

УДК 519.226

**П. І. Бідюк** д-р техн. наук,

**І. О. Загірська,**

### МЕТОДИКА ПОБУДОВИ СЦЕНАРНОГО АНАЛІЗУ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ БАЙЄСІВСЬКИХ МЕТОДІВ

**Анотація.** Наведено аналіз існуючих підходів і методик побудови сценаріїв для моделювання процесів різної природи. Розглядаються найпоширеніші типи сценаріїв та умови їх застосування, оцінюється прийнятність використання того чи іншого методу при розв'язанні різноманітних задач. Проаналізовано вимоги, яким повинні задовольняти сценарії для того, щоб моделювання процесу у поставленій задачі було достовірним, та визначено можливості застосування сценарного підходу разом із апаратом мереж Байєса.

**Ключові слова:** сценарний аналіз, сценарій, прийняття рішень, невизначеність, мережа Байєса.

**P. I. Bidyuk, ScD,**

**O. I. Zagorskaya,**

### METHOD OF SCENARIO ANALYSIS CONSTRUCTION USING BAYES ANALYSIS

**Abstract.** The article provides analysis of the existing approaches and methods of scenario building for modeling various processes. The most common scenario types are reviewed, as well as their implementation conditions. The relevance of particular method usage for different problems solving is described. The requirements that should be met so that modeling is trustworthy for the particular task are analyzed, and the possibilities of using scenario approach alongside with Bayesian networks are defined.

**Keywords:** scenario analysis, scenario, decision making, uncertainty, Bayesian network.

**П. И. Бидюк,** д-р техн. наук,

**О. И. Загорская,**

### МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ СЦЕНАРНОГО АНАЛИЗА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БАЙЕСОВСКОГО АНАЛИЗА

**Аннотация.** Приведен анализ существующих подходов и методик построения сценариев для моделирования процессов различной природы. Рассматриваются наиболее распространенные типы сценариев и условия их применения, оценивается приемлемость используемого метода при решении разнообразных задач. Проанализированы требования, которым должны удовлетворять сценарии для того, чтобы моделирование процесса в поставленной задаче было достоверным, и определены возможности применения сценарного подхода вместе с аппаратом сетей Байеса.

**Ключевые слова:** сценарный анализ, сценарий, принятие решений, неопределенность, сеть Байеса.

**Вступ.** Один із основних способів довгострокового планування, що активно використовується у більшості західних компаній протягом останніх трьох десятиліть, — це сценарне планування. Розробка сценаріїв використовується як альтернатива лінійному плануванню, застосування якого часто демонструвало неефективність та неточність при побудові стратегічних планів і прогнозів. Головний інструмент сценарного планування – сценарний аналіз. Цей метод застосовується для стратегічного управління процесами з високим рівнем невизначеності.

Сценарії – це спосіб аналізу складного середовища, у якому є безліч значимих та взаємопов'язаних тенденцій та подій [1].

© Загірська І.О., Бідюк П.І., 2012

Аналіз сценаріїв (сценарний аналіз) – метод прогнозування, він полягає в поділі всієї сукупності можливих подій на декілька груп та у визначенні логічної послідовності наслідків для кожної групи подій. Застосовується у разі, якщо ймовірність виникнення різних подій майже однакова та існує необхідність заздалегідь обрати стратегію дій в рамках кожного сценарію.

Сценарій – можливий набір подій, що визначає розвиток тих чи інших факторів, які впливають на результат діяльності. Існують різноманітні підходи до роботи із сценаріями, звідки виникають відмінності у типах самих сценаріїв та методах їх побудови.

На початку 1980-х р. методика сценарного планування перетворилася на комплексну методологію, що застосовувалась у 68 % великих компаній [2]. Пізніше до загально-

прийнятій методології було включено врахування факторів невизначеності, мінливості зовнішнього середовища системи, що моделюється.

**Постановка задачі.** Метою даної статті є аналіз існуючих підходів і методик побудови сценаріїв для моделювання процесів різної природи. Слід оглянути найпоширеніші типи сценаріїв та умови їх застосування, оцінити прийнятність використання того чи іншого методу при розв'язанні різноманітних задач. Крім того, необхідно проаналізувати вимоги, яким мають задовольняти сценарії для того, щоб моделювання процесу в поставленій задачі було достовірним, та оцінити можливості застосування сценарного підходу разом із апаратом мереж Байеса.

**Види сценаріїв та умови їх застосування.** Сценарії можуть застосовуватися з метою досягнення різних цілей. В залежності від поставленої мети існує чотири типи сценаріїв [1, 3]:

Візуальний, описується бажане, ідеальне майбутнє. Використовується в разі потреби у розробці детальної характеристики найбільш бажаного вихідного результату.

Проектний, приймаються найкращі припущення щодо очікуваного майбутнього. Використовується в разі потреби в аналізі можливих наслідків поточної (бажаної) діяльності.

Маршрутний, визначаються шляхи досягнення майбутнього з теперішнього з використанням порівняння теперішнього з бажаним сценарієм майбутнього (візуальним). Використовується для вироблення детального розуміння послідовності процесу, що виконуватиметься.

Альтернативний, порівнюються варіанти з використанням багатьох сценаріїв візуального, проектного та маршрутного типів. Використовується для створення нових знань щодо багатьох можливих імовірних станів.

Правильне визначення мети сценарного моделювання та коректний вибір методу сценарного моделювання є ефективними засобами для підвищення ефективності роботи та якості моделювання процесів. Вибір виду сценарію спричиняє вибір певних методів сценарного моделювання.

Незалежно від вибору типу, сценарій повинен задовольняти ряду умов для забезпечення своєї адекватності. Сценарії повинні бути консистентні, зв'язні, правдоподібні, здійсненні, пов'язані з реаліями даного часу та зрозумілі для користувача. Ці правила певною мірою обмежують варіанти створення, але вони необхідні для запобігання втрати зв'язку з реальним світом.

Сценарні методи моделювання мають спільне призначення – допомагати з'ясувати майбутні перспективи. Можна застосовувати як мінімум чотири типи сценарних підходів, кожен з яких має іншу мету. Візуальний сценарій допомагає описати ідеальну або найбільш бажану перспективу. Проектний сценарій візуалізує очікування виходячи із теперішньої ситуації. Маршрутний сценарій порівнює теперішню і майбутню ситуацію для розробки стратегій змін. Альтернативні сценарії показують набір можливих змін в майбутньому для обмеження факторів невизначеності, які важко або неможливо спрогнозувати. В залежності від потреб та постановки конкретної задачі використовується один із зазначених методів або їх поєднання.

#### **Загальна методика побудови сценаріїв.**

Вище наведено класифікацію сценаріїв за чотирма типами: візуальні, проектні, маршрутні та альтернативні. Незалежно від типу, до якого належить сценарій, загальну методику побудови можна описати за допомогою ітеративної послідовності базових кроків, що включає в себе якісне описання процесу та побудову кількісної моделі [4, 5].

Отже, розглянемо процес побудови сценарію поетапно.

1) **Визначення рамок процесу.** Перш за все потрібно визначити часові межі та обсяг питань, що підлягають аналізу. Це можуть бути продукти, ринки, географічні зони, технології та ін. Часові рамки можуть залежати від багатьох факторів: швидкість технологічного зростання, життєві цикли продуктів, політичні та економічні умови, конкурентна ситуація і т.д. Після визначення часових рамок моделювання слід визначити, які знання є найбільш цінними.

2) **Визначення зацікавлених сторін.** Потрібно визначити, на яких осіб, на які процеси та явища буде впливати процес, що

моделюється; які чинники впливають на процес; хто може бути зацікавленим у вихідному результаті процесу тощо.

3) **Визначення основних трендів.** Після визначення переліку основних задач на першому етапі настає черга виділення зовнішніх та внутрішніх трендів, що впливають або будуть впливати на ці задачі. Корисним інструментом у цьому може виявитися діаграма впливу, що дає змогу характеризувати вплив як позитивний, негативний та невідомий. Якщо виникають такі тренди, ступінь впливу яких важко класифікувати, їх слід віднести на наступний крок.

4) **Встановлення факторів невизначеності.** Для будь-якого процесу можливо виділити такі події чи явища, що з високою долею імовірності мають вплив на результат процесу, але результати яких, у свою чергу, невідомі. Для роботи з такими факторами у сценарному аналізі слід визначити можливі результати. При цьому необхідно, по можливості, дотримуватися простоти та зводити результати до якомога меншої кількості варіантів.

5) **Створення початкових груп.** Тренди та невизначеності – основний матеріал для створення сценарію. При найбільш прямому підході можна згрупувати негативні виходи окремо від позитивних. Інший метод визначення початкових груп – виділення двох основних факторів невизначеності та перетину областей їх впливу. Цей метод доцільний, якщо деякі із факторів невизначеності є більш важливими за всі решту.

6) **Перевірка достовірності та консистентності.** Дані для побудови сценарію, виділені на попередніх кроках, ще не є сценарієм, оскільки вони можуть мати внутрішню непослідовність чи пропуски, що перешкоджатимуть укладанню єдиної лінії подій. Існує три загальноприйнятих методики перевірки внутрішньої консистентності:

за трендами;

за вихідними комбінаціями;

за реакцією основних зацікавлених сторін.

7) **Розробка сценаріїв навчання.** В ході процесу розробки простих сценаріїв та перевірки їх на консистентність виділяються деякі загальні групи. Первинні сценарії зада-

ють майбутні обмеження, що, в свою чергу, можуть бути нелогічними, неконсистентними чи недоречними. Потрібно визначити стратегічно цінні групи та організувати можливі вихідні результати та тренди відносно них. Дуже важливим є іменування сценаріїв: сценарій це історія, і висвітлення її суті у короткій назві дає змогу полегшити її розуміння та запам'ятовування. Сценарії, побудовані на даному етапі, слугують більше для навчання, аніж для прийняття рішень.

8) **Визначення потреб дослідження.** На даному етапі може виникнути необхідність у подальшому дослідженні для одержання більш детальної інформації щодо факторів невизначеності та трендів. Навчальні сценарії, побудовані раніше, слугують для визначення зон із браком інформації.

9) **Розробка кількісних моделей.** По завершенні якісних досліджень потрібно повторно перевірити всі дані на сумісність та консистентність. Після того можна переходити до оформлення сценаріїв у кількісні моделі. Таке моделювання також допомагає характеризувати наслідки реалізації різноманітних сценаріїв, наприклад, цінова поведінка, рівні зростання, долі ринку тощо.

10) **Перехід до сценаріїв прийняття рішень.** Наприкінці ітеративного процесу потрібно здійснити перехід до сценаріїв, котрі можна застосувати для перевірки стратегій та генерації нових ідей. Слід переглянути кроки 1–8 та моделі, побудовані на кроці 9 та пересвідчитися, що ці сценарії працюють із реальними задачами, що постають у ході процесу, що моделюється. Якщо ці умови виконані, сценарій можна вважати побудованим. Якщо ні, доведеться повторити послідовність кроків та оцінити правильність постановки пріоритетів від самого початку. Критеріїв життєздатності сценаріїв можна виділити кілька: (1) доречність: сценарії мають прямо перетинатися із задачами та обов'язками користувачів, регламентними послідовностями дій зацікавлених сторін та типовими реалізаціями трендів; (2) консистентність; (3) архетипність: сценарії мають більше описувати різні варіанти розвитку майбутніх подій, ніж можливі варіації однієї і тієї ж реалізації; (4) збалансованість: кожен сценарій в ідеалі має описувати збалансова-

ний стан, у якому система може існувати протягом певного відрізка часу.

В ході реалізації даної послідовності кроків генерується сценарій, який має покривати широкий спектр можливих варіантів розвитку подій та висвітлювати перспективи, що перебувають у протистоянні між собою, при цьому враховуючи взаємозв'язки та внутрішню логіку кожного із розглянутих варіантів.

### **Аргументи проти використання апарату ймовірностей**

Сценарії повинні застосовуватися для визначення можливих і бажаних варіантів розвитку подій, а не ймовірних варіантів розвитку подій. При використанні сценаріїв як інструменту планування, буде визначено багато можливих виходів, а не один. Це являє собою першу небезпеку застосування ймовірностей у сценаріях, оскільки правдоподібний сценарій набуває вигляду прогнозу. Іноді найменш імовірні сценарії дають найбільше можливостей або, навпаки, максимальні ризики, тому вимагають більшої уваги, ніж найбільш ймовірні сценарії.

Використання ймовірностей вимагає точності та перешкоджає розкриттю опису якості сценаріїв. Сценарії набувають найвищої цінності, коли спонукають іноваційно та гнучко мислити у часі. Застосування ймовірності може зробити менш явною логіку послідовності подій.

Прогнози можуть описувати тренди, але вони не можуть описувати фактори інтуїції, уяви, що добре вкладаються у описову сутність сценаріїв. Сценарії слід будувати в команді, тоді як практика показує, що члени команди можуть відносно просто дійти консенсусу щодо можливих сценаріїв, але важко погоджуються стосовно числових значень ймовірностей. Таким чином, переваги використання апарату ймовірностей ставляться у протилежність перевагам командної роботи [6].

**Аналіз перехресних впливів та байєсівські ймовірності: альтернативні методи побудови сценаріїв.** У 1970-х р. було розроблено комп'ютерну модель перехресних впливів для генерації багатьох сценаріїв як альтернативних варіантів майбутнього [7].

На основі цього алгоритму 1998 р. з'явилась програма для операційної системи Microsoft's Windows під назвою Interactive Future Simulations (IFS)<sup>TM</sup>. Загалом на основі цієї та старіших версій було розроблено понад 100 сценарних проектів для великих корпорацій. Алгоритм передбачав використання 24 дескрипторів. Під дескриптором розуміли тренд, випадок, або фактор, що стосувався модельованого питання. Кожен дескриптор мав два–чотири альтернативних виходи, або стани, на заданий рік. Кожному стану ставилась у відповідність апріорна ймовірність виникнення. Дескриптори та їх стани були оформлені у вигляді матриці.

Експертний висновок також застосовувався для зв'язку значень перехресного впливу із комірками матриці: використовуючи ці оцінки, алгоритм встановлював значення апріорних ймовірностей від 0 до 1.

Байєсівські ймовірності можуть бути використані при сценарному підході як генеруючий інструмент, а також як інструмент для визначення того, які сценарії є більш імовірними на основі знань, наявних на даний момент. Апріорні ймовірності – це завжди початкові ймовірності, що визначаються на основі попередніх знань, інтуїції та очікувань. Вони оцінюються на основі явних подій, які можуть бути певним чином кластеризовані та розбиті повні набори умов, що називаються «сценаріями». У свою чергу, байєсівські ймовірності постійно навчаються по мірі надходження нової інформації аж до моменту досягнення фіналу у майбутньому. Таким чином, байєсівські ймовірності не суперечать описовій, якісній (а не кількісній) природі сценарного підходу, оскільки не є прямою проекцією минулого на майбутнє [8].

**Аргументи за використання ймовірностей у сценаріях.** Попри те, що загальна методика теоретично має бути для всіх сценаріїв однаковою, на практиці стан справ інакший. Всі особи, що приймають рішення, та проектні команди завжди схиляються до сценаріїв, що видаються їм «більш цікавими». Насправді ж такі сценарії, як правило, є відображенням корпоративної логіки, цінностей та підходів. Використання ймовірностей фактично змушує до розгляду таких сценарі-

ів, що були б інакше відкинуті як можливі, але небажані.

Використання байєсівських імовірностей спонукає учасників процесу побудови сценаріїв обґрунтовувати власні судження, виявляючи, таким чином, приховані припущення, альтернативи та передбачення, які часто не озвучуються і випускаються із розгляду. Отже, із використанням імовірностей з'являється можливість одержати перелік подій, що входять до сценаріїв, більш повним та осмисленим.

Множина сценаріїв, згідно з апостеріорними імовірностями їх виникнення, складається з можливих сценаріїв та найбільш бажаних сценаріїв, тобто візуальних. Аналітичні сценарії, побудовані на основі моделювання, аналізу перехресних впливів та байєсівських імовірностей, дають змогу краще зрозуміти умовну природу процесів та визначити дії, які потрібно здійснити для того, щоб зробити ймовірним найбільш бажаний сценарій. Таким чином, застосування апарату ймовірностей робить стратегічне планування більш успішним завдяки дослідженню різноманітних умов перебігу процесу.

Використання аналізу перехресних впливів дає можливість моделювання можливих небажаних подій у майбутньому. Таке моделювання неможливо здійснити з використанням самого лише інтуїтивного підходу до побудови сценаріїв.

Ще однією перевагою застосування ймовірностей є можливість навчання моделі у випадку появи нової інформації чи реалізації нових подій. Відслідковування ймовірностей супроводжується відслідковуванням трендів та дає можливість постійного перегляду та оновлення сценаріїв. Використання сценарних моделей полегшується також із появою можливості зміни початкової події. Таким чином, спрощується алгоритм застосування кількісних моделей.

У дослідженні [9] ставилось завдання доставки поштових відправлень адресатам із врахуванням таких факторів, як маса пакунку, погодні умови, працівник, що виконує завдання, транспортна ситуація, обраний вид транспорту та наявність інформації щодо ситуації на дорогах. Отже, керування даним

сценарієм здійснюють такі шість дискретних випадкових змінних:

- маса пакунку  $X_1$ ,
- погода  $X_2$ ,
- відповідальний  $X_3$ ,
- транспортна ситуація  $X_4$ ,
- вид транспорту  $X_5$ ,

інформація щодо ситуації на дорогах  $X_6$ .

Традиційно це завдання аналізувалась з точки зору прийняття двох окремих рішень. По-перше, потрібно з'ясувати, скільки товарів поставляються з кожного джерела для кожного пункту призначення і, по-друге, маршрут, який повинен пройти транспортний засіб, має бути найбільш економним по затратах.

Введемо у модель експертні знання про те, що деякі змінні є залежними або незалежними одна від іншої, відтак отримаємо первинні зв'язки мережі Байєса (БМ). Таким чином, вибір транспортного засобу великої вантажопідйомності залежить від  $X_1, X_2, X_3$  та  $X_4$ . Для прийняття рішення по певному  $X_i$  обчислюємо ймовірності значень  $x_i$ , що входять до  $X_i$ . Це означає сумування ймовірностей:

$$p(x_i|C) = \sum_{x_1} \dots \sum_{x_{i-1}} \sum_{x_{i+1}} \dots \sum_{x_n} p(x_1, \dots, x_{i-1}, x_{i+1}, \dots, x_n).$$

Таким чином, надаючи змінним різні значення, одержуємо модель сценарію для розв'язання задачі логістики за допомогою байєсівського підходу.

**Висновки.** Підсумовуючи викладений матеріал, необхідно дати відповідь на питання: чи доцільно використовувати байєсівські ймовірності у сценарному моделюванні? Переваги, що надаються сценарієм у разі застосування цього математичного апарату, очевидні, проте успішність такого застосування має ряд чинників, які мають бути дотримані. Загалом, якщо застосування ймовірностей не суперечить природі процесу, їх слід використовувати. Імовірнісний підхід до побудови сценаріїв більш трудомісткий. Він вимагає

більше часу, проведення додаткових досліджень та має вищу загальну складність.

#### Список використаної літератури

1. Wollenberg, E. Anticipation of change: scenarios as a tool for adaptive forest management [Text]: a guide / E. Wollenberg, D. Edmunds, L. Buck. – Bogor, Indonesia: Center for International Forestry Research, 2000. – 36 p.

2. Schoemaker, P. J. H. Using Scenarios in Strategic Planning [Text] / Paul J. H. Schoemaker // R&D Meets M&A. – Philadelphia: Chemical Heritage Press, 2004. – Ch.12. – P. 81–90.

3. Mercer, D. Scenarios made easy [Text] / David Mercer // Long Range Planning. – 1995. – № 4. – Vol. 28. – P. 81–86.

4. Millett, S. Should Probabilities Be Used with Scenarios? [Text] / Stephen, M. Millet // Journal of Futures Studies. – May 2009. – № 13 (4). – P. 61–68.

5. De Geus, A. Planning as Learning [Електронний ресурс]

6. Duval, A., Fontela, E., Gabus, A. Cross-Impact Analysis, a Handbook on Concepts and Applications in Portraits of Complexity, Application of Systems Methodologies to Societal Problems [Електронний ресурс].

7. Honton, E. J. The BASICS Computational Method, Economics and Policy Analysis Occasional [Text] / E. J. Honton, G. S. Stacey, S. M. Millet // Batelle Columbus Division. – 1985. – № 44.

8. Malakoff D. Bayes Offers a 'New' Way to Make Sense of Numbers. (Bayesian statistics) [Електронний ресурс].

9. Holland, A. Bayesian networks for transport decision scenarios [Електронний ресурс].

Отримано 08.10.2012

#### References

1. Wollenberg, E. Anticipation of change: scenarios as a tool for adaptive forest management [Text]: a guide / E. Wollenberg, D. Edmunds, L. Buck. – Bogor, Indonesia: Center for International Forestry Research, 2000. – 36 p. [in English].

2. Schoemaker, P. J. H. Using Scenarios in Strategic Planning [Text] / Paul, J. H. Schoemaker // R&D Meets M&A. – Philadelphia:

Chemical Heritage Press, 2004. – Ch.12. – P. 81–90 [in English].

3. Mercer, D. Scenarios made easy [Text] / D. Mercer // Long Range Planning. – 1995. – № 4. – Vol. 28. – P. 81–86 [in English].

4. Millett, S. Should Probabilities Be Used with Scenarios? [Text] / Stephen, M. Millet // Journal of Futures Studies. – May 2009. – № 13 (4). – P.61–68 [in English].

5. De Geus, A. Planning as Learning [Електронний ресурс]. . [in English]

6. Duval, A., Fontela, E., Gabus, A. Cross-Impact Analysis, a Handbook on Concepts and Applications in Portraits of Complexity, Application of Systems Methodologies to Societal Problems [Електронний ресурс] [in English].

7. Honton, E. J. The BASICS Computational Method, Economics and Policy Analysis Occasional [Text] / E. J. Honton, G. S. Stacey, S. M. Millet // Batelle Columbus Division. – 1985. – № 44 [in English].

8. Malakoff, D. Bayes Offers a 'New' Way to Make Sense of Numbers. (Bayesian statistics) [Електронний ресурс] [in English].

9. Holland, A. Bayesian networks for transport decision scenarios [Електронний ресурс] [in English].



Загірська

Ірина Олександрівна,  
асп. каф. Математич. методів систем. аналізу Навчально-наук. комплексу Ін-ту прикладного системного аналізу НТУ України «Київський політехн. ін-т».

Тел.: (050) 9875187

e-mail: zahir'ska@gmail.com



Бідюк

Петро Іванович,  
д.т.н., проф. каф. Математич. методів системного аналізу Навчально-наук. комплексу Ін-ту прикладного системного аналізу НТУ України «Київський політехн. ін-т».

Тел.: (097) 2134708,

e-mail:

pbidyuk@gmail.com