

## ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ, СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ТА КЕРУВАННЯ

УДК 519.766.4

П.І. Бідюк, О.А. Кожухівська

### ІМОВІРНІСНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ОПЕРАЦІЙНИХ АКТУАРНИХ РИЗИКІВ

Insurance companies are functioning in conditions of uncertainties of various types and nature what results in respective financial risks. All these reasons lead to the problem of timely recognition and development of mechanisms for the risks management. To solve the problem appropriate mathematical models are developed to describe the risks, and methodologies proposed for their practical application. The sources of the insurance fraud are detected and respective risk classification is presented. It is shown that to describe mathematically the risks of this class it is appropriate to apply the models based on the mathematical statistics approach, regression type models, and fuzzy logic. For estimation of the risk of actuarial fraud in auto insurance a model is proposed in the form of Bayesian network. The model structure was estimated using expert and statistical information of insurance company with providing a possibility for detecting hidden interactions between selected variables. An algorithm was also developed for probabilistic inference on the network. The model constructed reflects the causal links between the risk factors and the insurance company losses. It can be applied for analysis of internal states of the company; analysis of external conditions characteristic for the company functioning; for determining probable reasons of company losses due to operational risks as well as for making appropriate managerial decisions.

#### Вступ

На розвиток підприємництва в сучасних умовах впливають економічні, політичні, соціальні, техногенні чинники і природні катаклізми. В таких умовах постає завдання мінімізації ризиків фінансових втрат і виникає потреба в ефективному захисті, який надають страхові організації. Очевидно, що самі страхові компанії належать одночасно до суб'єктів і об'єктів управління ризиками. В умовах наявності невизначеностей різної природи і типу страхові компанії (СК) стикаються з фінансовими ризиками. Ці ризики необхідно своєчасно розпізнавати і створювати механізми управління ними. Основними типами ризиків, які впливають на діяльність СК, є андерайтингові, що приймаються ними від клієнтів, і ризики, які можуть виникати в ході здійснення страхової діяльності: ринкові, кредитні, операційні, ризики втрати ліквідності. Для андерайтингових і ризиків втрати ліквідності СК розроблено відповідні методи управління. Ринкові і кредитні ризики страхових компаній не мають галузевої специфіки і для управління ними використовують універсальні методи.

Сьогодні існують ефективні математичні моделі для оцінювання операційних ризиків (ОР). Відомі стандарти Basel II і Solvency II стимулюють розвиток моделей управління й оцінювання ризиків у фінансовій сфері. Разом із тим оцінювання ризику шахрайства вивчене меншою мірою. Методам його оцінювання та виявлення присвячені праці [1, 2]; такі ж задачі

стосовно автостраховання розглянуті в [3], а модель у формі нечіткої логіки наведена в [4]. Суттєвим недоліком при моделюванні ризику страхового шахрайства (СШ) є відсутність класифікатора цього виду ризиків, який враховує всі аспекти взаємодії зловмисника і СК. Існуючі класифікації ризиків шахрайства відображають лише окремі сторони цього явища і не розглядають його з точки зору теорії управління ризиками (УР).

Використання в українській практиці більшості загальних методів оцінювання ОР ускладнюється відсутністю або обмеженістю статистичних даних, необхідних для навчання та калібрування моделі. Більшість українських СК не мають у своєму розпорядженні достатнього обсягу інформації про причини і наслідки ОР. Це зумовлено тим, що в період бурхливого зростання страхового ринку, що спостерігався останніми роками, українські СК зосередили свою увагу на збільшенні страхового портфеля. Внаслідок цього методикам управління страховими ризиками і питанням управління ОР до недавнього часу приділялося мало уваги.

Таким чином, існує необхідність у розробленні моделей для управління ОР (зокрема, ризику СШ) в умовах неповноти (або відсутності) історичних даних. Необхідно проаналізувати причинно-наслідкові зв'язки між факторами ризиків, що порушують налагоджену діяльність компанії. Причини повинні визначатись на різних рівнях з метою врахування в моделях найдрібніших деталей.

## Постановка задачі

Метою роботи є: 1) аналіз ризиків страхових компаній і методів їх математичного моделювання; 2) виявлення особливостей і методів оцінювання операційних ризиків; 3) побудова ймовірнісної моделі у формі байєсівських мереж для опису операційних ризиків з використанням експертних оцінок і статистичних даних.

## Ризики страхової компанії

Класифікацію страхових ризиків можна виконати відповідно до природи подій, що

впливають на страхову систему. Слід зазначити, що процес виділення окремих видів ризиків є кумулятивним, тобто всі можливі класи ризиків та фактори ризику не були виділені одноразово, а з узагальненого поняття "ризик" виділялися окремі підвиди. Поширеним підходом до класифікації ризиків є класифікація за цілями, на досягненні яких позначається вплив ризику. Така класифікація наведена в стандарті COSO ERM [5], згідно з яким виділяється чотири основних групи цілей СК і наявних ризиків: страхові (андерайтингові), кредитні, ринкові та операційні (рис. 1).

**Операційний ризик страхового шахрайства.**  
Розглядаючи ОР СК з точки зору частоти подій, що призводять до втрат, можна виділити мало ймовірні та високо ймовірні ризики. До мало ймовірних відносять ризики, пов'язані з відмовами інформаційних систем і природними катастрофами.

Ризики, пов'язані з недоліками і порушеннями процесів і процедур, є високо ймовірними, оскільки події, що спричиняють втрати, відбуваються регулярно. Окремим випадком ризику порушення процесу можна розглядати ризик страхового шахрайства. Цей ризик становить найбільшу проблему для СК порівняно з іншими ОР. Це пояснюється тим, що подія, яка призводить до збитку, не є випадковою у повному розумінні цього слова, а ініціюється зовнішніми стосовно компанії особами.

З одного боку, СШ спрямоване на здобуття страховальником страхового відшкодування через обман або зловживання довірою, а також прихову-

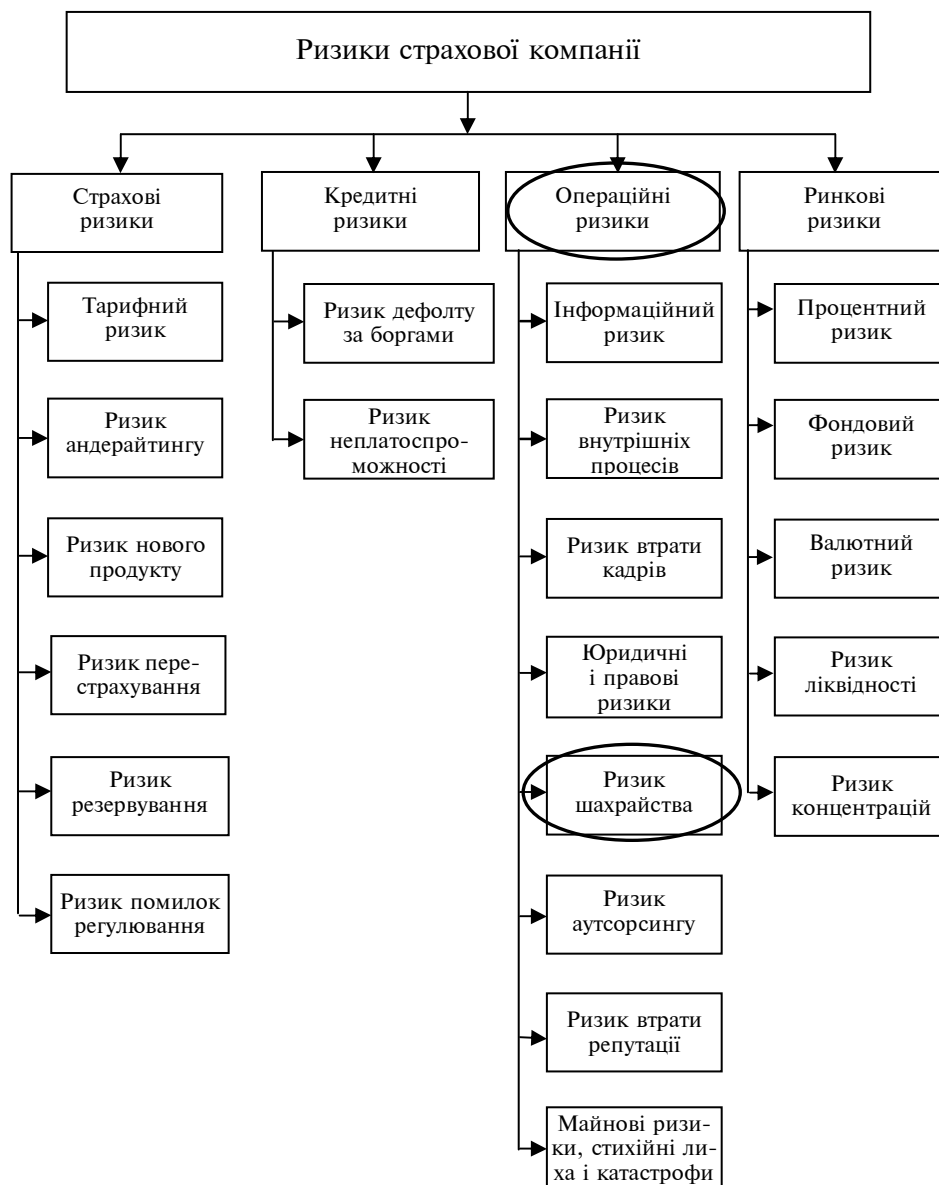


Рис. 1. Класифікація ризиків страхової компанії

вання важливої інформації в період дії договору страхування. З іншого боку, це відмова страховика від сплати страхового відшкодування без належних, зазначених у законодавстві, правил страхування [6]. Аналогічно визначається шахрайство Актом про шахрайство, виданим у Великобританії [7].

Учасники страхового ринку України оцінюють ризики СШ як одні з найнебезпечніших. Найпоширенішими на страховому ринку України експерти вважають шахрайство у сферах автострахування, страхування життя від нещасних випадків, у медичному страхуванні, а також у страхуванні виїжджаючих за кордон.

**Класифікація страхового шахрайства.** Існує кілька підходів до класифікації СШ: за ступенем “тяжкості”, за моментом виникнення, за ініціатором шахрайства і за способом здійснення. На практиці часто створюються змішані класифікатори шахрайства. За моментом виникнення шахрайство розділяють на шахрайство на етапі андеррайтингу і шахрайство на етапі врегулювання збитків (рис. 2).

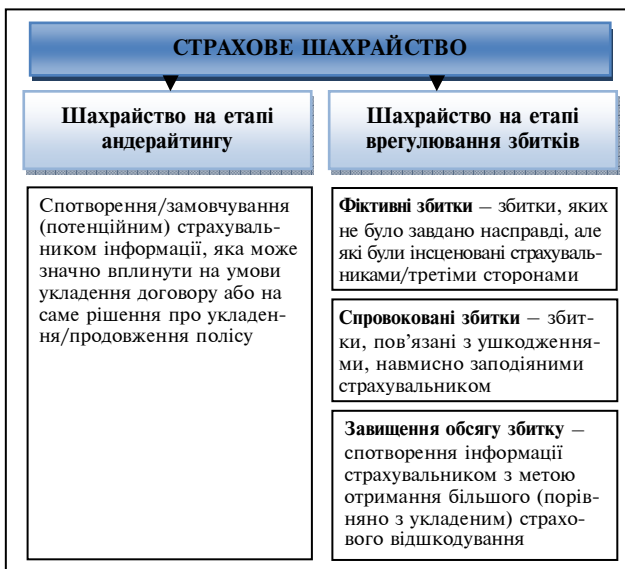


Рис. 2. Приклад класифікатора ризику шахрайства

За ступенем “тяжкості” страхове шахрайство розділяють на умисне (hard fraud) і ситуаційне (soft fraud) [8]. До категорії умисного шахрайства відносять випадки, коли договір страхування укладається з метою отримання незаконної вигоди і коли збиток провокується/інсценується з тією ж метою. До категорії ситуаційного шахрайства відносять випадки, коли страховальник не робив навмисних дій для створення страхового випадку і не мав наміру отримати необґрунтовану вигоду при укла-

денні договору страхування. Прикладом ситуаційного шахрайства може бути спроба видати “нестраховий” випадок за страховий. Наприклад, заявити пожежу, що виникла внаслідок необережного поводження з вогнем у салоні машини, як займання в двигуні. Також шахрайство може класифікуватися за стороною, що є ініціатором. У разі страхового шахрайства найбільш поширеним є шахрайство з боку клієнтів, третіх сторін, співробітників і агентів, а також контрагентів, що займаються врегулюванням збитків.

#### **Шахрайство у різних сферах страхування.**

У кожній галузі страхування (майнове, відповідальності, особисте) існують свої специфічні сценарії шахрайства. У страхуванні життя об’єктом страхового захисту є життя застрахованого. Страхове покриття складається, як правило, з одного ризику або комбінації ризиків: дожиття до визначеного у договорі терміну або смерть застрахованої особи.

Страхування від нещасного випадку – це вид особистого страхування, де, найімовірніше, історично вперше виникло страхове шахрайство. Шахрайство з боку медичних закладів, на відміну від зловживань самих застрахованих, у добровільному медичному страхуванні досить поширене. Руки розв’язує доступ до грошових коштів, оскільки близько 95–98 % страхових виплат, за даними страховиків, спрямовується безпосередньо на рахунки медичних і оздоровчих закладів. Зловживання застрахованих осіб у медичному страхуванні найчастіше пов’язані з імітацією захворювань, лікуванням незастрахованих осіб, отриманням послуг, не передбачених полісом (рис. 3).

У період укладання договору страхування майна з боку застрахованих осіб можна очікувати таких обманних дій: страхування неіснуючого майна; введення в оману щодо реальної вартості застрахованого майна; страхування одного і того ж майна в розмірі його повної страхової вартості у двох і більше страховиків; приховування інформації при укладанні договору; знищення застрахованого майна для отримання страхового відшкодування.

Часто виявляють шахрайство в автострахуванні. Близько 70 % від усіх випадків шахрайства в Україні – це завищення суми збитку, ще близько 20 % випадків – інсценування страхової події. Об’єктом таких дій у 80 % випадків є нові автомобілі найбільш популярних іноземних марок середнього класу. Реалізуючи різні сценарії, автошахраї незаконно отримують чис-



Рис. 3. Шахрайство у сфері медичного страхування

тий дохід, який становить у середньому близько 50–60 % від суми, на яку був застрахований автомобіль.

### Завдання оцінювання ризику

Для оцінювання ризиків застосовують такі методи: карти ризиків; індикатори ризиків – проста статистика, яка може вказати на проблемні напрями діяльності СК; відслідковування факторів і виникаючих проблем; формування бази даних втрат; створення сценаріїв подій, пов'язаних із ризиками; математичне моделювання ризиків. Математичне моделювання забезпечує формалізацію процедури оцінювання ризиків і стандартизацію результатів аналізу.

Завдання визначення середніх втрат, пов'язаних із кожним видом ризиків, може ставитися у тому випадку, якщо організація приймає рішення стосовно вибору способу управління операційним ризиком на основі оцінки його економічної ефективності. З математичної точки зору це завдання можна віднести до класу задач точкового оцінювання математичного сподівання випадкової величини  $x$ , що характеризує обсяг втрат.

Завдання визначення максимально можливих втрат, пов'язаних із кожним видом ризиків (на заданому рівні значимості), може ставитися у тому випадку, якщо однією з цілей УР є забезпечення платоспроможності організації. Зокрема, таке завдання може ставитися, якщо одним з інструментів УР є покриття можливих втрат власними засобами.

Розрахунок вартості під ризиком (Value at Risk, або VaR) є одним із типових прикладів

таких моделей. VaR – це виражена у грошових одиницях (базовій валюті) оцінка величини, яку не перевищать очікувані впродовж заданого періоду часу втрати із заданою ймовірністю [9, 10]. Інакше кажучи, VaR – це число, яке для заданого рівня значимості  $(1 - \alpha)$  і випадкової величини  $x$  (що характеризує величину втрат), забезпечує виконання рівності

$$P\{\text{VaR} \geq x\} = (1 - \alpha). \quad (1)$$

Методика VaR розроблялася спочатку для оцінювання ринкових ризиків, проте вона може застосовуватися і для оцінювання ОР [11]. З математичної точки зору завдання зводиться до оцінювання величини відповідного квантиля розподілу випадкової величини, що характеризує втрати:  $\hat{Q}_\alpha \approx Q_\alpha$ , де  $P\{Q_\alpha \geq x\} = (1 - \alpha)$ . Це завдання може вирішуватися як у явному вигляді, так і за допомогою методу Монте-Карло.

### Оцінювання операційних ризиків

**Математичні моделі.** Існують два підходи до класифікації ризиків – з точки зору чинників ризику і з точки зору наслідків дії ризикових подій. Так само моделі можна розділити на два основні класи: моделі, засновані на аналізі наслідків (часто використовується назва “високорівневі моделі” або Top Down) і моделі, засновані на аналізі чинників ризику (“низкорівневі моделі” або Bottom Up). За ознаку класифікації моделей можна використовувати множину завдань, для розв'язання яких ця модель може використовуватися. Так, моделі, що дають змогу отримати у явному вигляді функцію розподілу втрат, можна використовувати для оцінювання середніх втрат і максимальних втрат із заданим рівнем значимості (табл. 1).

**Моделі, засновані на аналізі наслідків.** Такі моделі у своїй більшості ґрунтуються на апараті математичної статистики. Ця група методів припускає збір і дослідження даних про втрати, зумовлені ОР упродовж попередніх періодів, з наступною екстраполяцією втрат на наступні періоди. Найбільш поширеними є такі моделі [11–14]:

BIA (Basic Indicator Approach – метод базових показників);

LDA (Loss Distribution Approach – метод розподілу збитків);

IMA (Internal Measurements Approach – метод внутрішніх вимірів).

Таблиця 1. Класифікація моделей для аналізу й управління ОР

Клас моделей	Застосування для розподілу ризиків за групами критичності	Застосування для визначення середніх втрат	Застосування для визначення максимально можливих втрат	Застосування для виявлення подій, що ведуть до реалізації ризику
Моделі, основані на аналізі наслідків (Top Down)				
BIA	–	–	+	–
IMA	–	–	+	–
LDA	+	+	+	–
Моделі, основані на аналізі факторів ризику (Bottom Up)				
Sb-АМА	+	+	+	–
Метод функціональних кореляцій	+	+	+	–
Регресійний аналіз	+	+	+	+
Байєсівські мережі	+	+	+	+
Методи нечіткої логіки	+	–	–	+

Модель BIA описує вимоги стосовно забезпечення достатності капіталу для покриття ризиків. Ця модель запропонована для вирішення завдання оцінювання максимально можливих втрат від ОР на заданому рівні значимості (99%). Вона ґрунтується на припущенні про те, що операційні втрати є залишковими від загальних втрат, пов'язаних із ризиками. Квантиль розподілу випадкової величини  $x$ , що характеризує величину втрат, задається формулою

$$\hat{Q}_{99\%} = \bar{G}_I \alpha, \quad (2)$$

де  $\hat{Q}_{99\%}$  – оцінка 99%-ного квантиля випадкової величини, що характеризує втрати;  $\bar{G}_I$  – середній валовий дохід за три попередні роки, протягом яких валовий річний дохід був позитивний;  $\alpha = 15\%$  – коефіцієнт, визначений Базельським комітетом на основі дослідження галузевої практики (для банків). Значення коефіцієнта  $\alpha$  необхідно уточнювати з використанням результатів оцінювання втрат, пов'язаних із ризиком шахрайства в українських СК. Недоліком цієї моделі є те, що отримана оцінка обсягу шахрайства залежатиме тільки від обсягу бізнесу і не залежатиме від якості контрольних процедур, впроваджених для виявлення випадків шахрайства, а також не залежатиме від особливостей страхового портфеля.

В основі моделей класу LDA лежить припущення про те, що випадкову величину  $x$ , яка характеризує розмір втрат, що сталися протягом часу  $t$ , можна визначити так:

$$x = \sum_{i=1}^{n(t)} L_i, \quad (3)$$

де  $n(t)$  – випадкова величина, яка характеризує кількість втрат даного типу, що сталися протягом періоду  $t$ ;  $L_i$  – множина випадкових величин, що характеризують величини окремих втрат. При цьому робиться припущення, що величини  $L_i$  незалежні і однаково розподілені для конкретного типу збитків. Для побудови моделей проводиться аналіз втрат за вибраний період по кожній парі “лінія бізнесу”/“тип втрати”. Для кожної такої пари на основі даних про частоту втрат і величину збитків, що спостерігались у минулих періодах, розраховується вибіркоче середнє значення частоти виникнення ризикових подій  $E(n(t))$  і вибіркоче середнє значення величини втрат при виникненні ризикової події  $E(L)$ . Далі робиться припущення про тип розподілу випадкових величин  $n(t)$  і  $L$ . Після визначення функцій розподілу випадкових величин  $n(t)$  і  $L$  будується функція розподілу випадкової величини  $x$  (як правило, за методом Монте-Карло). Функція розподілу випадкової величини  $x$ , що характеризує загальний обсяг втрат за вибраним видом ризиків, дає можливість знайти точкову оцінку математичного сподівання втрат і розрахувати квантиль заданого рівня, тобто значення OpVaR (Operational Value at Risk).

Варіанти методу LDA ділять на дві групи. Перша група моделей заснована на безпосередньому аналізі ризикових подій і пов'язаних з ними втрат без урахування чинників ризику і

причинно-наслідкових зв'язків у рамках складнішої моделі. До таких моделей можна віднести як безпосередню оцінку характеристик розподілу частоти і дії ризикових подій, так і методи, що спираються на теорію екстремальних значень (EVT – Extreme Value Theory) [15]. Друга група моделей ґрунтується на розширеній множині змінних, до якої входять і чинники ризику.

Метод ІМА дає можливість обчислити оцінку максимально можливих втрат для цього виду ризиків без побудови розподілу випадкової величини  $x$ , що характеризує розмір втрат. В основі цього підходу лежить таке припущення: якщо розділити усі збитки на очікувані (тобто в сумі близькі до математичного сподівання суми збитків за період) і непередбачені (такі, що перевищують середнє і належать до “хвоста” статистичного розподілу), то існує функціональна залежність між величинами очікуваних і непередбачених збитків. Простим випадком є лінійна залежність, тобто

$$\hat{Q}_{99\%} = E_I P_E L_{GE} = \gamma E_L, \quad (4)$$

де  $\hat{Q}_{99\%}$  – оцінка 99 %-ного квантиля розподілу можливих втрат (величини капіталу, необхідного для покриття ризику) за цим типом події;  $P_E$  – імовірність настання негативної події цього типу в даний період;  $L_{GE}$  – середня величина збитку цього типу за умови настання негативної події;  $E_I$  – коефіцієнт масштабу;  $\gamma$  – коефіцієнт для оцінювання вимог до капіталу через оцінку очікуваних збитків  $E_L$ . Сукупна оцінка максимально можливих втрат визначається складанням усіх оцінок, розрахованих для різних типів ризикових подій і ліній бізнесу.

**Моделі на основі факторів ризику** передбачають поглиблений аналіз процесів у організації і дають можливість використовувати інформацію про внутрішні причинно-наслідкові зв'язки. В межах моделей цього класу використовують різні математичні методи, зокрема такі: Sb-АМА (Scenario-based Advanced Measurement Approach – сценарний аналіз); метод функціональних кореляцій; регресійні моделі; байєсівські мережі; методи нечіткої логіки та деякі інші.

Метод Sb-АМА ґрунтується на визначенні чинників ризику (тобто можливих джерел ОР), на основі яких генеруються сценарії за прави-

лом “що буде, якщо” [16]. Таким чином, на відміну від описаних вище методів, що припускають аналіз збитків, що сталися, ця модель заснована на оцінюванні втрат, які можуть мати місце в майбутньому при реалізації деякої події. Для кожного сценарію на основі історичних даних або експертних оцінок визначають частоту і розмір збитків. Після перевірки даних і виправлення некоректних оцінок сценарії групують за чинниками ризику і для кожної групи сценаріїв оцінюють параметри статистичних розподілів частоти і величини збитків. Завершальним етапом є імітаційне моделювання за методом Монте-Карло, що дає можливість оцінити загальний розподіл збитків. Оцінювання виконується за припущення, що відоме сімейство, до якого належить розподіл випадкових величин кількості збитків (наприклад, розподіл Пуассона) і величини збитків (це розподіли з “важкими хвостами”, наприклад логнормальний розподіл або розподіл Парето).

**Метод функціональних кореляцій** [17, 18] ґрунтується на створенні структурної моделі організації. В цьому випадку перехід до математичної моделі здійснюється через побудову орієнтованого графа, вершини якого відповідають співробітникам і підрозділам, а ребра – потокам інформації. Кожній вершині ставиться у відповідність випадковий процес, що відображає її функціональність. Особливістю методу є встановлення стохастичних залежностей між функціональністю пов'язаних вершин. При цьому аналіз ризиків виконується не з точки зору наслідків або окремих чинників ризику, а стосовно співробітників, систем, бізнес-процесів, яким поставлено у відповідність вершини графа.

Аналогічно до методу LDA вводиться розподіл величин втрат (для вершини  $i$  цей розподіл реалізується випадковою величиною  $L_i$ ), пов'язаних з окремими випадками реалізації ризиків. Випадки реалізації ризиків описуються для вершини  $i$  випадковим процесом  $n_i(t)$ , який має два стани:  $n_i(t) = 0$  відповідає нормальному функціонуванню, а  $n_i(t) = 1$  означає збій. Сукупні втрати  $X_i(t + \Delta t)$ , понесені на момент  $(t + \Delta t)$  у зв'язку зі збоями на  $i$ -й вершині графа, можна задати так:

$$X_i(t + \Delta t) = X_i(t) + n_i(t + \Delta t)L_{i,t + \Delta t}, \quad (5)$$

де  $L_{i,t + \Delta t}$  – реалізація випадкової величини  $L_i$ .

Для задавання зв'язку між різними функціональними елементами вводиться поняття “під-



тримки”, яку отримує кожний функціональний елемент від пов’язаних із ним елементів. У випадку, якщо обсяг “підтримки” стає меншим заданої величини, відповідний функціональний елемент переходить у стан відмови (тобто для поставленої йому у відповідність  $i$ -ї вершини графа покладається  $n_i(t) = 0$ ). Для відображення цієї структури в модель вводяться випадкові процеси  $h_i(t)$ :

$$h_i(t) = \vartheta_i - \sum_j w_{ij} n_j(t) + \varepsilon_i(t), \quad (6)$$

де  $\vartheta_i$  – середній обсяг “підтримки”, яку  $i$ -й процес отримує у повністю функціональній системі (тобто коли всі  $n_i(t) = 1$ );  $w_{ij}$  – обсяг підтримки, яку  $i$ -й процес отримує від  $j$ -го процесу (і відповідно втрачає, коли  $j$ -й процес перебуває у стані відмови);  $\varepsilon_i(t)$  – гауссів білий шум.

Цей метод орієнтовано на аналіз функціональності процесів і виявлення збоїв. Ризик шахрайства має іншу природу і пов’язаний з дискретними випадковими подіями – завданням збитків з елементами шахрайства. Таким чином, можна зробити висновок, що цю модель застосовувати для оцінювання СШ нецільно.

**Регресійні моделі ґрунтуються** на виявленні причинно-наслідкових зв’язків між спостережуваними індикаторами і рівнем ризику. Розрізняють дві основні групи показників, які можна використовувати як спостережувані індикатори (пояснювальні змінні): 1) змінні оточення – кількісні показники, що характеризують бізнес-процеси підприємства; 2) фактори ризику, тобто кількісні показники, що характеризують спостережувані випадки реалізації ризиків.

Така математична модель має вигляд

$$x = \mathbf{A}\mathbf{f} + b + \varepsilon,$$

де  $x$  – величина втрат, пов’язаних з ОР;  $\mathbf{f}$  – вектор значень спостережуваних змінних;  $\varepsilon$  – випадкова величина, що характеризує рівень похибки моделі;  $\mathbf{A}$  і  $b$  – оцінювані параметри, що характеризують залежність між змінною  $x$  і пояснювальними змінними  $\mathbf{f}$ . Для використання цього методу необхідно мати достатній обсяг даних для отримання оцінок з прийнятною точністю.

**Методи нечіткої логіки** дають можливість найкращим чином використовувати експертне оцінювання для аналізу ризиків у тих випадках,

коли точні дані відсутні або неповні. Нечітка логіка наближує модель до міркувань людини в процесі прийняття і обґрунтування рішень [19, 20]. Методи нечіткої логіки можна застосовувати для оцінювання обсягу втрат і виявлення випадків шахрайства. На зарубіжних ринках є автоматизовані системи для виявлення СШ, засновані на методах нечіткої логіки, наприклад RiskShield [4].

**Байєсівські мережі** [21–23] дають можливість відобразити в моделі причинно-наслідкові зв’язки між різними чинниками ризику і змінами середовища. На відміну від регресійних моделей, байєсівські мережі дають можливість враховувати не лише безпосередні залежності рівня ризику від факторів ризику, а й залежності між факторами ризику. Крім того, цей клас моделей надає більше можливостей для формування висновку на основі неповних даних. З математичної точки зору БМ – орієнтований граф, де вершинам відповідають чинники ризику і зміни середовища, а ребрам – виявлені або передбачувані взаємозв’язки. Мережа також описується множиною умовних розподілів випадкових величин, що характеризують чинники ризику і змінні середовища.

Припустимо, що існують  $n$  випадкових величин  $X_1, \dots, X_n$ . Спільну ймовірність значення цих величин можна виразити через добуток  $n$  умовних імовірностей:

$$P(x_1, \dots, x_n) = P(x_1) \prod_{j=2}^n P(x_j | x_1, \dots, x_{j-1}). \quad (7)$$

Якщо допустити, що випадкова величина  $X$  залежить не від усіх попередніх випадкових величин (величин з меншими індексами), а тільки від їх частини, яку ми позначимо  $PA_j$ , то отримаємо

$$P(x_j | x_1, \dots, x_{j-1}) = P(x_j | pa_j). \quad (8)$$

Звідси випливає, що формулу (7) можна переписати в такому вигляді:

$$P(x_1, \dots, x_n) = \prod_{j=1}^n P(x_j | pa_j). \quad (9)$$

Множину  $PA_j$  називають множиною батьківських величин для випадкової величини  $X$ .

Перевагою БМ є можливість одночасного використання експертного оцінювання (наприклад, для оцінювання структури мережі визначенням залежностей між змінними) і мате-

матичних методів для отримання висновку по мережі. За рахунок цього модель дає можливість зв'язувати вибірки статистичних даних з експертними знаннями. Висновок на основі БМ може здійснюватися через поширення інформації в будь-якому напрямку. БМ використовують для формування ймовірнісного висновку – розрахунку умовної ймовірності отримання значень для частини випадкових величин за умови відомих значень інших величин. Математично завдання можна сформулювати як обчислення  $P(y|x)$ , де  $X$  – множина спостережуваних значень, а  $Y$  – множина змінних, які потрібно оцінити.

Висновок можна здійснювати безпосередньо з використанням формули Байєса і операцій маргіналізації – обчислення сум за реалізаціями всіх змінних, крім вибраних. У цьому випадку завдання зводиться до розрахунку умовних імовірностей за формулою

$$P(y|x) = \frac{\sum_s P(y, x, s)}{\sum_{y,s} P(y, x, s)}, \quad (10)$$

де  $S$  – множина всіх змінних, за винятком  $X$  і  $Y$ . Цей метод трудомісткий, тобто завдання

формування висновку за БМ є NP-повним. Тому для БМ запропоновано множину ефективніших алгоритмів формування висновку [24, 25].

### Побудова ймовірнісної моделі актуарного операційного ризику

Встановлено, що існують близько 50 видів спільних ризиків, які пов'язані причинним ланцюгом і загрожують платоспроможності СК [5]. Це привело до необхідності розроблення причинно-наслідкових карт ризику як практичного інструменту для надання допомоги при вико-

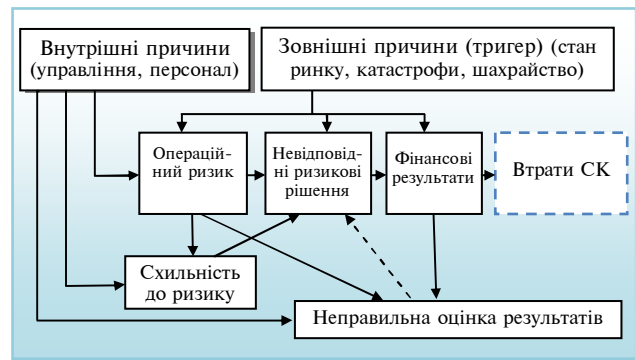


Рис. 4. Карта ризиків СК

Таблиця 2. Вершини БМ для оцінювання актуарного ОР

Назва вершини	Опис	Множина значень
Управління	Внутрішній показник діяльності, який характеризує якість управління СК на всіх рівнях (дочірні відділення, філіали)	{“висока”, “задовільна”, “незадовільна”}
Кваліфікація персоналу	Внутрішній показник діяльності, який характеризує освіту, навички, досвід, культуру персоналу	{“висока”, “задовільна”, “незадовільна”}
Операційні процедури	Внутрішній показник діяльності, який характеризує наявність контрольних процедур і процеси, пов'язані із забезпеченням стабільної діяльності СК	{“висока”, “задовільна”, “незадовільна”}
Технології	Внутрішній показник діяльності, який характеризує використання технологій, методів, принципів для вдосконалення робочого процесу	{“високі”, “задовільні”, “незадовільні”}
Стан СК	Якісна характеристика, що відображає чутливість СК, стабільність, її роботу	{“стійка”, “задовільна”, “нестійка”}
Стан економіки	Зовнішній показник, який описує стан економіки, страхового ринку, правового законодавства тощо	{“високий”, “задовільний”, “незадовільний”}
Шахрайство	Зовнішній показник, який вказує на рівень наявності страхового шахрайства	{“незначний”, “середній”, “високий”}
Системні збої	Зовнішній показник, який описує частоту системних збоїв, природні катастрофи, екстремальні події	{“рідкісні”, “нечасто”, “часто”}
Стан НС	Якісна характеристика, що відображає стан навколишнього середовища	{“сталий”, “задовільний”, “незадовільний”}
Прийняті рішення	Ставлення до сприйняття ризику залежно від стану СК і впливу навколишнього середовища	{“не сприймається”, “збалансоване”, “сприймається”}
Імовірність втрати СК	Значення ймовірності втрат СК залежно від прийнятого рішення	{“низька”, “середня”, “висока”}



нанні відповідних досліджень. Причини і наслідки дають можливість встановити суть проблем компанії і оцінити як відносну важливість причин, так і їх кінцевий вплив.

Для побудови карти ризиків СК виконується аналіз, який включає в себе функціональну схему компанії, історію, структуру, географію, структуру управління, напрями діяльності (види страхування). За допомогою таких карт визначають ризики, які загрожують платоспроможності компанії, і яким чином відбувається взаємодія різних процесів (рис. 4).

У картах ризику визначають “тригер-подію”, яка запускає процес втрат або несприятливих моментів. Але така подія являє собою загрозу лише в поєднанні з проміжними причинами – станами. Як вхідні дані для побудови БМ для аналізу ОР СК використано експертні оцінки діяльності. Всі змінні цієї мережі характеризують стан конкретної частини СК або об’єктів, що впливають на її діяльність (табл. 2).

Основне призначення БМ – аналіз втрат СК внаслідок неадекватного управління операційними ризиками. Але її можна використовувати також для аналізу внутрішнього стану СК – знаходити слабкі місця в її діяльності.

### Побудова моделі операційного ризику страхового шахрайства в автострахованні

Як вхідні використано дані української СК по збитках, врегульованих у Київському регіоні протягом 2010 р. Для спрощення процедури формування висновку у вибірку введено додаткові змінні, значення яких були розраховані виходячи із значень інших змінних для кожного елемента вибірки. Додаткові змінні можна розділити на дві групи: агреговані змінні, значення яких розраховується на основі значень кількох змінних, і перетворені змінні. Агреговані змінні введено для цілей відображення особливостей окремих сценаріїв шахрайства, проаналізованих у ході дослідження. Перетворення полягало в переході від безперервної змінної до дискретної. Так, для змінної “Вік ТЗ” (технічного засобу), що набуває значення з множини натуральних чисел (вік ТЗ на момент страхування в днях) введено змінну, яка набуває значення на множині {“новий”, “майже новий”, “використаний”, “старий”}. Відповідність між вихідною і додатковою змінними встановлено так, як показано в табл. 3.

Таблиця 3. Таблиця перетворення для змінної “Вік ТЗ”

Значення вихідної змінної	Значення додаткової змінної
1–120	Новий
121–365	Майже новий
366–1825	Використаний
1826–+ ∞	Старий

Також введено перетворені змінні для вихідної змінної “Продукт” (кредитний і некредитний). Для агрегованої змінної “Термін збитку” зроблено перехід від терміну в днях до терміну в місяцях і потужність множини значень знижено з 366 до 12. Для змінної “Прибуток” виконано перехід від безперервної змінної, вираженої в грошових одиницях (яка набуває значення на множині додатних дійсних чисел), до змінної, що набуває скінченої множини значень, за допомогою групування сум у заданих межах. Побудований на основі наявних даних перелік вершин і можливих значень відповідних їм випадкових змінних наведено в табл. 4.

Необхідно відзначити, що залежність між різними змінними може бути як пряма, так і зумовлена наявністю шахрайства. В першу чергу можна виділити дві групи змінних. Перша група – змінні, пов’язані з об’єктом страхування і договором страхування (“Вік ТЗ”, “Продукт”, “Покриття”). Друга група – змінні, пов’язані зі збитками (“Тип збитку”, “Винуватець”, “Регрес”, “Врегулювання”). Змінна “Термін збитку” не включена ні в одну групу, тому що термін настання страхової події не залежить від його типу, від вини страхувальника, від наявності можливості регресу і від форми врегулювання. З урахуванням того, що розглядаються тільки ризики “Збиток” і “Цивільна відповідальність” (без ризику “Викрадення”), термін настання збитку не повинен залежати від віку ТЗ. Змінна “Прибуток” буде залежати як від віку ТЗ (чим новіший ТЗ, тим вища вартість і тим вища страхова премія), так і від типу збитку (сума виплати має бути вищою у випадку ДТП, ніж при пошкодженні предметом).

Спосіб врегулювання залежить від типу події (від обсягу пошкоджень) і від віку ТЗ (нові ТЗ повинні ремонтуватися в офіційних дилерів – отримання відшкодування готівкою менш імовірно). Можна зробити припущення про те, що всі зазначені змінні мають залежати від наявності елементів шахрайства. БМ буду-

Таблиця 4. Перелік вершин БМ для ризику СШ

Назва вершини	Опис	Множина значень
Причина збитку	Змінна класу – причиною збитку може бути як страховий випадок, так і різні сценарії шахрайства	{“страховий випадок”, “шахрайство”}
Термін збитку	Термін настання збитку (порядковий номер місяця від початку дії договору страхування)	{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12}
Вік ТЗ	Якісна характеристика, що відображає вік ТЗ на момент страхування	{“новий”, “майже новий”, “уживаний”, “старий”}
Продукт	Ознака відмінності ТЗ, придбаних у кредит	{“кредитовий”, “не кредитовий”}
Покриття	Ознака страхування добровільної громадянської відповідальності на додаток до КАСКО	{“КАСКО і ГВ”, “тільки КАСКО”}
Прибуток	Якісна характеристика, що відбиває фінансовий результат страхувальника – різницю між величиною відшкодування і страховою премією (без урахування інших збитків, якщо такі були)	{“0–500”, “500–1500”, “1500–3000”, “3000–6000”, “6000–10000”, “понад 20000”}
Тип збитку	Тип події, заявленої як причина збитку	{“ушкодження невстановленим ТЗ під час стоянки”, “ДТП”, “ушкодження випадковим предметом”, “дії третіх осіб”, “інші”}
Винуватий	Ознака винності страхувальника в ДТП	{“винен”, “невинен”}
Регрес	Ознака наявності винної третьої сторони, якій може бути виставлений регресний позов	{“з регресом”, “без регресу”}
Врегулювання	Форма відшкодування	{“натуральна”, “готівкою”}

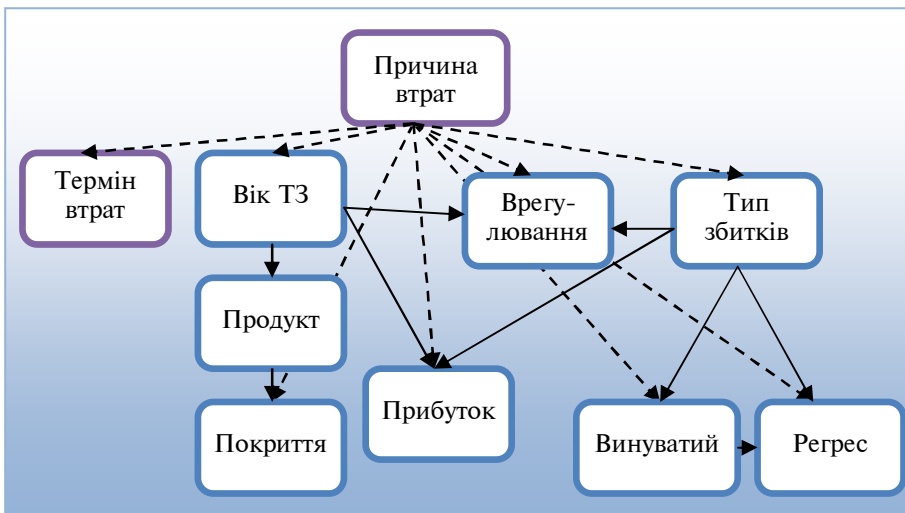


Рис. 5. Байєсівська мережа для ризику шахрайства у врегулюванні збитків

ється на підставі цього припущення та перерахованих раніше залежностей (рис. 5).

**Формування висновку за моделлю страхового шахрайства.** Для побудови моделі і здійснення висновку з урахуванням неможливості використання стандартних методів розроблено алгоритм, який складається з таких кроків: 1) підготовка даних; 2) аналіз емпіричних роз-

поділів; 3) виявлення прихованих взаємозв'язків; 4) пояснення виявлених взаємозв'язків; 5) визначення частки шахрайства серед збитків із заданими параметрами; 6) формування критеріїв підозрілості; 7) оцінювання втрат за вибіркою.

При підготовці даних доцільно формувати вибірку за договорами з однаковими строками дії і видами ризиків, що покриваються. На другому етапі алгоритму будуються емпіричні розподіли змінних, включених до БМ на під-

ставі вибірки, сформованої в результаті виконання першого етапу. Побудовані розподіли – це предмет для експертного аналізу, спрямованого на виявлення загальних закономірностей.

На третьому кроці здійснюється вибір однієї змінної за припущення про відсутність шахрайства. Виконується аналіз умовних розподілів

цієї змінної при заданих значеннях кожної з решти змінних. Умовні розподіли порівнюються з безумовним розподілом, і, в разі виявлення відмінностей, робиться припущення про наявність прихованих взаємозв'язків.

Четвертий крок передбачає проведення експертного аналізу виявлених взаємозв'язків і їх порівняння з узагальненими сценаріями шахрайства, побудованими для розглянутих типів шахрайства. У результаті кожний із виявлених взаємозв'язків можна буде пояснити за рахунок реалізації одного чи кількох сценаріїв шахрайства або за рахунок природних взаємозв'язків.

У рамках п'ятого етапу алгоритму для кожної виявленої залежності визначається кількість "звичайних збитків" (що виникли внаслідок дії застрахованих ризиків) та "збитків з ознаками шахрайства" (пов'язаних зі спотворенням страхувальником інформації про терміни або обставини їх виникнення). Оцінювання виконується окремо для кожної пари змінних, між якими виявлено прихований взаємозв'язок. При оцінюванні порівнюються між собою умовні та безумовні розподіли, а кількість випадків шахрайства встановлюється таким чином:

$$Q\{(F=1)|(A=a),(B=b)\} = \\ = Q\{A=a|(B=b) - Q\{A=a\}Q\{B=b\}/N,$$

де  $Q\{(F=1)|(A=a),(B=b)\}$  – кількість збитків з ознаками шахрайства серед збитків, для яких параметр  $A$  набуває значення  $a$  і параметр  $B$  набуває значення  $b$ ;  $Q\{A=a|B=b\}$  – загальна кількість збитків;  $Q\{A=a\}$  – кількість збитків, для яких параметр  $A$  набуває значення  $a$ ;  $Q\{B=b\}/N$  – оцінка ймовірності того, що параметр  $B$  набуває значення  $b$ ;  $Q\{B=b\}$  – кількість збитків з такою властивістю;  $N$  – загальна кількість значень збитків у вибірці. Цей вираз ґрунтується на припущенні про те, що за відсутності шахрайства змінні мають бути незалежними, а умовний розподіл збігається з безумовним.

На шостому кроці алгоритму формуються критерії підозрілості на наявність шахрайства на підставі оцінених збитків:

$$K_j: s_j \rightarrow [0; 1], j = 1, \dots, N; i = 1, \dots, T; \\ s_j = (s_j^1, \dots, s_j^m),$$

$$K_i = \{k_{j_1}^{i,l}, \dots, k_{j_{w_i}}^{i,l}, p^{i,l}\}, l = 1, \dots, r_i, \quad (11)$$

де  $K_i$  –  $i$ -й критерій підозрілості;  $T$  – кількість критеріїв;  $s_j$  –  $j$ -й елемент вихідної вибірки;  $N$  – кількість елементів вибірки;  $m$  – кількість характеристик збитку (кількість позицій у рядку), включених в елемент-рядок вибірки;  $j_1, \dots, j_{w_i}$  – номери позицій з рядків  $s_j$ , на підставі яких за критерієм  $K_i$  визначається ймовірність шахрайства;  $w_i$  – кількість характеристик, що використовуються  $i$ -м критерієм;  $r_i$  – кількість множин значень характеристик, що використовуються  $i$ -м критерієм;  $\{k_{j_1}^{i,l}, \dots, k_{j_{w_i}}^{i,l}, p^{i,l}\}$  – множина значень позицій та умовної ймовірності наявності шахрайства за умови рівності цим значеннями відповідних позицій рядка  $s_j$ . Значення критерію  $K_i$  на цьому елементі вибірки визначається так:

$$K_i(s_j) = \\ = \begin{cases} p^{i,l}, \text{ якщо } \exists l \in \{1, \dots, r_i\} \text{ така,} \\ \text{що } \forall t \in \{j_1, \dots, j_{w_i}\}: s_j^t = k_t^{i,l}; \\ 0 \text{ в інших випадках.} \end{cases} \quad (12)$$

Оскільки для деяких видів збитків можуть бути отримані додатні значення для кількох критеріїв, то сукупна ймовірність наявності шахрайства з цього збитку може бути оцінена на сьомому етапі як максимальне із наявних значень критеріїв:

$$\hat{P}(PZ_j = Sh|s_j) = \max\{K_1(s_j), \dots, K_T(s_j)\}, \quad (13)$$

де  $PZ_j$  – причина  $j$ -го збитку;  $\hat{P}(PZ_j = Sh|s_j)$  – оцінка ймовірності наявності шахрайства в  $j$ -му збитку; якщо  $Sh=1$ , то мало місце шахрайство;  $K_i(s_j)$  – значення  $i$ -го критерію для  $j$ -го збитку. Величину, розраховану за виразом (13), можна трактувати як оцінку математичного сподівання індикаторної випадкової величини, рівної 1, якщо збиток  $s_j$  пов'язаний із шахрайством:

$$\hat{P}(PZ_j = Sh|s_j) = E[I_{Sh}(s_j)], \quad (14)$$

де  $I_{Sh}(s_j) = 1$  тоді і тільки тоді, коли збиток  $s_j$  пов'язаний із шахрайством;  $I_{Sh}(s_j) = 0$  в інших

випадках. З урахуванням того, що настання окремих збитків можна вважати незалежними випадковими подіями, з (13) і (14) випливає

$$\begin{aligned}\widehat{N}_{Sh} &= \sum_{j=1}^N E[I_{Sh}(s_j)] = \\ &= \sum_{j=1}^N \max\{K_1(s_j), \dots, K_T(s_j)\},\end{aligned}$$

де  $\widehat{N}_{Sh}$  – оцінка кількості випадків шахрайства у наявній вибірці даних.

Для розрахунку обсягу втрат, пов'язаних із шахрайством, розглянемо величину

$$V_{Sh}(s_j) = \begin{cases} V(s_j), & \text{якщо збиток } s_j \text{ пов'язаний} \\ & \text{із шахрайством;} \\ 0 & \text{в інших випадках,} \end{cases}$$

де  $V(s_j)$  – величина виплати по збитку  $j$ . Цю величину можна виразити через індикатор таким чином:

$$I_{Sh}(s_j) : V_{Sh}(s_j) = I_{Sh}(s_j)V(s_j).$$

Якщо позначити  $\widehat{V}_{Sh}$  загальний обсяг втрат, пов'язаних із шахрайством, то його можна оцінити як математичне сподівання:

$$\begin{aligned}\widehat{V}_{Sh} &= \sum_{j=1}^N E[V_{Sh}(s_j)] = \sum_{j=1}^N E[I_{Sh}(s_j)V(s_j)] = \\ &= \sum_{j=1}^N \max\{K_1(s_j), \dots, K_T(s_j)\}V(s_j).\end{aligned}$$

Висновок за побудованою моделлю виконано на підставі даних урегульованих збитків, наданих СК (обсяг вибірки після попередньої обробки становив 2157 елементів). Виявлені залежності пояснені реалізацією трьох узагальнених сценаріїв шахрайства: “Страховання пошкодженої машини з подальшою фальсифікацією збитку”, “Страховання “заднім” числом” та “Спотворення обставин події”.

Так, аналіз показав, що існує залежність між змінними “Термін збитку” і “Прибуток”. За умови настання збитку в перші місяці дії договору страхування ймовірність того, що змінна “Прибуток” набуде значення  $Z_r^l$  (наприклад, 10000) і  $Z_r^h$  (понад 20000) буде вищою, ніж без задавання умови на термін настання збитку:

$$\begin{aligned}P(Z_r \in \{Z_r^l > Z_r^h\} | t_z \in \{1, 2, 3, 4\}) > \\ > P(Z_r \in \{Z_r^l > Z_r^h\}),\end{aligned}$$

де  $t_z$  – термін настання збитку. Таке підвищення ймовірності може бути пояснене сценаріями шахрайства “Страховання пошкодженої машини з подальшою фальсифікацією збитку” або “Страховання “заднім” числом”.

На прикладі змінної “Прибуток” також розглянуто результат введення додаткових змінних в умовний розподіл. Це дало можливість віднести “зайві” збитки до скороченої групи випадків. На підставі описаної моделі встановлено, що частка збитків, пов'язаних із шахрайством, у розглянутому портфелі становить 16,5 % (356 випадків) від загальної кількості збитків. Обсяг втрат, пов'язаних із шахрайством становить 14,7 % від загального обсягу страхових виплат по даному портфелю. Цей розрахунок підтверджує, що навмисне шахрайство має більшу питому вагу в обсязі втрат, пов'язаних із шахрайством. Описаний метод дав можливість оцінити розмір втрат, а також зробити припущення стосовно можливого економічного ефекту від впровадження процедур запобігання та виявлення шахрайства.

## Висновки

Представлена класифікація ризиків у страхуванні надала можливість встановити існування чотирьох основних груп фінансових ризиків: страхових (андерайтингових), кредитних, ринкових та операційних. Найбільшу кількість видів містить група операційних ризиків, а основними причинами їх виникнення є такі: перебої у функціонуванні інформаційних процесів, порушення внутрішніх процедур, втрата ключових кадрів і репутації, шахрайство. Досліджено джерела виникнення шахрайства і виконано його класифікацію. Розглянуто і запропоновано деякі типи математичних моделей для опису фінансових ризиків, серед яких провідне місце займають моделі на основі нечіткої логіки і байєсівські мережі, оскільки вони дають можливість описувати функціонування процесів за умов наявності невизначеностей.

Розроблено методику побудови моделей типу байєсівських мереж для оцінювання ризиків страхового шахрайства. Обґрунтовано вибір структури байєсівських мереж для моделювання ризику шахрайства на підставі порівняль-

ного аналізу підходів до моделювання операційних ризиків. Запропоновано алгоритм формування висновку за вказаною вище моделлю з використанням навчальної вибірки без значень змінної класу, заснований на виявленні та оцінюванні прихованих взаємозв'язків між змінними моделі.

Побудована модель у формі байєсівської мережі для опису актуарних операційних ризиків, яка відображає причинно-наслідкові зв'язки між факторами ризику та втратами страхової компанії. Ця модель має широкий спектр застосування: для аналізу стану внутрішнього

середовища СК; для аналізу умов, у яких провадить свою діяльність компанія; для прийняття управлінських рішень та аналізу можливих наслідків від їх реалізації. БМ застосовано також для визначення ймовірної причини втрат страхової компанії, пов'язаних з операційними ризиками.

Подальші дослідження будуть спрямовані на удосконалення методик моделювання та оцінювання ризиків у страхуванні, розширення номенклатури математичних моделей для їх опису, а також порівняльний аналіз існуючих методів.

1. *B. Baesens et al.*, "Learning bayesian network classifiers for credit scoring using Markov chain Monte Carlo search", in Proc. 16<sup>th</sup> Int. Conf. Pattern Recognition, Québec, Canada, August 2002, pp. 49–52.
2. *Ormerod T. et al.*, "Using ethnography to design a mass detection tool (MDT) for the early discovery of insurance fraud", in Proc. Conf. Human Factors in Computing Systems CHI-03, Ft. Lauderdale, Florida, 2003, pp. 650–651.
3. *E.B. Belhadji and G. Dionne*, Development of an Expert System for the Automatic Fraud Detection of Automobile Insurance Fraud. Canada, Montreal: Ecole des Hutes Etudes Commerciales, 1997, 376 p.
4. *J. Pathak et al.*, "A Fuzzy-based Algorithm for Auditors to Detect Elements of Fraud in Settled Insurance Claims", Odette School of Business Admin., Working Paper no. 03-9, 17 p., 2003.
5. *Enterprise Risk Management*. UK: Committee of Sponsoring Organizations of the Threadway Commission, 2004, 300 p.
6. *Бюро Страхових Історій* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.antiobman.ru>. – Назва з екрана.
7. *Fraud Act 2006 of United Kingdom*: 8 November, 2006. The Parliament of the United Kingdom, The National Archives, 15.01.2007, p. 15.
8. *R. Linkoln et al.* (2003). An Exploration of Automobile Insurance Fraud [Online]. Available: <http://epublications.bond.edu.au/hsspubs/64>
9. *Енциклопедія фінансового ризик-менеджмента* / Под ред. А.А. Лобанова и А.В. Чугунова. – М.: Альпина Бизнес Букс, 2007. – 731 с.
10. *G.A. Holton*, "Perspectives: Defining Risk", Fin. Analysts J. CFA Inst., vol. 60, no. 6, pp. 19–25, 2004.
11. *M.H. Tripp et al.*, "Quantifying operational risk in general insurance companies", in Giro Working Party [Presented to the Institute of Actuaries], 22 March 2004, 137 p.
12. *S. Shah* (2003). Measuring Operational Risk Using Fuzzy Logic Modeling [Online]. Available: <http://www.irmi.com/Expert/Articles/2003/Shah09.aspx>
13. *International Convergence of Capital Measurement and Capital Standards. A Revised Framework. Comprehensive Version*. Switzerland, Basel: Basel Committee on Banking Supervision, Bank for Int. Settlements, 2006, 158 p.
14. *Sound Practices for the Management and Supervision of Operational Risk*. Switzerland, Basel: Basel Committee on Banking Supervision, Bank for Int. Settlements, 2003, 110 p.
15. *E. Medova*, "Extreme Value Theory (Extreme values and the measurement of operational risk)", Operational Risk, pp. 17–36, July 2000.
16. *Scenario-based AMA* (2003). [Online]. Available: <http://www.newyorkfed.org/newsevents/events/banking/2003/con0529d.pdf>
17. *B. Dobeli et al.*, "From operational risk to operational excellence", in Advances in operational risk: Firm-wide issues for financial institutions, ed. P. Mestchian, 2<sup>nd</sup> ed. UK, London: Risk Books, Risk Water Group, 2003.
18. *R. Kuhn and P. Neu*, "Functional Correlation Approach to Operational Risk in Banking Organizations", Physica A, no. 322, pp. 650–660, 2003.
19. *Моделирование рискованных ситуаций в экономике и бизнесе: Учеб. пособие* / А.М. Дубров, Б.А. Лагоша, Е.Ю. Хрусталеv; под. ред. Б.А. Лагоши. – М.: Финансы и статистика, 2000. – 176 с.
20. *Штовба С.Д.* Введение в теорию нечетких множеств и нечеткую логику [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://matlab.exponenta.ru/fuzzylogic/book1/index.php>. – Название с экрана.
21. *M. Neil et al.*, "Using bayesian networks to model expected and unexpected operational losses", Risk Analysis, vol. 25, no. 4, pp. 34–57, 2005.
22. *Згуровский М.З., Терентьев А.М., Бидюк П.И.* Методы построения байесовских сетей на основе оценочных

- функций // Кибернетика и системный анализ. – 2008. – № 2. – С. 81–88.
23. Бідюк П.І., Кузнецова Н.В., Терентьев О.М. Система підтримки прийняття рішень для аналізу фінансових даних // Наукові вісті НТУУ "КПІ". – 2011. – № 1. – С. 48–61.
24. G.F. Cooper, "The computational complexity of probabilistic inference using bayesian belief networks", Artificial Intelligence, no. 42, pp. 393–405, 1990.
25. H. Guo and W. Hsu, A survey on algorithms for real-time bayesian network inference. Laboratory for Knowledge Discovery in Databases Department of Computing and Information Sciences, Kansas State University, 2002, 20 p.

Рекомендована Радою  
Навчально-наукового комплексу  
"Інститут прикладного системного  
аналізу" НТУУ "КПІ"

Надійшла до редакції  
11 лютого 2013 року