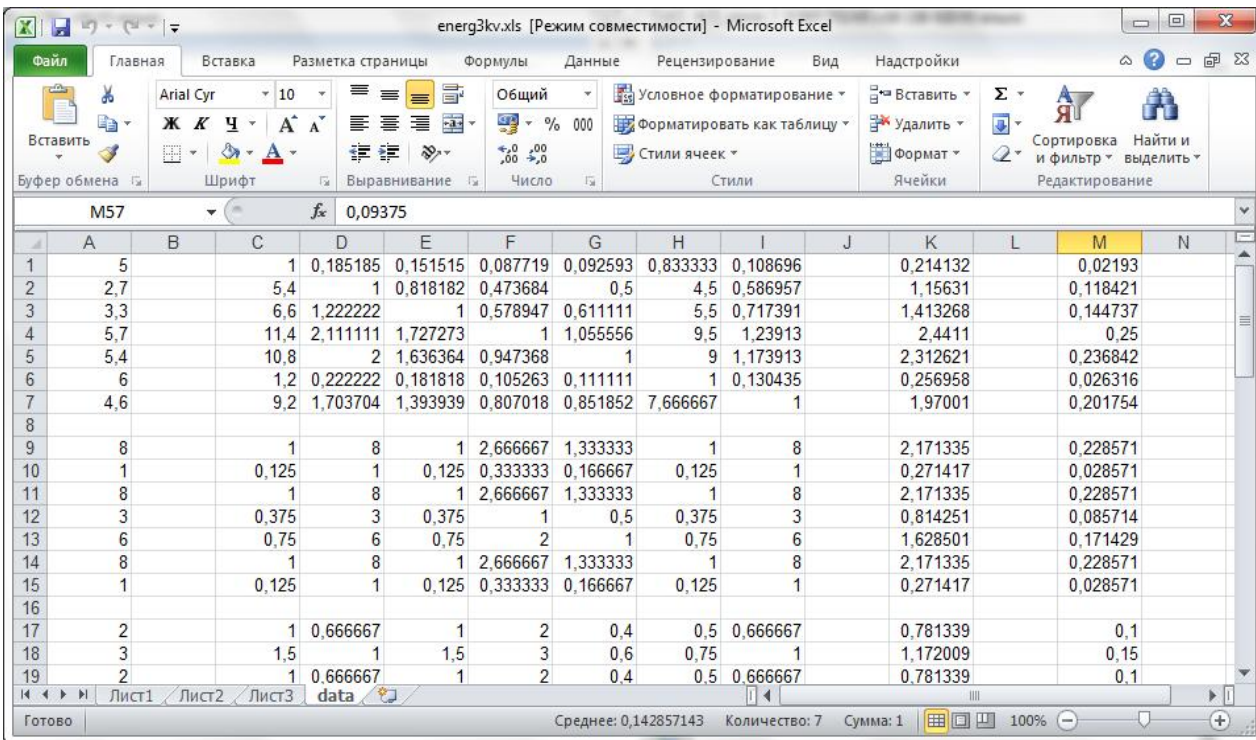


Рис. 6. Результат експорту даних у програму Microsoft Office Excel

Наступним кроком процесу реалізації програми є обчислення вектора глобальних пріоритетів G , який формується із елементів, що є максимальними значеннями у векторах пріоритетів відповідно $E_n = \{e_{1n}, e_{2n}, e_{3n}, e_{4n}, e_{5n}, e_{6n}, e_{7n}\}$, $C_n = \{c_{1n}, c_{2n}, c_{3n}, c_{4n}, c_{5n}, c_{6n}, c_{7n}\}$, $P_n = \{p_{1n}, p_{2n}, p_{3n}, p_{4n}, p_{5n}, p_{6n}, p_{7n}\}$, $B_n = \{b_{1n}, b_{2n}, b_{3n}, b_{4n}, b_{5n}, b_{6n}, b_{7n}\}$, $R_n = \{r_{1n}, r_{2n}, r_{3n}, r_{4n}, r_{5n}, r_{6n}, r_{7n}\}$, $K_n = \{k_{1n}, k_{2n}, k_{3n}, k_{4n}, k_{5n}, k_{6n}, k_{7n}\}$ і $M_n = \{m_{1n}, m_{2n}, m_{3n}, m_{4n}, m_{5n}, m_{6n}, m_{7n}\}$. Після отримання вектора глобальних пріоритетів G виконують обчислення інтегрального сигналу впливу на підприємство за допомогою скалярного множення вектора глобальних пріоритетів G на вектор пріоритетів A_n . Запуск результату цього множення (інтегрального сигналу впливу на підприємство) здійснюється за допомогою кнопки “Обчислити G_n ”. Значення інтегрального сигналу впливу на підприємство записується в поле G_n . На основі обчислених значень інтегрального сигналу впливу на підприємство формують часовий ряд (послідовність) (рис. 7).

The screenshot shows a software application window titled 'МАІ' with two main sections: 'РОЗРАХУНКИ' (Calculations) and 'ГРАФІКИ' (Graphs). In the 'РОЗРАХУНКИ' section, there are several tables and controls:

- Введіть N:** A text input field with the value '5' and an 'OK' button.
- Матриця попарних порівнянь:** A 5x5 matrix table with values ranging from 0.0000 to 2.5000.
- Власний вектор:** A 5x1 vector table with values: 1.7329, 0.3486, 1.7329, 0.6931, 1.3883.
- Вектор пріоритетів:** A 5x1 vector table with values: 0.2941, 0.0588, 0.2941, 0.1176, 0.2353.
- Занести в 1 рядок матриці G:** A control with a dropdown set to '1' and buttons 'OK', 'Занести вектор A_n ', and 'Обчислити G_n '.
- Занести в 5 позицію часової послідовності:** A button highlighted with a red box, with a dropdown set to '5' and a label 'Ant' below it.
- Г:** A 5x5 matrix table with values ranging from 0.0714 to 0.3750.
- G_{max} :** A 5x1 vector table with values: 0.2941, 0.3077, 0.4286, 0.3750, 0.3571.
- A_n :** A 5x1 vector table with values: 0.2941, 0.0588, 0.2941, 0.1176, 0.2353.
- G_n :** A 5x1 vector table with a single value 0.3628 highlighted by a red box.
- Часова послідовність:** A 5x1 vector table with values: 0.3663, 0.3632, 0.3810, 0.3439, 0.3628. The value 0.3628 is highlighted by a red box.

At the bottom of the 'РОЗРАХУНКИ' section, there are buttons for 'Очистити матрицю', 'Отримати значення з файлу', and 'Записати в файл'.

Рис. 7. Формування часової послідовності значень інтегрованих сигналів впливу на смарт-підприємство

Для виявлення слабких сигналів, які сигналізують про потенційні загрози або можливості, необхідно вивести у графічній формі реальні та прогнозовані значення інтегральних сигналів впливу на смарт-підприємство. Кнопкою “Графіки” (рис. 8), розміщеною у верхньому правому куті, можна перейти у вікно відображення графіків.

За допомогою кнопки “Нарисувати графік” можна отримати графік зміни реальних значень інтегральних сигналів впливу на смарт-підприємство у часі. Наступною можливістю розробленої програми є прогнозування інтегрального значення впливу на підприємство на певний період часу. Після встановлення значення періоду прогнозування за допомогою кнопки “Прогнозування” будуть графік прогнозу значень інтегральних сигналів впливу на смарт-підприємство.

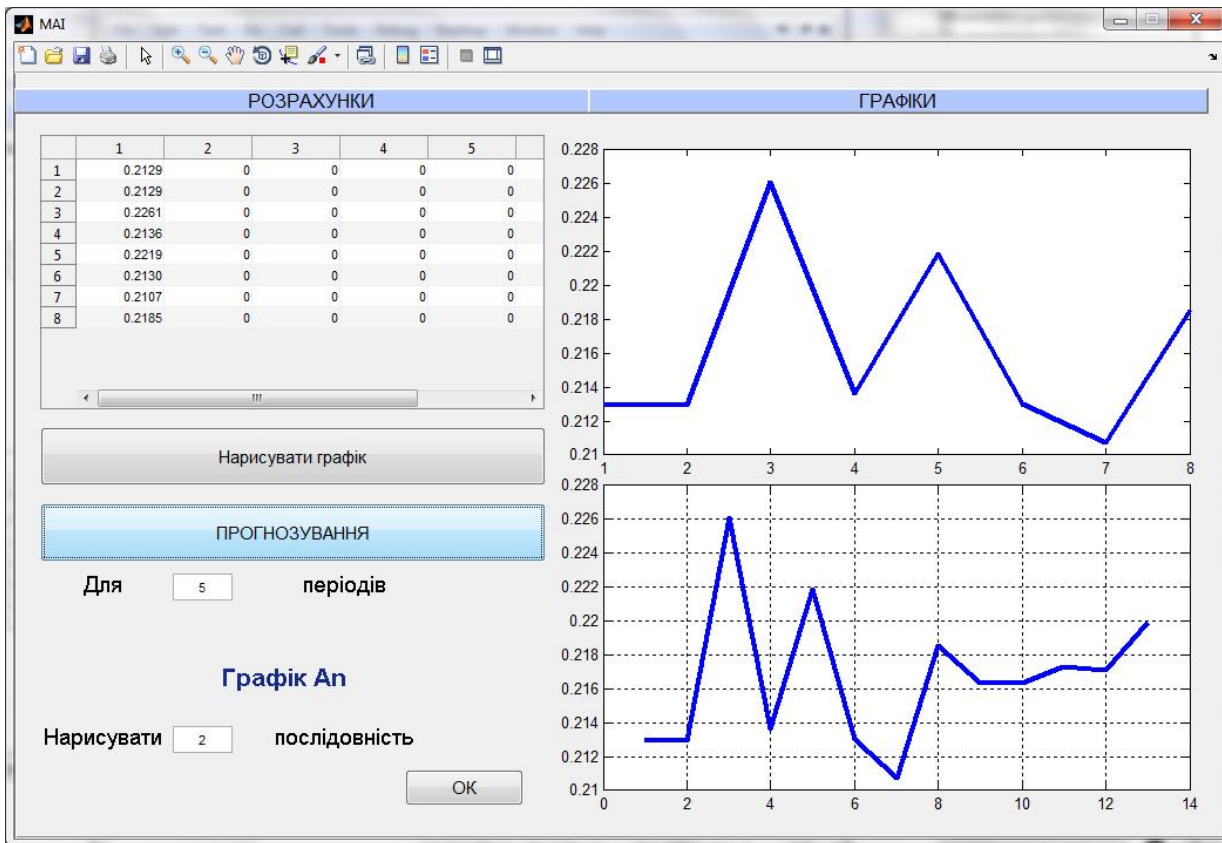


Рис. 8. Графіки реального та прогнозованого значень інтегрованих сигналів впливу на смарт-підприємство

Висновки

1. Сформовано вимоги до системи управління смарт-підприємством з використанням слабких сигналів, основними з яких є: збирання та інтеграція різноманітних даних за допомогою баз і сховищ даних; попереднє опрацювання та аналіз накопичених даних; визначення основних груп сигналів впливу на фінансову структуру, а саме підприємство, та їх оцінювання; обчислення узагальненого інтегрального сигналу впливу на компанію; візуалізація результатів обчислення цього значення; його прогнозування; виявлення слабких сигналів і їх класифікація; адаптація підприємства до швидких перемін зовнішнього та внутрішнього середовищ за допомогою своєчасного прийняття управлінських рішень; оцінювання майбутніх наслідків прийнятих рішень щодо управління підприємством.

2. Запропоновано розроблення системи управління смарт-підприємством з використанням слабких сигналів виконувати на основі інтегрованого підходу та таких принципів: системності; інтеграції комп'ютерних, комунікаційних і програмних компонентів; модульності; відкритості; сумісності; змінного складу обладнання.

3. Розроблено метод виявлення слабких сигналів, який ґрунтується на використанні системних процедур, декомпозиції навколишнього середовища на сигнали впливу та порівнянні порогового значення із різницею між обчисленим та прогнозованим значеннями інтегрального показника впливу на підприємство та забезпечує виявлення загроз на ранніх стадіях і збільшення часу на прийняття та реалізацію відповідних управлінських рішень.

4. Розроблено на базі MATLAB програму для оцінювання сигналів навколишнього середовища, обчислення інтегрованого сигналу впливу на смарт-підприємство та виявлення слабких сигналів з можливістю адаптації до управління роботою конкретного підприємства.

5. Подальші дослідження будуть спрямовані на підвищення точності прогнозування інтегрального показника впливу на підприємство та можливих наслідків реалізації управлінських рішень, виявлення і класифікації слабких сигналів із використанням нейронних мереж.

Список літератури

1. Драган Я. П., Сікора Л. С., Яворський Б. І. Системний аналіз стану та обґрунтування основ сучасної теорії стохастичних сигналів: енергетична концепція, математичний субстрат, фізичне тлумачення: монографія. Львів: Українські технології, 2014. 240 с.
2. Ящишина, І. (2018). Суть та особливості смарт-підприємств (Nature and features of smart factory). Наукові записки Національного університету “Острозька академія”. Серія “Економіка”: науковий журнал, (11 (39)), 14–18. DOI: 10.25264/2311-5149-2018-11(39)-14-18
3. Мейтус В. Ю., Морозова Г. П., Таран Л. Ю., Козлова В. П., & Музальова В. О. (2020). “Розумне” підприємство – основні властивості та напрямки розвитку. *Control systems & computers*. DOI: <https://doi.org/10.15407/usim.2020.04.021>
4. Impedovo, D., & Pirlo, G. (2020). Artificial intelligence applications to smart city and smart enterprise. *Applied Sciences*, 10(8), 2944. <https://doi.org/10.3390/app10082944>
5. Jabir, B., Noureddine, F., & Rahmani, K. (2022). Big data analytics opportunities and challenges for the smart enterprise. *Distributed Sensing and Intelligent Systems: Proceedings of ICDSIS 2020*, 833–845.
6. Цмоць, О. І. (2012). Особливості стратегічного управління підприємствами з використанням слабких сигналів. *Технологический аудит и резервы производства*, 4(1 (6)), 41–42.
7. Ящишина І. В. (2018). Суть та особливості смарт-підприємств. Наукові записки Національного університету “Острозька академія”. Серія “Економіка”: наук. журнал. Острог: Вид-во НаУОА. № 11(39). С. 14–18.
8. Вишневецький, В. П., Вієцька, О. В., Гаркушенко, О. М., Князєв, С. І., Лях, О. В., Чекіна, В. Д., & Череватський, Д. Ю. (2018). Смарт-промисловість в епоху цифрової економіки: перспективи, напрями і механізми розвитку. Інститут економіки промисловості НАН України (Київ).
9. Veza, I., Mladineo, M., & Gjeldum, N. (2016). Selection of the basic lean tools for development of croatian model of innovative smart enterprise. *Tehnički vjesnik*, 23(5), 1317–1324.
10. Драган, Я. П., Сікора, Л. С., & Яворський, Б. І. (2014). Системний аналіз стану та обґрунтування основ сучасної теорії стохастичних сигналів: енергетична концепція, математичний субстрат, фізичне тлумачення. Львів: Вид-во НВФ “Українські технології”.
11. Драган, Я. П., Грицюк, Ю. І., Сікора, Л. С., Яворський, Б. І., & Паляниця, Ю. Б. (2016). Класи варіантності сигналів і їх лінійних перетворень та чисельні методи – висліди системного аналізу ряду Тейлора.
12. Teslyuk, V., Tsmots, I., Teslyuk, T., & Kazymyra, I. (2022). Methods for the Efficient Energy Management in a Smart Mini Greenhouse. *Computers, Materials & Continua*, 70(2).
13. Nazarkevych, H., Nazarkevych, M., Kostiak, M., & Pavlysko, A. (2023). Designing an Information System to Create a Product in Terms of Adaptation. In *Developments in Information and Knowledge Management Systems for Business Applications: Vol. 7*, 153–169. Cham: Springer Nature Switzerland.
14. Nazarkevych, H., Tsmots, I., Nazarkevych, M., Oleksiv, N., Tysliak, A., & Faizulin, O. (2022, November). Research on the effectiveness of methods adaptive management of the enterprise's goods sales using machine learning methods. In *2022 IEEE 17th International Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT)*, 539–542. IEEE.
15. Ящишина, І. (2018). Суть та особливості смарт-підприємств (Nature and features of smart factory). Наукові записки Національного університету “Острозька академія”. Серія “Економіка”: наук. журнал, (11 (39)), 14–18.
16. Калініченко, Л. Л. (2011). Адаптивне управління підприємством в конкурентному середовищі. *Вісник економіки транспорту і промисловості*, (33), 177–180.
17. Токмакова, І. В., & Литвинова, Т. С. (2015). Адаптивне управління розвитком вітчизняних підприємств. *Вісник економіки транспорту і промисловості*, (49).
18. Ждаміров, Є. Ю. (2011). Адаптивна система управління підприємством. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*, (4), 189–192.

19. Підкамінний, І. М., & Ціпурина, В. С. (2011). Системні фактори впливу на інноваційний розвиток підприємства. *Ефективна економіка*, (3).

20. Назаркевич, М., & Назаркевич, Г. (2023). Адаптивний метод управління підприємством на основі нейронних мереж. *Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security*, (1), 93–99.

References

1. Dragan, Y. P., Sikora, L. S., Yavorskyi, B. I. (2014). System analysis of the state and substantiation of the foundations of the modern theory of stochastic signals: energy concept, mathematical substrate, physical interpretation: monograph. Lviv: Ukrainian technologies. 240 p.

2. Yashchyshyn, I. (2018). Nature and features of smart factories. *Scientific notes of the National University "Ostroh Academy". Series "Economics": scientific journal*, (11 (39)), 14–18. DOI: 10.25264/2311-5149-2018-11(39)-14-18

3. Meitus, V. Yu., Morozova, G. P., Taran, L. Yu., Kozlova, V. P., & Muzalyova, V. O. (2020). "Smart" enterprise – main properties and directions of development. *Control systems & computers*. DOI: <https://doi.org/10.15407/usim.2020.04.021>

4. Impedovo, D., & Pirlo, G. (2020). Artificial intelligence applications to smart city and smart enterprise. *Applied Sciences*, 10(8), 2944. <https://doi.org/10.3390/app10082944>

5. Jabir, B., Noureddine, F., & Rahmani, K. (2022). Big data analytics opportunities and challenges for the smart enterprise. *Distributed Sensing and Intelligent Systems: Proceedings of ICDSIS 2020*, 833–845.

6. Tsmots, O. I. (2012). Peculiarities of strategic management of enterprises using weak signals. *Technological audit and production reserves*, 4(1 (6)), 41–42.

7. Yashchyshina I. V. (December 2018). The essence and features of smart enterprises. *Scientific notes of the National University "Ostroh Academy". "Economics" series: scientific journal*. Ostrog: Publication of NaUOA, No. 11(39), 14–18..

8. Vishnevskiy, V. P., Vietska, O. V., Harkushenko, O. M., Knyazev, S. I., Lyakh, O. V., Chekina, V. D., & Cherevatskyi, D. Yu. (2018). Smart industry in the era of the digital economy: prospects, directions and mechanisms of development. Institute of Industrial Economics of the National Academy of Sciences of Ukraine (Kyiv).

9. Veza, I., Mladineo, M., & Gjeldum, N. (2016). Selection of the basic lean tools for development of Croatian model of innovative smart enterprise. *Technical journal*, 23(5), 1317–1324.

10. Dragan, Y. P., Sikora, L. S., & Yavorskyi, B. I. (2014). System analysis of the state and substantiation of the foundations of the modern theory of stochastic signals: energy concept, mathematical substrate, physical interpretation. Lviv: Ukrainian Technologies Publishing House.

11. Dragan, Y. P., Hrytsyuk, Y. I., Sikora, L. S., Yavorskyi, B. I., & Palyanitsa, Yu. B. (2016). Classes of variability of signals and their linear transformations and numerical methods-results of system analysis of the Taylor series.

12. Teslyuk, V., Tsmots, I., Teslyuk, T., & Kazymyra, I. (2022). Methods for the Efficient Energy Management in a Smart Mini Greenhouse. *Computers, Materials & Continua*, 70(2).

13. Nazarkevych, H., Nazarkevych, M., Kostiak, M., & Pavlysko, A. (2023). Designing an Information System to Create a Product in Terms of Adaptation. In *Developments in Information and Knowledge Management Systems for Business Applications: Vol. 7*, 153–169. Cham: Springer Nature Switzerland.

14. Nazarkevych, H., Tsmots, I., Nazarkevych, M., Oleksiv, N., Tysliak, A., & Faizulin, O. (2022, November). Research on the effectiveness of methods of adaptive management of the enterprise's goods sales using machine learning methods. In *2022 IEEE 17th International Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT)*, 539–542. IEEE.

15. Yashchyshyn, I. (2018). Nature and features of smart factories. *Scientific notes of the National University "Ostroh Academy". Series "Economics": scientific journal*, (11 (39)), 14–18.

16. Kalinichenko, L. L. (2011). Adaptive enterprise management in a competitive environment. *Bulletin of the Economy of Transport and Industry*, (33), 177–180.

17. Tokmakova, I. V., & Litvynova, T. S. (2015). Adaptive management of the development of domestic enterprises. *Bulletin of the Economy of Transport and Industry*, (49).

18. Zhdamirov, E. Yu. (2011). Adaptive enterprise management system. *Bulletin of the Poltava State Agrarian Academy*, (4), 189–192.

19. Pidkaminny, I. M., & Tsipurinda, V. S. (2011). System factors influencing the innovative development of the enterprise. *Efficient economy*, (3).

20. Nazarkevych, M., & Nazarkevych, G. (2023). Adaptive method of enterprise management based on neural networks. *Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security*, (1), 93–99.

**METHODS OF ADAPTIVE MANAGEMENT
OF SMART ENTERPRISE USING WEAK SIGNALS****Ivan Tsmots¹, Hanna Nazarkevych²**

Lviv Polytechnic National University, **Information Systems and Networks Department,**
12, S. Bandery str., Lviv, Ukraine

¹ivan.h.tsmots@lpnu.ua, ORCID 0000-0002-4033-8618,

²hanna.y.nazarkevych@lpnu.ua, ORCID 0000-0002-1413-630X

© *Tsmots I., Nazarkevych H., 2023*

The methods of adaptive management of a smart enterprise are considered, and approaches to the management of the enterprise are defined, which, due to the monitoring of the surrounding environment and the forecast of the consequences of the implementation of management decisions, ensures the effective management of the enterprise in conditions of increasing instability of the external environment. The main characteristics of smart production are highlighted, including intelligent response, operational assets, adaptability, information availability, collection and processing of information in real time. A basic four-level structure of a smart enterprise management system using weak signals has been developed, which, due to the combination of the global Internet, wireless networks with transmitters, executive mechanisms and the external environment, ensures the collection, storage and processing of data and management of the enterprise in real time. A program has been developed for evaluating the signals of the surrounding environment, calculating the integrated signal of influence on the smart enterprise.

Key words: smart enterprise; hierarchy design; importance weights; priority vector.