

СИСТЕМА ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ДЛЯ АНАЛІЗУ І ПРОГНОЗУВАННЯ СТАНУ ПІДПРИЄМСТВА

Запропоновано процедуру побудови системи підтримки прийняття рішень на основі мережі Байєса, яка надає можливість оцінювати та прогнозувати стан підприємства в умовах впливу збурень довільних типів та різної природи.

Ключові слова: система підтримки прийняття рішень, байєсівські мережі, аналіз стану підприємства, стратегічне планування, статистичні дані.

ВСТУП

Важливою задачею комп'ютеризації бізнесу є впровадження комп'ютерних інформаційних систем (у тому числі аналітичних систем підтримки прийняття рішень – СППР) у всі ланки бізнес-відносин між суб'єктами господарювання. Однією із сфер застосування таких систем є малий бізнес. Відомо, що для малих підприємств характерна швидка зміна поточної інформації – асортименту продукції, балансу попиту і пропозиції, кон'юнктури ринку і загалом спостерігається великий об'єм інформаційних потоків. Відомо, що сьогодні рівень автоматизації діяльності таких підприємств досить низький. Для типового підприємства (наприклад, роздрібною торгівлі) комп'ютеризація у кращому випадку проявляється у документуванні даних з неможливістю їх подальшого використання, а тим більше належної аналітичної обробки. Відсутність інформаційних систем широкого профілю призводить до неможливості застосування будь-яких інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень.

Таким чином, актуальною задачею є створення єдиної інформаційної системи підприємства із самою широкою аналітичною підтримкою діяльності користувачів. Це означає, що необхідно створювати єдину базу знань і даних (БЗД) з уніфікованим форматом представлення даних, проектувати і створювати програмні реалізації інтерфейсів для роботи з БЗД, а також комп'ютерну систему підтримки прийняття рішень (СППР), що використовує інформацію з цієї бази знань і даних. При такому підході автоматично створюються умови для отримання інформації у стандартизованому представленні, що надає можливість застосовувати належну аналітичну обробку. Отже, виникають передумови для впровадження у бізнесову діяльність підприємства формалізованих систем підтримки прийняття рішень (наприклад, таких, що використовують алгоритми розв'язання оптимізаційних задач, прогнозування, планування, аналізу стану ринку, інвестиційної діяльності і т. ін.). Надалі накопичені дані і алгоритмічні процедури можуть стати ос-

новою для бази знань потужнішою інтелектуальною системою – експертною системою з широким колом поставлених задач. Таким чином, повноцінна комп'ютеризація діяльності суб'єкта бізнесу (незалежно від типу системи, що проектується) спирається на ядро інформаційної системи у вигляді бази знань і даних і відповідних чисельних процедур для обробки даних з метою моделювання і прогнозування подальшої діяльності.

Одним із високоефективних сучасних інструментів математичного моделювання, прогнозування, розпізнавання ситуацій та підтримки прийняття рішень є байєсівські мережі (БМ). Вони виникли на стику теорії ймовірностей і математичної статистики і мають ряд переваг перед іншими методами моделювання. Зокрема, можливість врахування в одній моделі категорійних і звичайних числових змінних, кількість змінних може сягати декількох сотень, наявність альтернативних методів формування ймовірнісного висновку та коректне представлення причинно-наслідкових зв'язків. Тому для розв'язання задачі оцінювання стану підприємства у цій роботі буде використано апарат байєсівських мереж.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Необхідно спроектувати інформаційну СППР на основі мережі довіри Байєса для оцінювання і прогнозування стану малого підприємства з використанням сучасних ймовірнісних методів формування статистичного висновку. Для розв'язання основної задачі необхідно створити мережу Байєса на множині зв'язаних подій $X_i, i = 1, \dots, n$ з відомими апріорними ймовірностями, тобто побудувати ациклічний граф G , який характеризується множиною ймовірнісних параметрів B ; дослідити характеристики отриманої мережі з метою її подальшого застосування до аналізу та оцінювання стану малого бізнесу, а також визначення стратегії його подальшого розвитку. При цьому передбачається, що на події $X_i, i = 1, \dots, n$ впливають невизначеності різного характеру і природи, а також існують дані, що описують відповідні події, які зв'язані з діяльністю малого підприємства.

ПРОЕКТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СППР НА ОСНОВІ МЕРЕЖІ БАЙЄСА

Актуальним напрямком розвитку комп'ютерних систем є інтелектуалізація процесів обробки даних. Процес інтелектуалізації інформаційної СППР означає надання користувачеві принципової можливості не лише отримувати інформацію на основі обробки даних, але й використовувати в процесі роботи цю інформацію, а також накопичені професіоналами досвід і знання. В даній роботі під інформаційною СППР будемо розуміти будь-яку комп'ютерну інформаційну систему, яка надає при прийнятті рішень допомогу різного характеру (обчислення, пошук, формування висновку, зручне представлення результатів і т. п.). Різновидністю СППР є експертні системи (ЕС) [1–3].

Експертна система розроблялася за технологією розробки ЕС, що склалася на сьогодні. Ця технологія складається з шести етапів: ідентифікація, концептуалізація, формалізація, реалізація, тестування і дослідно-експериментальна експлуатація (рис. 1) [4].

У зв'язку з тим, що основою будь-якої експертної системи є знання, даний етап є найбільш важливим і найбільш трудомістким етапом розробки ЕС. Процес накопичення знань розділяють на отримання знань від експерта, організацію знань, яка забезпечує ефективну роботу системи, і подання знань у вигляді, зрозумілому ЕС. Розповсюдженими підходами до розробки ЕС є такі: системи на основі правил, системи з використанням нейронних мереж і експертні системи на основі мереж довіри Байєса (МБ). В даній роботі використано підхід на основі МБ. Для реалізації системи обрані Delphi/C++ Builder та система управління базами даних (СУБД) InterBase.

КОРОТКИЙ ОГЛЯД СИСТЕМ НА ОСНОВІ МБ

Мережі довіри Байєса, або просто байєсівські мережі, складаються з множини вузлів і сукупності спрямованих ребер, що з'єднують ці вузли між собою (більш детально мережі Байєса розглядаються у наступному підрозділі

цієї роботи). Ребра визначають причинно-наслідкові зв'язки у предметній області, що більшою частиною не є однозначно визначеними. Вірогідність твердження (чи дії) представляється за допомогою ймовірності. Концепція байєсівських мереж полягає у оновленні ймовірностей при надходженні додаткової інформації. Інформацію може отримувати кожен вузол (змінна) мережі, оскільки метод оновлення ймовірностей є інваріантним відносно напрямку розповсюдження інформації по ребрам мережі. Таким чином, байєсівська мережа, як основа експертної системи, значно розширює можливості аналізу і прийняття рішень, оскільки дозволяє робити і прямиї, і зворотний логічний висновок одночасно. Крім того, одночасне введення інформації про стани декількох вузлів не змінює алгоритму обробки мережі, що дає можливість виключити ситуації логічної суперечності, які часто мають місце в подібних випадках для інших методів. Байєсівські мережі в експертних системах мають такі значні переваги, як можливість обчислювального трактування алгоритмів логічного висновку, гнучкість процесу розповсюдження інформації та адаптування до нових даних. З усього цього випливає, що експертну систему для малого бізнесу доцільно побудувати саме на основі мереж Байєса.

Структура мережі часто визначається експертами предметної області, але існують методи структурного навчання МБ на основі статистичних даних. Це дає можливість адаптувати структуру МБ до нових даних. Проте слід підкреслити, що принципово *суб'єктивний* байєсівський підхід не вимагає «об'єктивності» ймовірностей, а тому дозволяє формувати таблиці умовних ймовірностей спираючись на суб'єктивні оцінки експертів. Слід також зазначити, що результати логічного висновку більш чутливі до якісної структури МБ, ніж до кількісних значень ймовірностей [5].

АДАПТАЦІЯ БАЙЄСІВСЬКОЇ МЕРЕЖІ ДО ДАНИХ

Для побудови структури БМ використано алгоритм на основі статистичного аналізу рядів даних, які характеризують еволюцію змінних мережі [6]. В СППР також реалізовано алгоритм адаптування структури мережі до нових даних, що надходять в реальному часі. Для пояснення процедури адаптації мережі введемо такі позначення: $Z = \{X_1, \dots, X_n\}$ – множина вузлів БМ, яка визначається числом змінних в базі даних; $E = \{(X_i, X_j) | X_i, X_j \in Z\}$ – множина дуг мережі; X_i – вузол БМ, що відповідає спостереженням однієї змінної з бази даних; $n = |Z|$ – число вузлів БМ; r_i – число значень, що можуть прийматися вузлом X_i ; v_{ik} – k -е значення змінної X_i ; Π_i – множина вузлів-предків вузла X_i ; ϕ_i – множина можливих ініціалізацій Π_i ; $q_i = |\phi_i|$ – число можливих ініціалізацій Π_i ; ϕ_{ij} – j -а ініціалізація множини вузлів-предків Π_i вузла X_i ; B_S – структура БМ;

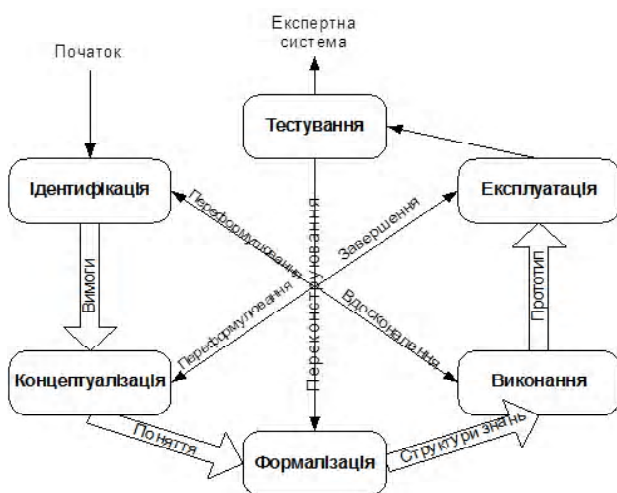


Рис. 1. Технологія розробки ЕС

B_P – імовірнісна специфікація БМ, тобто частина опису моделі, що представляє імовірнісні характеристики БМ; $\theta_{ijk} = P(X_i = v_{ik} | \phi_{ij}, B_P)$, при цьому сума ймовірностей $\sum_k \theta_{ijk} = 1$; $f(\theta_{ij1}, \dots, \theta_{ijr_i})$ – щільність розподілу ймовірностей для вузла X_i та ініціалізації ϕ_{ij} ; D_0 – вихідна база даних спостережень; S_0 – структура БМ, отримана внаслідок попередньої пакетної обробки бази D_0 ; D_1 – база даних нових спостережень, не використаних при побудові S_0 ; S_1 – структура БМ, отримана після адаптації S_0 до нових даних D_1 . Ставилась задача розробки алгоритму адаптування вихідної байєсівської мережі $G = \langle Z, E \rangle$ із структурою S_0 , побудовану за вихідною базою спостережень D_0 , до нових спостережень D_1 . Тобто, необхідно сформувати оновлену структуру мережі $S_1 \Leftrightarrow D_1$. При цьому експериментальні (статистичні) дані можуть мати довільний розподіл ймовірностей, а процеси, які описуються цими даними, можуть мати нестационарний характер, тобто, математичне сподівання $M[X_i] \neq \text{const}$ і дисперсія $M\{X_i - M[X_i]\}^2 \neq \text{const}$.

Адаптація побудованої мережі до нових даних виконується у такій послідовності: (1) – реалізація процедури корегування структурної частини моделі: процедура видалення дуг, що не відповідають множині даних і додавання нових дуг; (2) – процедура корегування імовірнісної частини моделі. Оскільки на початковому етапі навчання БМ імовірнісну складову моделі представляють таблиці умовних розподілів ймовірностей, отримані безпосередньо на підставі частотного аналізу появи значень змінних в спостереженнях, тому відразу визначимо зміни в процедурі корегування імовірнісної частини моделі. З метою полегшення проведення корегування імовірнісної частини моделі, корисно зберігати не таблиці розподілу умовних ймовірностей, а значення N_{ijk} . Це дозволить швидше оновлювати дані щодо розподілу умовних ймовірностей, а самі значення умовних ймовірностей можна обчислювати, користуючись формулою Діріхле:

$$P(X_i = v_{ik} | \Pi_i = \phi_{ij}) = \frac{N_{ijk} + 1}{N_{ij} + r_i}.$$

При корегуванні структури БМ порядок обходу вузлів визначаємо за вкладом кожного вузла в значення

$$P(D_1 | D_0, S_0) = \prod_{i=1}^n \frac{\prod_{s=1}^{R_i} \prod_{t=1}^{Q_i} \prod_{u=1}^{m_{its}} (N_{its} + u)}{\prod_{t=1}^{Q_i} \prod_{u=1}^{M_{it}} (N_{it} + r_i - 1 + u)}.$$

Суть аналізу інформаційної важливості дуг полягає у наступному. На етапі перевірки дуг на необхідність видалення для кожного вузла обчислюється значення $K_{\text{delete}}(S_0)$ для поточної конфігурації множини вузлів-предків, а також значення $K_{\text{delete}}(S_{-1}^m)$ для конфігурацій, які представляють собою результат видалення однієї з M ($1 \leq m \leq M$) вхідних дуг з поточного вузла. Якщо виконується умова $K_{\text{delete}}(S_{-1}^m) \leq K_{\text{delete}}(S_0)$, то m -а дуга залишається в структурі мережі, оскільки видалення даної дуги призводить до зменшення значення локального функціоналу якості (тобто для поточного вузла). Інакше дуга заноситься в список дуг, що підлягають подальшій перевірці на необхідність видалення. Список може бути відсортований за збільшенням значення $K_{\text{delete}}(S_{-1}^m)$. Список (множина) дуг аналізується послідовно. Подальша перевірка полягає у обчисленні значення локального функціоналу якості при вихідній конфігурації і конфігураціях, які ми отримуємо при видаленні однієї з дуг, що залишилися в списку.

Тактика вилучення і додавання дуг застосована у інкрементному варіанті адаптаційного алгоритму, наведеному нижче. Оскільки результатом реалізації байєсівського підходу є вибір стратегії адаптації у вигляді:

$$P(S_1 | D_1, D_0, S_0) = \arg \max_S \frac{P(S | D_0)P(D_1 | S, D_0)}{P(D_1 | S_0, D_0)},$$

то процедури вилучення і додавання дуг здійснюється таким чином. Якщо врахувати вид розв'язку оптимізаційної задачі адаптації БМ, то тактика вилучення дуг повинна приводити до зменшення першої складової чисельника $P(S | D_0)$, оскільки вона досягає максимуму при $S = S_0$ в результаті формування початкової структури БМ. Таким чином, для отримання позитивного ефекту від адаптації необхідно компенсувати втрати від вилучення дуги ефектом від додавання нової дуги. Оскільки вихідною умовою алгоритму є наявність впорядкованої послідовності вузлів, то пошук дуги-претендента на додавання здійснюється саме в такому порядку. Оцінка дуги виконується шляхом обчислення значення локального функціоналу якості. Відповідно, претендент на додавання повинен визначати конфігурацію вхідних дуг, що має найбільше значення локального функціоналу якості.

РОЗРОБКА ЕС ДЛЯ МАЛОГО БІЗНЕСУ

Для суб'єктів малого бізнесу існує клас задач, які розв'язуються за допомогою експертів. Створюючи експертну систему для малого підприємства, необхідно виділити такий клас задач цієї множини, який був би практично важливим для підприємства та водночас достатньо якісно вирішувався за допомогою обраного інструментарію [7, 8].

На рис. 2 представлена структура стратегічного аналізу для підприємства малого бізнесу, яка використана у роботі. Логічним виходом цього аналізу є оцінка привабливості стратегічних альтернатив (чи бізнесу в цілому).

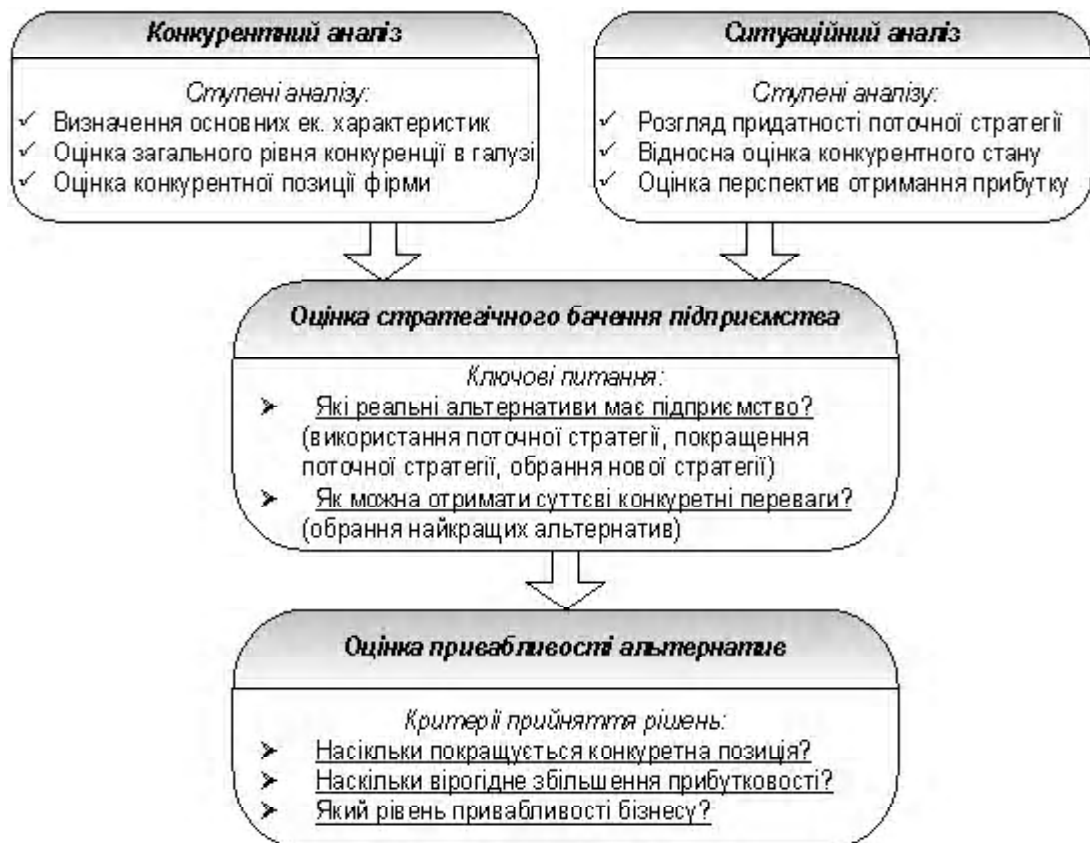


Рис. 2. Оцінка малого бізнесу в рамках стратегічного аналізу

Призначення ЕС: експертна система має реалізувати процес стратегічного аналізу у режимі консультації з користувачем, надавши йому на основі акумульованого експертного досвіду свою оцінку привабливості стратегічних альтернатив.

Реалізація цієї системи на основі байєсівських мереж довіри означає, що необхідно побудувати мережу, виділивши у ній вхідні вузли (тобто такі, імовірності станів котрих визначає користувач) і результуючі вузли. Далі, надавши станам вхідних вузлів певні значення, необхідно отримати імовірності станів результуючих вузлів.

ПРОЕКТУВАННЯ БАЙЄСІВСЬКОЇ МЕРЕЖИ ДОВІРИ ДЛЯ РОЗРОБКИ СТРАТЕГІЇ РОЗВИТКУ ПІДПРИЄМСТВА

Експертна система, в основі якої лежить модель предметної області у вигляді байєсівської мережі довіри, може бути використана також для розв'язку задачі вибору оптимальної стратегії розвитку підприємства. Покажемо, як може здійснюватися таке стратегічне планування діяльності суб'єкта бізнесу на прикладі виробничого підприємства.

Цілями моделювання при розробці стратегії розвитку виробничого підприємства є: (1) оцінка поточної управлінської стратегії; (2) визначення можливих шляхів і засобів керування розвитком підприємства; (3) проведення порівняльного аналізу наслідків впровадження тих чи інших управлінських рішень; (4) обрання найкращої стратегії розвитку.

Для досягнення поставлених цілей необхідно визначити критерії, які визначають ступінь ефективності стратегії, що впроваджується. Крім того, слід визначити фактори, що впливають на кінцевий результат, та їх взаємозв'язок. Основними критеріями, що визначають рівень розвитку конкурентоспроможності та перспективності підприємства, можна назвати такі: цінність кадрів підприємства; рівень розвитку підприємства; фінансовий результат діяльності підприємства. Цінність кадрів підприємства визначає рівень вмотивованості та кваліфікації працюючих. Цей критерій дозволяє оцінити якість трудових ресурсів підприємства.

Рівень розвитку підприємства є показником технологічної структурованості підприємства. Цей критерій визначає ефективність внутрішньої організації підприємства та ступінь довершеності бізнес-процесів, що протікають на підприємстві.

Фінансовий результат – це один з найважливіших інтегральних показників бізнес-діяльності підприємства. Він дозволяє оцінити стан підприємства на основі кількісних фінансових показників діяльності, таких, як доходи і витрати.

В якості *факторів, що впливають на значення критеріїв діяльності підприємства*, можна вибрати такі укрупнені економічні показники: обсяг виробництва; виробничі фонди; невиробничі витрати; собівартість виробництва. Іншими впливовими факторами є також показники, що відносяться до трудових ресурсів підприємства – чисельність працюючих, продуктивність праці і

середня заробітна плата працівників. Ці фактори прямо чи опосередковано впливають на всі критерії розвитку підприємства.

При моделюванні будимо враховувати такі фактори: продуктивність праці на підприємстві, середня заробітна плата працюючих, чисельність персоналу, виробничі фонди підприємства, невиробничі витрати, обсяг виробництва та собівартість виробництва.

Для побудови відповідної байєсівської мережі і подальшої роботи з нею скористаємося графічною оболонкою системи *Hugin Lite 5.1* фірми Hugin Expert A/S.

В термінології байєсівських мереж довіри вищенаведені показники та інтегральні критерії складатимуть вершини мережі, які ми позначимо наступним чином:

1. Продуктивність праці – **ПТ**.
2. Середня заробітна плата – **СЗП**;
3. Чисельність працюючого персоналу – **ЧП**;
4. Виробничі фонди підприємства – **ПФ**;
5. Невиробничі витрати – **НР**;
6. Обсяг виробництва – **ОП**;
7. Собівартість виробництва – **С**;
8. Цінність кадрів – **ЦК**;
9. Узагальнений рівень розвитку підприємства – **УРП**;
10. Фінансовий результат – **ФР**.

Врахувавши причинно-наслідкові зв'язки між наведеними факторами, можемо побудувати байєсівську мережу. Вона представлена на рис. 3.

Далі для кожної вершини, що входить у мережу, необхідно визначити множину можливих станів. Для спрощення прийемо, що кожна з вершин може приймати лише два стани – «збільшується» (позначення **Inc**) чи «зменшується» (позначення **Dec**). Тоді результатом моделювання будуть імовірності $P(\text{Inc})$ та $P(\text{Dec})$ для вершин **ЦК**, **УРП** та **ФР**. Наприклад, якщо в результаті моделювання деякої стратегії отримуємо, що для вершини **ЦК** $P(\text{Inc})=0,7$, то це означає, що при застосуванні цієї стратегії цінність кадрів збільшиться з імовірністю 0,7.

Останнім і найважливішим кроком при побудові байєсівської мережі є задавання таблиць умовних ймовірностей для кожної вершини мережі. Умовні ймовірності є експертними оцінками, на основі яких будується експертна система, і саме від їх точності залежить адекватність побудованої моделі. Наведемо таблицю умовних ймовірностей для вершини мережі, що відповідає обсягу виробництва. Відповідно до топології мережі, стан для цієї вершини (**ОП**) визначається станом вершин **ЧП** і **ПТ**, тобто на обсяг виробництва впливають чисельність працівників та продуктивність їх праці (рис. 4).

З наведеного вище рис. 4 видно, наприклад, що при зростанні чисельності працюючих і одночасному зростанні продуктивності праці обсяг виробництва буде зростати, і ймовірність цього зростання за думкою експертів складе 0,9. Можна бачити також, що у разі одночасного спадання кількості працюючих і зростанні продуктивності їх праці експертна оцінка ускладнена, і ймовірності зростання та спадання цього показника покладені рівними.

Таблиці умовних ймовірностей, які створені на основі експертної інформації та статистичних даних, повинні забезпечувати виконання логічних взаємозв'язків, що характерні для предметної області. Це означає, зокре-

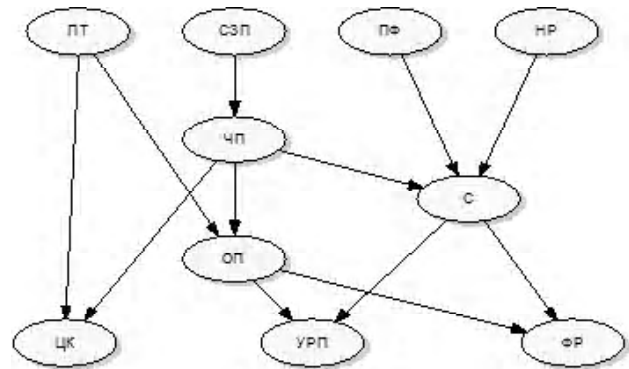


Рис. 3. БМ для моделювання стратегій розвитку підприємства

ЧП	Inc		Dec	
ПТ	Inc	Dec	Inc	Dec
	Inc	0.9	0.8	0.5
	Dec	0.1	0.2	0.5

Рис. 4. Значення умовних ймовірностей для вершини **ОП**

ма, що на отриманій мережі мають виконуватися такі умови (при інших рівних): (1) зменшення середньої заробітної плати збільшує кількість працівників, що звільняються з підприємства; (2) збільшення середньої заробітної плати приводить до збільшення обсягів виробництва; (3) збільшення продуктивності праці приводить до збільшення обсягів виробництва; (4) усі види витрат збільшують собівартість виробництва; (5) збільшення собівартості виробництва зменшує фінансовий результат; (6) збільшення продуктивності праці приводить до збільшення фінансового результату. Врахування цих і інших подібних умов обов'язкове як при побудові мережі, так і при її перевірці на логічну несуперечність.

ПРИКЛАД МОДЕЛЮВАННЯ УПРАВЛІНСЬКИХ РІШЕНЬ ЗА ДОПОМОГОЮ БАЙЄСІВСЬКОЇ МЕРЕЖІ

Відповідно до цілей моделювання, першим етапом роботи є аналіз поточної стратегії економічного розвитку підприємства. Оскільки таблиці умовних ймовірностей складені експертами на основі поточного стану підприємства, то оцінка поточної стратегії являє собою результат ініціалізації побудованої байєсівської мережі, тобто результат розповсюдження по мережі апріорних ймовірностей. Апріорні ймовірності у нашому випадку задаються для кореневих вершин дерева **ПТ**, **СЗП**, **ПФ** і **НР**.

Кореневі вершини дерева при моделюванні трактуються як об'єкти керування, тобто показники, зміна значень (ймовірностей станів) яких дозволяє отримати результат аналізу. Листові вершини дерева трактуються як показники результатів моделювання. Отримані в результаті моделювання імовірності станів цих вершин представляють собою результати моделювання стратегії розвитку підприємства. Оскільки в процесі аналізу причинно-наслідкових зв'язків між вершинами мережі експерти враховують поточний стан підприємства як фіксований

в даний момент часу, то логічно вважати, що поточна стратегія моделюється «стаціонарними» станами кореневих вершин. У термінах ймовірностей це означає рівні ймовірності збільшення чи зменшення відповідних економічних показників. Отже, покладемо для кореневих вершин мережі ПТ, СЗП, ПФ і НР, що значення ймовірностей $P(\text{Inc})=P(\text{Dec})=0,5$. Тоді ініціалізація мережі, тобто розповсюдження по мережі цих ймовірностей, дає такі значення критеріїв (табл. 1).

Таблиця 1. Поточний стан підприємства

Вершина:	ЦК	УРП	ФР
$P(\text{Inc})$:	0,5644	0,5345	0,5223

Таким чином, експертна оцінка поточної стратегії дає початкові значення критеріїв розвитку, з якими можна порівнювати результати моделювання інших стратегій.

Наступним етапом аналізу є моделювання впровадження у виробництво інших стратегічних рішень. Відповідно до розробленої моделі виділимо три таких можливих стратегій:

Стратегія № 1 – інтенсифікація виробництва. Ця стратегія припускає досягнення бажаних критеріїв розвитку підприємства шляхом підвищення продуктивності праці персоналу. Комплекс заходів по інтенсифікації передбачає впровадження більш прогресивних технологій виробництва, збільшення норми виробітки на одного працюючого, зростання долі наукомістких високотехнологічних операцій у виробничому циклі тощо. Така стратегія є доцільною, якщо у розпорядженні управлінського персоналу підприємства є засоби та кошти на вдосконалення виробничого процесу.

В рамках побудованої моделі запровадження цієї стратегії означає варіювання (підвищення) ймовірності $P(\text{Inc})$ для вершини ПТ.

Стратегія № 2 – стимулювання персоналу. Запровадження цієї стратегії означає, що управлінські рішення керівництва підприємства направлені на заохочення працюючих робітників. Ця стратегія полягає в намаганні покращити якість і збільшити кількість продукції, що випускається, шляхом матеріальних і моральних заохочень працюючих, надання їм соціальних та інших пільг, покращення умов праці і психологічної атмосфери у колективі. Стратегія стимулювання персоналу може бути застосована завжди, в тому числі і в умовах неможливості технологічних зрушень у виробництві. Ця стратегія у побудованій моделі реалізується шляхом збільшення ймовірності $P(\text{Inc})$ для вершини СЗП, тобто збільшення середньої заробітної плати працюючих.

Стратегія № 3 – зменшення витрат. Суть цієї стратегії полягає в намаганні зменшити витрати підприємства при незмінних обсягах виробництва. Така стратегія доцільна, якщо жорсткий контроль за витратами виявляється по суті єдиним шляхом розвитку підприємства – в умовах неможливості вдосконалення існуючих технологій виробництва, сильної конкуренції в галузі, дефіциту трудових ресурсів тощо. У побудованій мережі зменшен-

ня витрат моделюється шляхом зниження рівня невиробничих витрат підприємства, тобто збільшення ймовірності $P(\text{Dec})$ для вершини НР. Отже, для моделювання стратегії розвитку підприємства по черзі встановимо $P(\text{Inc})=1$ для вершини ПТ, $P(\text{Inc})=1$ для вершини СЗП і $P(\text{Dec})=1$ для вершини НР, залишаючи ймовірності для інших вершин незмінними. Отримуємо такі результати (табл. 2).

Таблиця 2. Результати моделювання на мережі

Стратегія	Значення $P(\text{Inc})$ для критерію		
	ЦК	УРП	ФР
№1	0,5712	0,5801	0,5793
№2	0,5700	0,5570	0,5628
№3	0,5644	0,6335	0,5975

Таким чином, отримані ймовірності збільшення критеріїв розвитку підприємства у разі застосування тієї чи іншої стратегії. Наступним і останнім етапом моделювання є визначення найкращої стратегії, яку слід рекомендувати управлінському персоналу підприємства.

ВИБІР ОПТИМАЛЬНОЇ СТРАТЕГІЇ ЕКОНОМІЧНОГО РОЗВИТКУ ПІДПРИЄМСТВА

Для прийняття управлінського рішення необхідно визначити інтегральний критерій розвитку підприємства для кожної стратегії, краще значення якого і визначить оптимальну стратегію з числа розглянутих. Розрахунок інтегрального критерію пропонується провести на основі таких міркувань.

Нехай при моделюванні розглядаються K критеріїв і S стратегій розвитку підприємства. В результаті моделювання кожної стратегії на байесівській мережі отримані значення ймовірностей збільшення критеріїв p_{ks} , $k = 1..K$, $s = 1..S$ і відомі початкові значення p_{k0} для поточного стану підприємства. Тоді для кожної стратегії розраховується зважений показник збільшення критеріїв розвитку підприємства:

$$p_s = \sum_{k=1}^K w_k p_{ks}, s = 0..S,$$

де w_k – ваговий коефіцієнт, що визначає важливість збільшення k -го критерію розвитку для підприємства, $\sum_{k=1}^K w_k = 1$. Зважений показник p_s може розглядатися як ймовірність збільшення деякого інтегрального критерію розвитку підприємства, тобто p_s – це величина, яка характеризує ймовірність загального поліпшення рівня розвитку, конкурентоспроможності та перспективності підприємства при впровадженні s -ої стратегії.

Інтегральний критерій розвитку підприємства може бути знайдений як відношення зваженого показника p_s , $s = 1..S$ до показника поточного стану p_0 :

$$I_s = \frac{p_s}{p_0}, s = 1..S,$$

і тоді за оптимальну стратегію s^{opt} слід приймати таку, для якої інтегральний критерій розвитку має найбільше значення:

$$s^{opt} = \arg \max_{s=1..S} I_s.$$

В нашій моделі $K = 3, S = 3$, величини $p_{ks}, k = 1..K, s = 1..S$ наведені в табл. 1, величини p_{k0} – в табл. 2. Будемо вважати, що на даному етапі розвитку підприємства цінність кадрів, рівень розвитку виробництва і фінансовий результат однаково важливі для управлінського персоналу; тобто $w_1 = w_2 = w_3 = \frac{1}{3}$. Тоді відповідно до вищенаведених формул отримуємо:

$$p_1 = 0,5769; p_2 = 0,5633; p_3 = 0,5985; p_0 = 0,5404;$$

$$I_1 = \frac{0,5769}{0,5404} = 1,07; I_2 = \frac{0,5633}{0,5404} = 1,04;$$

$$I_3 = \frac{0,5985}{0,5404} = 1,11; s^{opt} = \arg \max_{s=1..S} I_s = s_3.$$

Отже, оптимальною стратегією розвитку підприємства є стратегія № 3 – зменшення витрат. При запровадженні цієї стратегії цінність кадрів на підприємстві збільшиться з імовірністю 0,56, рівень розвитку виробництва – з імовірністю 0,63 і фінансовий результат – з імовірністю 0,6.

ОЦІНЮВАННЯ БІЗНЕСУ З ПОЗИЦІЙ СТРАТЕГІЧНОГО АНАЛІЗУ

Для розв’язання цієї задачі природним видається виділити одну основну результуючу вершину мережі, що відображає привабливість стратегії чи бізнесу в цілому («*Business rating*»), і покладемо, що вона може знаходитися у станах *Attractive* та *Unattractive* («привабливий» чи «непривабливий»).

До **вхідних вузлів мережі** віднесено такі економічні характеристики малого бізнесу: очікуваний попит на продукцію малого підприємства; темпи зростання розмірів ринку, диференціація постачальників товару; спеціалізація конкурентів підприємства; наявність у них товарів-замінників; лояльність покупців; обсяги капіталовкладень у бізнес; наявність капіталовкладень у бізнес; наявність капіталовкладень довгострокових контрактів. Ключовими для оцінювання привабливості бізнесу є також такі поняття: прибутковість підприємства; рівень конкуренції в галузі; наявність чи відсутність надлишкового продукту; можливість подолання економічних бар’єрів входу/виходу (стратегічна гнучкість); стабільність позиції підприємства.

Ці економічні характеристики також доцільно виділити в окремі вершини МБ. Сукупність вузлів МБ визначена; їх можливі стани і стратегічне значення наведені у табл. 3.

Таблиця 3. Вершини байєсівської мережі для оцінювання бізнесу

Вершина	Можливі стани	Стратегічне значення
Business rating	<i>Attractive</i> <i>Unattractive</i>	Результуюча вершина; визначає привабливість альтернативи чи бізнесу
Capital inputs	<i>Considerable expences</i> <i>Slight expences</i>	Великі затрати збільшують бар’єри входу/виходу, зменшуючи гнучкість фірми
Competitors specialization	<i>Different products</i> <i>The same ones</i>	Конкуренти з такою ж продукцією створюють більшу загрозу цінової війни
Customer loyalty	<i>Commonly</i> <i>Winning</i>	Лояльні клієнти надають можливість безпечніше варіювати стратегії
Economic surplus	<i>Low</i> <i>High</i>	Надлишок продукції знижує рівень цін і, як наслідок, загострює конкуренцію
Expected demand	<i>Awaiting reduction of demand</i> <i>Awaiting growth of demand</i>	Збільшення попиту веде до зменшення надлишків і потенційного зросту прибутків
Level of rivalry	<i>High rivalry</i> <i>Low rivalry</i>	Висока конкуренція є ознакою менш привабливого бізнесу
Long-run relations	<i>Yearly/monthly contracts</i> <i>Monthly/weekly contracts</i> <i>Weekly/daily contracts</i>	Наявність довгострокових контрактів зменшує гнучкість підприємства, проте дозволяє зміцнити свою позицію на ринку
Position strength	<i>Low stability</i> <i>High stability</i>	Міцна і стабільна позиція є однією з ознак привабливості бізнесу
Profitability	<i>Small</i> <i>Medium</i> <i>High</i>	Рівень прибутковості багато в чому визначає рішення про привабливість обраної стратегії чи бізнесу в цілому
Strategical flexibility	<i>Low flexibility</i> <i>High flexibility</i>	Стратегічна гнучкість дозволяє варіювати стратегії і зменшувати надлишки продукції
Substitutes presence	<i>Competitors do not have substitutes</i> <i>Competitors have substitutes</i>	Якщо конкуренти мають заміники продукції, покупці можуть легко переключатися на продавців-конкурентів
Suppliers variety	<i>Enough</i> <i>Insufficient</i>	Недостатня диференціація постачальників збільшує рівень конкуренції
Turnover growth	<i>Slow</i> <i>Moderate</i> <i>High</i>	Швидкий зріст розмірів сукупного обороту збільшує прибутковість; його уповільнення зменшує привабливість підприємства

Стратегічне значення розглянутих економічних показників дозволяє визначити причинно-наслідкові зв'язки між вузлами мережі, визначивши тим самим ребра мережі та їх спрямованість. Заповнення таблиць умовних ймовірностей виконується на основі інформації, отриманої від експертів.

Використання статистичних даних в ЕС. Розглянемо такі вхідні вершини побудованої мережі, як «**Turnover growth**» (зростання обороту) та «**Expected demand**» (очікуваний попит). Ці вершини, на відміну від інших, є кількісними, а не якісними, та ще й стосуються очікувань у майбутньому періоді часу, а тому навряд чи користувач експертної системи може точно визначити їх стан. Точне визначення ймовірностей станів цих вузлів на перший погляд видається надскладним завданням; однак, ці вершини є вхідними для експертної системи і тому їх стани мають бути визначеними.

У той час, як значення станів інших вхідних вузлів можуть бути визначені в результаті простого вибору користувачем одного із станів вершини (при цьому обраний стан отримує ймовірність 1, а усі інші – 0). Для двох розглянутих вершин така методика визначення ймовірностей принципово неможлива. Виникає питання, як саме знайти значення відповідних ймовірностей.

Для розв'язання цієї задачі запропоновано методику прогнозування значень показників обороту і очікуваного попиту на майбутній період. Маючи ці прогнози значення, можна спробувати визначити стани вершин МБ. Необхідні ряди числових даних, які будуть оброблятися відомими статистичними методами, можуть бути отримані при виконанні відповідних запитів до бази даних.

Нехай існує ряд числових даних $y_i, i = 1, \dots, n$, значення якого в наступний $(n+1)$ -й момент часу необхідно спрогнозувати. Нехай, далі, вершина байєсівської мережі, для визначення якої використовується цей ряд, має m станів, $m \geq 2$.

Розглянемо k останніх членів ряду. Для них вибіркоче середнє і вибіркоче дисперсія розраховуються за формулами:

$$m = \frac{1}{k} \sum_{i=n-k+1}^n y_i,$$

$$D = \frac{1}{k-1} \sum_{i=n-k+1}^n (y_i - m)^2.$$

Спрогнозуємо значення ряду у момент часу $(n+1)$ за допомогою деякого статистичного методу. Позначимо отримане прогнозоване значення через \hat{y}_{n+1} . Це значення можна розглядати як значення випадкової величини, яка до цього приймала значення $y_{n-k+1}, y_{n-k+2}, \dots, y_n$. Тоді з похибкою, якою для розв'язку практичних задач можна знехтувати, справедлива рівність $P(\hat{y}_{n+1} \in [E_{\min}; E_{\max}]) \cong 1$, де E_{\min} і E_{\max} визначаються за правилом «трьох сігм»: $E_{\min} = m - 3\sqrt{D}$,

$E_{\max} = m + 3\sqrt{D}$. Поставимо у відповідність кожному стану вузла МБ число

$$t_j = E_{\min} + (j-1) \frac{E_{\max} - E_{\min}}{m-1}, \quad j = 1, \dots, m,$$

що можна зробити у тому випадку, якщо вершина мережі зв'язана з кількісним показником, а всі її стани упорядковані за зростанням цього показника. Тоді природно вважати, що вершина прийме стан j , якщо $\hat{y}_{n+1} = t_j$, а у загальному випадку ймовірність кожного стану можна визначити, виходячи з відстані \hat{y}_{n+1} до кожного $t_j, j = 1, \dots, m(1)$:

$$p_j = \begin{cases} 0, & \text{якщо } \hat{y}_{n+1} \leq t_1 = E_{\min}; \\ \frac{1}{|\hat{y}_{n+1} - t_j|}, & \text{якщо } E_{\min} < \hat{y}_{n+1} < E_{\max}, \quad j = 1, \dots, m; \\ 1, & \text{якщо } \hat{y}_{n+1} \geq t_m = E_{\max}. \end{cases} \quad (1)$$

Наведені співвідношення (1) визначають, яким чином розроблена ЕС інтегрує статистичні дані з БД в інтелектуальну систему підтримки прийняття рішень.

ВИСНОВКИ

Розглянуто можливість використання байєсівських мереж довіри при прийнятті управлінських рішень на рівні малого підприємства. Мережа Байєса – потужний ймовірнісний інструмент моделювання процесів різної природи, який надає можливість розробляти стратегії прийняття рішень в умовах наявності невизначеностей різного характеру, що діють на досліджуваний процес. На прикладі виробничого підприємства продемонстровано можливість розв'язання задачі вибору стратегічного плану розвитку суб'єкта бізнесу. Описана концепція моделювання діяльності підприємства і виділення сукупності стратегічних цілей його розвитку; виділено фактори, які впливають на досягнення цих цілей; побудована модель діяльності підприємства у вигляді байєсівської мережі довіри. Запропонована методологія використання байєсівської мережі для моделювання результатів впровадження управлінських рішень і розроблена методика інтерпретації отриманих результатів. Як практичний приклад виділено три стратегії досягнення цілей, виконано моделювання цих стратегій на мережі та обрання оптимальної стратегії згідно із запропонованим інтегральним критерієм розвитку. В результаті комп'ютерного моделювання отримано ймовірнісні характеристики досягнення стратегічних цілей розвитку підприємства та визначена краща управлінська стратегія для конкретних умов його діяльності.

У подальших дослідженнях передбачається створення ефективної в обчислювальному відношенні процедури побудови байєсівських мереж на основі статистичних даних і експертних оцінок та їх застосування до оцінювання стану і прогнозування технічних та фінансово-економічних процесів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бідюк, П. І. Проектування систем підтримки прийняття рішень [Текст] / П. І. Бідюк, Л. О. Коршевніук. – К. : НТУУ «КПІ», 2010. – 340 с.
2. Cooper, G. F. The computational complexity of probabilistic inference using Bayesian belief networks / G. F. Cooper // *Artificial Intelligence*. – 1990. – Vol. 42, No. 2–3. – P. 393–405.
3. Dagum, P. Approximating probabilistic inference in Bayesian belief networks is NP – hard / P. Dagum, M. Luby // *Artificial Intelligence*. – 1993. – Vol. 45, P. 141–153.
4. Jensen, F. V. Paradigms of Expert Systems / F. V. Jensen // *HUGIN Expert Software System: Online Developers Guide* <http://developer.hugin.com>, 2005.
5. Jensen, F. V. Bayesian Networks Basics / F. V. Jensen // *Techn. Report, Department of Mathematics and Computer Science, Aalborg University, Denmark*. – 1996. – 12 p.
6. Zgurovsky, M. Z., Bidiuk P. I., Terentyev O. M. Method of constructing Bayesian networks based on scoring functions / *Cybernetics and System Analysis*. – 2008. – Vol. 44, No. 2. – P. 219–224.
7. Lauritzen, S. L. Local computations with probabilities on graphical structures and their application to expert systems / S. L. Lauritzen, D. J. Spiegelhalter // *Journal of the Royal Statistical Society, Series B*. – 1988. – Vol. 50, No. 2. – P. 157–224.
8. Pearl, J. Probabilistic Reasoning in Intelligent Systems: Networks of Plausible Inference / J. Pearl. – San Mateo, CA (USA): Morgan Kauffmann Publishers, Inc., 1988. – 550 p.

Стаття надійшла до редакції 29.01.2013

Бідюк П. І.¹, Кожуховский А. Д.², Кожуховская О. А.³

¹Д-р техн. наук, професор, Інститут прикладного системного аналізу Національного технічного університету «КПІ», Україна

²Д-р техн. наук, професор, Черкаський державний технологічний університет, Україна

³Канд. техн. наук, ст. пр., Черкаський державний технологічний університет, Україна

СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ АНАЛИЗА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ

Предложена процедура проектирования системы поддержки принятия решений на основе сети Байеса, которая предоставляет возможность оценивать и прогнозировать состояние предприятия в условиях влияния возмущений произвольного типа и различной природы.

Ключевые слова: система поддержки принятия решений, байесовские сети, анализ состояния предприятия, стратегическое планирование, статистические данные.

Bidiuk P. I.¹, Kozhukhivskiy A. D.², Kozhukhivska O. A.³

¹Professor, doctor of technical sciences, professor, Institute of Applied System Analysis of National Technical University «KPI», Ukraine

²Professor, doctor of technical sciences, professor, Cherkassy state technological university, Ukraine

³Candidate of technical sciences, senior teacher, Cherkassy state technological university, Ukraine

DECISION SUPPORT SYSTEM FOR ANALYSIS AND FORECASTING STATE OF ENTERPRISE

Decision support system construction procedure is proposed on the basis of Bayesian network that provides a possibility for estimating and forecasting state of small business in conditions of influence of disturbances of different types and nature. Bayesian network is a powerful probabilistic instrument that is constructed on the basis of experimental data expert estimates. An example of application of the net constructed is provided that touches upon determining strategy of small business.

Keywords: decision support system, Bayesian networks, enterprise state estimation, strategic planning, statistical data.

REFERENCES

1. Bidiuk P. I., Korshevniuk L.O. Proektuvania system pidtrymky pryiniatia rishen. Kyiv, NTUU «KPI», 2010, 340 p.
2. Cooper G. F. The computational complexity of probabilistic inference using Bayesian belief networks, *Artificial Intelligence*, 1990, Vol. 42, No. 2–3, pp. 393–405.
3. Dagum P., Luby M. Approximating probabilistic inference in Bayesian belief networks is NP-hard, *Artificial Intelligence*, 1993, Vol. 45, pp. 141–153.
4. Jensen F. V. Paradigms of Expert Systems, *HUGIN Expert Software System: Online Developers Guide*, <http://developer.hugin.com>, 2005.
5. Jensen F. V. Bayesian Networks Basics, *Techn. Report, Department of Mathematics and Computer Science, Aalborg University, Denmark*, 1996, 12 p.
6. Zgurovsky M. Z., Bidiuk P. I., Terentyev O. M. Method of constructing Bayesian networks based on scoring functions, *Cybernetics and System Analysis*, 2008, Vol. 44, No. 2, pp. 219–224.
7. Lauritzen S. L., Spiegelhalter D. J. Local computations with probabilities on graphical structures and their application to expert systems, *Journal of the Royal Statistical Society, Series B*, 1988, Vol. 50, No. 2, pp. 157–224.
8. Pearl J. Probabilistic Reasoning in Intelligent Systems: Networks of Plausible Inference. San Mateo, CA (USA), Morgan Kauffmann Publishers, Inc., 1988, 550 p.