

де  $R$  – радіус колеса електричного транспортного засобу, а  $I_1$  за виразом —

$$I_1 = \frac{U_1}{R_1 + R_2}. \quad (14)$$

#### Висновки

1. Запропоновано новий метод ідентифікації нелінійних динамічних систем, в яких нелінійність знаходиться не лише в прямому каналі проходження вхідного сигналу, але і в контурі зворотнього зв'язку — метод названо методом інтегрально-гармонійної ідентифікації (МІГІ), оскільки в ньому використовується гармонійний сигнал на вході системи і операція інтегрування.

2. Побудовано алгоритм МІГІ для розв'язання задачі ідентифікації електричного транспортного засобу.

3. Вказано, що потрібно врахувати при реалізації алгоритму МІГІ у випадку, коли в системі тягового електропривода транспортного засобу використовується не регулятор зміни струму якоря тягових електродвигунів, а регулятор зміни напруги, прикладеної до якорів цих електродвигунів

#### Список літератури

1. Мокін Борис Іванович. Метод ідентифікації нелінійних динамічних об'єктів з екстремальними статичними характеристиками [Електронний ресурс] / Б. І. Мокін, О. Б. Мокін // Наукові праці Вінницького національного технічного університету. Англ., рос. та укр. мовами. – 2009. – №2. – С.1-8. – Режим доступу до журн.: [http://www.nbu.gov.ua/e-journals/VNTU/2009-2/2009-2.files/uk/09bimesc\\_ua.pdf](http://www.nbu.gov.ua/e-journals/VNTU/2009-2/2009-2.files/uk/09bimesc_ua.pdf).

2. Мокін Олександр Борисович. Особливості моделювання руху електричних транспортних засобів з врахуванням залежності навантаження від рельєфу місцевості [Електронний ресурс] / О. Б. Мокін, Б. І. Мокін // Наукові праці ВНТУ. – 2010. – №1. – С. 1-6.– Режим доступу до журн.: [http://www.nbu.gov.ua/e%2Djournals/VNTU/2010-1/uk/10mbidot\\_uk.pdf](http://www.nbu.gov.ua/e%2Djournals/VNTU/2010-1/uk/10mbidot_uk.pdf).

3. Мокін Олександр Борисович. Відносні моделі руху електричного транспортного засобу по горизонтальному прямолінійному відрізьку колії / О. Б. Мокін, Б. І. Мокін // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2010. – №2. – С. 20–24.

4. Мокін Борис Іванович. Математичні моделі багатомасових розподілених динамічних систем для задач оптимізації (частина 2) / Б. І. Мокін, О. Б. Мокін // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2009. – №1. – С. 28–33.

5. Мокін Борис Іванович. Ідентифікація параметрів моделей та оптимізація режимів системи електропривода трамвая з тяговими електродвигунами постійного струму. Монографія / Б. І. Мокін, О. Б. Мокін. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. – 92 с.

#### Відомості про авторів

Мокін Олександр Борисович – к.т.н., доцент, кафедра відновлювальної енергетики та транспортних електричних систем і комплексів, директор Інституту енергетики та електромеханіки, e-mail: [abmokin@gmail.com](mailto:abmokin@gmail.com), тел: (0432) 59-85-57.

Мокін Борис Іванович – акад. НАПНУ, д.т.н., професор, кафедра відновлювальної енергетики та транспортних електричних систем і комплексів, ректор ВНТУ, тел.: (0432) 56-08-48.

УДК 004.89+519.216.3+656.2

#### АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ДО ПРОГНОЗУВАННЯ ВИНИКНЕННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ

*доцент, к.т.н., Савчук Т. О., Козачук А.В.*

Анотація: У статті поставлено задачу автоматизованого прогнозування виникнення надзвичайних ситуацій на залізничному транспорті. На підставі проведеного аналізу підходів до прогнозування виникнення надзвичайних ситуацій

описано існуючі методи розв'язання задачі прогнозування виникнення надзвичайних ситуацій. Запропоновано алгоритми прогнозування надзвичайних ситуацій, що відповідають вимогам підвищеної точності в рамках заданої ресурсоемності за рахунок поєднання статистичних та емпіричних інтелектуальних методів. Проведено їх порівняння та надано рекомендації щодо застосування в залежності від необхідної точності та наявних апаратних ресурсів.

Анотація: В статті поставлена задача автоматизованого прогнозування виникнення надзвичайних ситуацій на залізничному транспорті. На основі проведеного аналізу підходів к прогнозуванню виникнення надзвичайних ситуацій описано існуючі методи рішення задачі прогнозування виникнення надзвичайних ситуацій. Предложено алгоритмы прогнозирования чрезвычайных ситуаций, отвечающие требованиям повышенной точности в рамках заданной ресурсоемности за счет сочетания статистических и эмпирических интеллектуальных методов. Проведено их сравнение и даны рекомендации по применению в зависимости от требуемой точности и имеющихся аппаратных ресурсов.

Abstract: The task of automated forecasting of emergency situations on the railway was described. Authors made the analysis approaches to predict emergencies, described existing methods for solving the problem of forecasting of emergency situations. Proposed algorithms of forecasting Emergencies combine the high accuracy within a given restricted resources was realized by a combination of intellectual and empirical statistical methods. A comparison of and recommendations for use depending on the required accuracy and available hardware resources were made.

Ключові слова: прогнозування виникнення надзвичайних ситуацій, аналіз надзвичайної ситуації на небезпечність, надзвичайні ситуації на залізничному транспорті, статистичні методи прогнозування, точка часо-простору  $t$ , генерація ситуацій, прогнозування на основі початкової ситуації, прогнозування на основі попереднього моменту часу з визначенням найімовірнішої ситуації, прогнозування на основі ситуації для попереднього значення параметру  $z$ .

### Вступ

При перевезенні небезпечних та легкозаймистих вантажів залізничним транспортом існує небезпека виникнення аварійних ситуацій, що ставлять під загрозу життя працівників залізниці та цивільного населення, а також може призвести до важких екологічних наслідків.

Для запобігання виникнення таких небезпечних ситуацій як пожежі, вибухи, викиди шкідливих речовин у навколишнє середовище, та для зменшення їх негативного впливу, використовуються кілька рівнів захисту, одним з яких є виконання вимог та рекомендацій нормативно-правових актів щодо дій у конкретних небезпечних ситуаціях, чи у ситуаціях, що з високою імовірністю можуть призвести до небезпечних. Але кількість таких рекомендацій є досить значною і для оперативної перевірки їх умов потрібно багато часу. Для вирішення цієї задачі доцільно використовувати обчислювальні потужності комп'ютера, так як він може проводити обчислення набагато швидше за людину [1].

### Актуальність

Оперативність виявлення небезпечної ситуації на залізниці є дуже важливою: чим раніше вдасться виявити небезпеку, тим більше часу буде у керівника ліквідаційного загону на прийняття рішення та виконання захисних дій, завчасне попередження про можливість виникнення небезпечної ситуації, що дасть можливість краще підготуватися до її можливих наслідків, або взагалі її уникнути. Варто наголосити, що попередження виникнення небезпечної ситуації є набагато кращим за найуспішнішу ліквідацію наслідків небезпечної ситуації як з економічної точки зору, так і з точки зору ставлення суспільства до безпеки перевезень на залізничному транспорті. В свою чергу, для вирішення задачі завчасного попередження про небезпечну ситуацію необхідно виконувати прогнозування стану системи і аналізувати його небезпечність.

Варто зазначити, що на сьогоднішній день задача передбачення виникнення небезпечних ситуацій на залізничному транспорті в Україні та прогнозування їх розвитку є невирішеною. У інших країнах, зокрема в Росії, існуючі системи прогнозування орієнтовані на локальні залізниці. З іншого боку, задачі прогнозування надзвичайних ситуацій вирішувалися для передбачення виникнення паводкових ситуацій у Карпатах.

Проте, діючий наказ Міністерства України з питань надзвичайних ситуацій «Про затвердження Методики прогнозування наслідків вилу (викиду) небезпечних хімічних речовин при аваріях на промислових об'єктах і транспорті» стосується передбачення наслідків можливої надзвичайної ситуації, а не прогнозування її виникнення.

Таким чином, можна зробити висновок про те, що задача прогнозування виникнення надзвичайних ситуацій на залізничному транспорті є актуальною.

### Мета дослідження

Метою статті є проведення аналізу існуючих підходів до прогнозування виникнення надзвичайних ситуацій на залізничному транспорті, що дозволить синтезувати надійний алгоритм прогнозування виникнення надзвичайних ситуацій на залізничному транспорті.

### Постановка задач

1. Проаналізувати існуючі підходи до прогнозування надзвичайних ситуацій на залізничному транспорті.

2. Синтезувати алгоритм прогнозування виникнення надзвичайних ситуацій на залізничному транспорті.

### **Аналіз існуючих методів прогнозування виникнення надзвичайних ситуацій**

Існує досить багато програмних продуктів, що передбачають виникнення небезпечних ситуацій у різних галузях. Проте програмних засобів, які спеціалізуються на передбаченні надзвичайних ситуацій на залізницях, обмаль, а на території України вони не набули популярності.

Російська компанія Integra-S випустила програмний продукт "Интегрированная система безопасности железных дорог России", який використовується на кількох російських локальних залізницях, зокрема на Куйбишевській, Забайкальській, Південно-Уральській залізницях. У цій системі використовуються статистичні методи прогнозування, що дає їй перевагу у наочності та простоті, але вводить обмеження на кількість параметрів, що враховуються при прогнозуванні [2].

Американський дослідник Lavette R. A. у 1977р. розробив програму прогнозування виникнення аварій для залізниці штату Флорида. Модель прогнозування аварій була розроблена з використанням статистичного алгоритму, а саме, алгоритму сходінкового регресійного аналізу та трьох нетрадиційних статистичних методів:

- аналіз графіків залишків, який показує, що перетворення було необхідним;
- спостереження взаємодії між незалежними змінними, в результаті якого використовуються фіктивні змінні, особливо для періоду доби з підсиленням трафіком;
- відхилення прогнозування аварій завдяки використанню логарифмів (логарифмічна регресія) і методу найменших квадратів. Недоліком методу є те, що він характеризується обмеженою точністю, що є особливо важливим під час прогнозування виникнення надзвичайних ситуацій [3].

Департамент транспорту США має власну модель передбачення виникнення небезпечних ситуацій, що базується на аналітичних розрахунках та використанні великої кількості статистичної інформації. Ця модель є багатоітераційною стосовно точності, проте в ній не враховані коефіцієнти захисту прогнозування та в залежності від типу залізниць використовується узагальнена модель засобу прогнозування [4], а не різні моделі для кожного з засобів прогнозування.

Таким чином, на сьогодні існують розробки, що лише частково вирішують задачу прогнозування виникнення надзвичайних ситуацій на залізницях та не можуть бути ефективно застосовані щодо надзвичайних ситуацій на залізницях в Україні.

Існує декілька підходів до прогнозування чинників, що впливають на формування небезпечних ситуацій на залізничному транспорті. Кожен з цих підходів має свої переваги і недоліки. Розглянемо їх більш детально.

Прогнозування на основі нейронних мереж. Використовується підхід, заснований на імітації діяльності людського мозку. Нейронні мережі здатні ефективно розв'язувати задачі класифікації та прогнозування. Але, як і людині, нейронній мережі потрібно навчання для того, щоб її прогноз був точний. Необхідність навчання передбачає велику кількість статистичних даних, що досить важко отримати. До переваг нейронних мереж можна віднести високу швидкість та універсальність підходу. Недоліками нейромережевого підходу є потреба у навчальній вибірці та непрозорість роботи, що знижує довіру до метода та значно ускладнює інтерпретацію механізму роботи нейронної мережі. Останній недолік є досить суттєвим, так як він ускладнює розробку системи і може призвести до появи помилок, які важко виявити, а однією з ключових вимог до створення системи прогнозування виникнення надзвичайних ситуацій є висока точність прогнозу [1].

Ще одним методом прогнозування є використання байєсовських мереж [5], які базуються на теоремі, що вносить доповнення до класичної теорії ймовірностей. Робота цього методу схожа на роботу нейронної мережі, проте його підґрунтя зовсім інше: як і нейронні, байєсовські мережі потребують навчальних даних для налаштування внутрішніх параметрів мережі, але у порівнянні з нейронними мережами, їх перевагою є прозорість роботи і можливість легко інтерпретувати результат роботи мережі. При цьому, навчання байєсовської мережі складніше за навчання нейронної мережі і потребує інтелектуального підходу, що є одним з основних її недоліків. Проте, за рахунок інтелектуального підходу можна скоротити розмір навчальної вибірки, що дуже важливо для даної предметної області, оскільки отримати велику навчальну вибірку досить проблематично.

Прогнозування на основі дерев рішень. Використовується схема прогнозування, заснована на теорії прийняття рішень [6]. На основі великої кількості правил, що являють собою вузли дерева, приймається рішення щодо значення прогнозу певного параметра системи. Перевагою використання дерев рішень є відсутність потреби у великій кількості навчальних даних, швидкість та прозорість роботи. Як вже зазначалось, отримати велику навчальну вибірку важко, тому відсутність потреби в ній є дуже важливим фактором у виборі метода вирішення задачі прогнозування виникнення надзвичайних

ситуацій. До недоліків підходу відносять відсутність гнучкості – для незначних змін у логіці роботи потрібно зробити значні зміни у архітектурі засобу прогнозування. Крім того, обмеження уяви людини погіршує загальне розуміння роботи засобу прогнозування та ускладнює його проектування, хоча людина може легко відслідкувати логіку прийняття конкретного рішення. Цей недолік є досить важливим, так як розробка системи прогнозування передбачає створення складного алгоритму з великою кількістю розгалужень. Відсутність гнучкості алгоритму прогнозування виникнення надзвичайних ситуацій, що базується на деревах прийняття рішень не є суттєвим недоліком, так як область дослідження майже не змінюється з часом.

Слід зауважити, що швидкодія описаних підходів є прийнятною (задача прогнозування не потребує миттєвої реакції системи прогнозування виникнення надзвичайних ситуацій) [7].

Існує також багато повністю статистичних методів прогнозування: метод найменших квадратів, лінійна регресивна модель, логістична регресивна модель [8]. Основним недоліком таких підходів є те, що вони розроблені для маловимірних систем, в той час, як система потяга є багатовимірною (існує багато факторів, що впливають на результат прогнозування) і передбачає наявність великої кількості статистичної інформації.

Отже, аналіз предметної області показав, що для розв'язання задачі прогнозування надзвичайних ситуацій на залізниці, в залежності від їх типу, може бути частково використано окремі статистичні алгоритми та алгоритми, що базуються на теорії штучного інтелекту.

Розробка алгоритму прогнозування виникнення надзвичайних ситуацій на залізничному транспорті

Для розв'язання задачі прогнозування виникнення надзвичайних ситуацій на залізничному транспорті з урахуванням виявлених в результаті аналізу предметної області недоліків сучасних рішень означеної проблеми, було розроблено алгоритм, що складається з двох етапів.

Перед безпосереднім описом етапів запропонованого алгоритму дамо означення таким поняттям.

Параметр системи потяга – характеристика системи, що враховується при прогнозуванні виникнення надзвичайної ситуації. Параметри системи потяга змінюються під дією внутрішніх і зовнішніх факторів.

Часо-простір  $\tau$  – параметр системи, що пов'язаний із географічною місцевістю та часом руху потяга за маршрутом.

Ситуація описується набором значень параметрів системи потяга, що однозначно визначає його стан в певній точці часо-простору  $\tau$ .

Отже, прогнозування виникнення надзвичайних ситуацій на залізниці передбачає:

- 1) Етап прогнозування значень параметрів системи потяга. Слід взяти до уваги, що всі параметри системи потяга при цьому діляться на дві групи:
  - Параметри, значення яких можуть бути прогнозованими або зовнішніми джерелами інформації (такими як загальнодоступні web-сервіси), або на основі статистичних даних. Прикладом таких параметрів можуть бути метеорологічні умови, такі як температура, вологість, хмарність, а також середня швидкість потягу на певній ділянці його шляху. До цієї ж групи відносяться параметри, значення яких не змінюються протягом всього маршруту (константні параметри).
  - Параметри, значення яких можуть бути прогнозованими тільки на основі початкового значення цих параметрів (на момент здійснення прогнозування) і/або інших параметрів системи. Прогнозування параметрів цієї групи здійснюється за допомогою байєсовської класифікації за умови наявності значної кількості статистичних даних. Якщо таких даних недостатньо, то доцільніше застосування методу, заснованого на деревах рішень, як такого, що потребує меншої кількості навчальних даних для ефективного використання [9]. Прикладом таких параметрів може бути тиск в середині залізничних цистерн, температура вантажу потяга тощо.
- 2) етап аналізу ситуації, згенерованої на основі прогнозованих параметрів, на предмет її небезпечності. Задачею цього етапу є аналіз прогнозованих параметрів системи потяга та визначення імовірності виникнення надзвичайної ситуації з метою оцінювання загальної імовірності виникнення надзвичайної ситуації. Етап включає у себе такі кроки:
  - Перевірка виконання формальних правил, що прописані у нормативно-правових актах, таких як інструкції, накази, рекомендації. Слід звернути увагу на те, що перевірка в даному випадку стосується лише значень окремо взятих параметрів і не враховує їх взаємозв'язаність.
  - Визначення та оцінювання імовірності виникнення надзвичайних ситуацій за допомогою інтелектуальних алгоритмів, що враховують також взаємовплив факторів, що

визначають параметри системи потяга, з метою підвищення ефективності управлінських рішень. В якості таких алгоритмів можуть виступати дерева прийняття рішень, нейронні мережі, байєсовські класифікатори, Серед яких перевага надається байєсовським класифікаторам, які характеризуються наочністю та добре працюючою евристикою.

Остаточна імовірність залежить від результату, отриманому як на першому, так і на другому кроках. При цьому значення, отримані на кожному з кроків запропонованого алгоритму, впливають на значення кінцевої оцінки імовірності по-різному. Перший крок задає "полярність" оцінки імовірності виникнення надзвичайної ситуації: значення кінцевої імовірності буде або дуже великим, або дуже малим. Результат, отриманий на другому кроці створює певне відхилення, від значень 1 або 0, отриманих на першому етапі. Значення відхилення залежить від «впевненості» інтелектуальних алгоритмів у отриманому результаті та від потужності множини статистичної інформації, що використовувалась цими методами.

Таким чином, запропонований алгоритм дозволяє вирішити задачу прогнозування виникнення надзвичайної ситуації на залізниці з високою точністю, що сприятиме підвищенню ефективності управлінських рішень керівників ліквідаційних загонів.

### Генерація спрогнозованих ситуацій

Розглянемо детальніше способи генерації можливих ситуацій (прогнозування) для подальшого їх аналізу. У даному випадку використовуються статистичні методи, а при відсутності достатньої кількості статистичної інформації – емпіричні. Для здійснення прогнозування необхідно мати "точку відліку" – стан, значення параметрів якого вважаються відомими – початковий стан (початкова ситуація). На основі значень параметрів цього стану будується множина можливих станів потяга.

Рух потягу за маршрутом можна подати у вигляді послідовного проходження заздалегідь відомого набору точок  $\tau$  з множини усіх відомих точок часо-простору  $T$ .

Введемо поняття базової ситуації (базового стану), як такої ситуації, що характеризується певною точкою часо-простору  $\tau$  та є основою для генерації ситуацій, що мають таке ж значення параметру  $\tau$ . Тоді для кожної такої точки  $\tau$  можна виконати прогнозування можливих ситуацій на основі різних початкових даних (див. рис. 1).

Розглянемо три найбільш загальних варіанти вибору базового стану при прогнозуванні параметрів ситуації:

- а) Прогнозування для всіх точок  $\tau$  здійснюється на основі початкової ситуації. Цей підхід має такі переваги: значення параметрів початкової ситуації точно відомі на момент прогнозування, що збільшує точність результатів, можливість гнучко регулювати кількість точок  $\tau$  з множини  $T$  в кожний момент. Недоліком цього методу є великі затрати ресурсів на прогнозування ситуацій, що відбуваються у кінці маршруту (так для прогнозування евристичними методами ситуації, що відбудеться через  $m$  одиниць значень часо-простору  $\tau$  після початку руху треба буде спрогнозувати значення ситуації, що відбудеться через  $(m-1)$  одиниць значень часо-простору  $\tau$  після початку руху, а це значення вже було спрогнозовано раніше).
- б) Прогнозування на основі ситуації для попереднього значення параметру  $\tau$ . В такому випадку значення параметрів для кожної ситуації обраховується тільки один раз, але при безпосередньому обрахуванні кількість ситуацій  $N$ , що потрібно прогнозувати, буде збільшуватись у показниковій залежності від потужності множини  $T$  ( $N = a^x$ , де  $a$  – кількість ситуацій для однієї точки,  $x$  – потужність множини значень часо-простору  $\tau$ ).
- в) Прогнозування на основі попереднього моменту часу з визначенням найімовірнішої ситуації. В такому випадку прогнозування для кожного моменту часу здійснюється в такий спосіб:
  - прогнозується базова ситуація з найбільш імовірними значеннями параметрів;
  - на основі базової прогнозуються інші ситуації зі значеннями параметрів, що відрізняються від значень параметрів базової ситуації на величину похибки. На основі базової ситуації формується базова ситуація для наступного моменту часу. Перевагами цього підходу є можливість гнучко вибирати кількість ситуацій в кожній точці часо-простору  $\tau$ , а також висока швидкодія процесу прогнозування. Проте, якщо параметри однієї з базових ситуацій спрогнозовані зі значною похибкою, то ця похибка передається у всі наступні покоління ситуацій, що призведе до накопичення похибки, та, відповідно, зменшення точності порівняно з розглянутими раніше підходами.

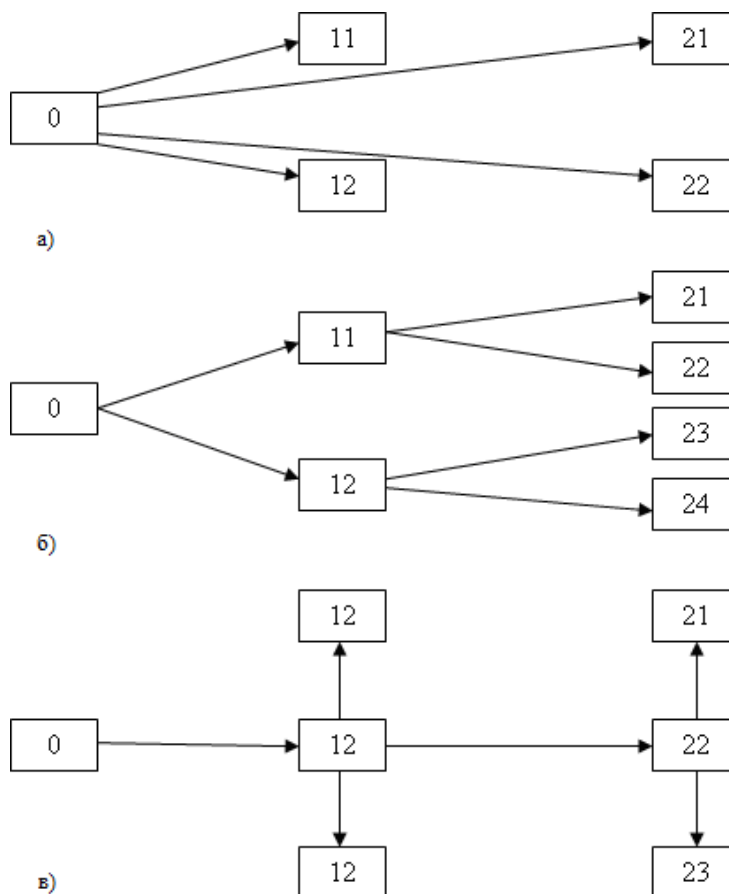


Рисунок 1 – Варіанти вибору базового стану для прогнозування ситуацій: а) на основі початкового стану; б) на основі попереднього стану без визначення базових станів в) на основі попереднього стану з визначення базових станів

Комбінуючи ці три варіанти можна створити велику кількість нових, кожен з яких буде мати компромісні параметри точності та працездатності. Особливої уваги заслуговує поєднання другого та третього варіантів, в якому обираються кілька базових ситуацій для кожного моменту часу. Вибір базових ситуацій і кількості їх нащадків залежить від оцінки імовірності настання ситуацій. Такий варіант вибору початкових даних для прогнозування ситуації має спільні риси з генетичними алгоритмами, але він має свої недоліки, зокрема, визначення оцінки імовірності настання ситуації. Для того, щоб визначити цю величину потрібно розробити досить складний алгоритм, який, знову ж таки, буде спиратися на певні усередненні значення параметрів (повернення до варіанту, представленого на рис. 1в).

Прогнозування можливих ситуацій здійснюється за рахунок статистичних даних за умови, що достатня кількість цих даних є в наявності. Якщо статистичні дані відсутні, то прогнозування відбувається на основі інтелектуальних емпіричних методів [10]. Якщо статистичні дані наявні, але в недостатній кількості, то застосовується комбінація статистичного і евристичного методів.

Розглянемо детальніше, як визначається кількість відомої статистичної інформації. Ситуацію можна ідентифікувати за кількома ознаками, а саме за положенням у просторі-часі, за погодними умовами, за речовиною, що перевозиться, та за кількістю цієї речовини. В залежності від того, за якою ознакою відбувалася ідентифікація, ситуації можна співставляти за різними ознаками (при ідентифікації за точкою у часо-просторі – можна порівнювати швидкість потяга, при ідентифікації за погодними умовами та речовиною, що перевозиться – можна порівнювати температуру та тиск речовини).

Максимальну кількість релевантних статистичних даних отримують організацією множини запитів за різними критеріями ідентифікації і подальшим об'єднанням результатів їх реалізації.

Ще однією важливою задачею є визначення потужності множини наявної статистичної інформації для встановлення співвідношення використання статистичних та емпіричних методів при прогнозуванні ситуацій. Розв'язати цю задачу можна за допомогою встановлення жорсткого співвідношення  $x = f(k)$ , де  $k$  – потужність множини статистичної інформації,  $x$  – коефіцієнт співвідношення використання статистичних та емпіричних методів для прогнозування ситуацій.

Недоліком цього розв'язку є те, що не враховується ступінь подібності ситуацій із статистичних даних з базовою ситуацією. Метод подолання цього недоліку – використання замість потужності множини

статистичної інформації  $k$  суми  $\sum_{i=1}^n p_i$ , де  $n$  – потужність множини статистичної інформації,  $p_i$  – подібність  $i$ -тої ситуації до базової.

Але в такому випадку з'являється нова підзадача – визначення ступеня подібності двох ситуацій. Одним з найбільш очевидних вирішень цієї задачі є використання інтегрального критерію, що визначається як сума подібностей ознак ситуацій. При цьому «внесок» різних ознак можна вважати однаковим, або вводити відповідний коефіцієнт значимості.

Отже, задача поєднання статистичних та емпіричних методів прогнозування є досить складною. Досконале її вирішення потребує кількість ресурсів, що має один порядок з ресурсами, необхідними для розробки всієї системи. Тому на початковому етапі доцільно зупинитися на простому розв'язку задачі поєднання методів прогнозування.

### Огляд методів статистичного прогнозування

Після ідентифікації множини статистичної інформації можна проводити прогнозування на основі статистичних даних. Для цього може бути використано декілька класичних статистичних методів.

Статистичні методи прогнозування – наукова і навчальна дисципліна, до основних завдань якої відносяться розробка, вивчення і застосування сучасних математико-статистичних методів прогнозування на основі об'єктивних даних; розвиток теорії і практики ймовірно-статистичного моделювання експертних методів прогнозування; методів прогнозування в умовах ризику і комбінованих методів прогнозування з використанням спільно економіко-математичних та економетричних (як математико-статистичних, так і експертних) моделей. Науковою базою статистичних методів прогнозування є прикладна статистика і теорія прийняття рішень [8].

Найпростіші методи відновлення використовуваних для прогнозування залежностей виходять із заданого часового ряду, тобто функції, визначеної в кінцевому числі точок на осі часу. Часовий ряд при цьому часто розглядається в рамках тієї чи іншої ймовірнісної моделі, вводяться інші фактори (незалежні змінні), крім часу, наприклад, маси значення температури. Часовий ряд може бути багатовимірним. Основні вирішувані завдання – інтерполяція і екстраполяція. Метод найменших квадратів у найпростішому випадку (лінійна функція від одного фактора) був розроблений К. Гаусом в 1794-1795 рр. Можуть виявитися корисними попередні перетворення змінних, наприклад, логарифмування. Найбільш часто використовується метод найменших квадратів при кількох чинниках. Метод найменших модулів, сплайни та інші методи екстраполяції застосовуються рідше, хоча їх статистичні властивості часто бувають кращими [8], тому їх застосування може бути доцільним, з огляду на підвищенні вимоги до точності при прогнозуванні виникнення надзвичайних ситуацій.

Оцінювання точності прогнозу (зокрема, за допомогою довірчих інтервалів) – необхідна частина процедури прогнозування. Зазвичай використовують ймовірно-статистичні моделі відновлення залежності, наприклад, будують найкращий прогноз за методом максимальної правдоподібності. При оцінці точності прогнозу слід враховувати малу потужність множини статистичних даних, доступних у області прогнозування виникнення надзвичайних ситуацій. Розроблено параметричні (звичайно на основі моделі нормальних помилок) та непараметричних оцінки точності прогнозу і довірчі межі для нього (на основі центральної граничної теореми теорії ймовірностей). Застосовуються також евристичні прийоми, які не засновані на ймовірно-статистичній теорії: метод ковзаючих середніх, метод експонентного згладжування [8].

Багатовимірна регресія, у тому числі з використанням непараметричних оцінок щільності розподілу – основний на даний момент статистичний апарат прогнозування. Нереалістичне припущення про нормальність похибок вимірів і відхилень від лінії (поверхні) регресії використовувати не обов'язково, проте для відмови від припущення нормальності необхідно використати інший математичний апарат, заснований на багатовимірній центральній граничній теоремі теорії ймовірностей, технології лінеаризації і спадкоємства збіжності [8]. Він дозволяє проводити точкове та інтервальне оцінювання параметрів, перевіряти значимість їхньої відмінності від 0 в непараметричній постановці, будувати довірчі межі для прогнозу.

Вельми важлива проблема перевірки адекватності моделі, а також проблема відбору факторів. Апріорний список факторів, що впливають на відгук, зазвичай досить великий, бажано його скоротити, і великий напрям сучасних досліджень присвячено методам відбору «інформативної множини ознак». Однак ця проблема поки ще остаточно не вирішена. Проявляються незвичайні ефекти. Так, встановлено, що зазвичай використовуються оцінки ступеня полінома, що мають у асимптотиці геометричний розподіл [8]. Перспективними є непараметричні методи оцінювання щільності ймовірності та їх застосування для відновлення регресійної залежності довільного вигляду. Найбільш загальні результати в цій галузі одержані за допомогою підходів статистики нечислових даних.

До сучасних статистичних методів прогнозування відносяться також моделі авторегресії, модель Боксу-Дженкінса, системи економетричних рівнянь, засновані як на параметричних, так і на непараметричних підходах [8].

Для встановлення можливості застосування асимптотичних результатів при кінцевих (т. н. «Малих») обсягах вибірок корисні комп'ютерні статистичні технології. Вони дозволяють також будувати різні імітаційні моделі. Відзначимо корисність методів розмноження даних (бутстреп-методів). Системи прогнозування з інтенсивним використанням комп'ютерів об'єднують різні методи прогнозування в рамках єдиного автоматизованого робочого місця прогнозіста.

Прогнозування на основі даних, що мають нечислових природу, зокрема, прогнозування якісних ознак засноване на результатах статистики нечислових даних. При прогнозуванні виникнення надзвичайних ситуацій на залізничному транспорті використовується велика кількість нечислових даних, тому розв'язок задачі прогнозування на основі нечислових даних має значну актуальність. Досить перспективним для прогнозування представляються регресійний аналіз на основі інтервальних даних, що включає, зокрема, визначення і розрахунок нотни та раціонального обсягу вибірки, а також регресійний аналіз нечітких даних[8]. Загальна постановка регресійного аналізу в рамках статистики нечислових даних та її окремі випадки – дисперсійний аналіз і дискримінантний аналіз (розпізнавання образів з вчителем), даючи єдиний підхід до формально різних методів, корисна при програмній реалізації сучасних статистичних методів прогнозування.

Основними процедурами обробки прогностичних експертних оцінок є перевірка узгодженості, кластер-аналіз і знаходження групової думки. Перевірка узгодженості думок експертів, виражених ранжувальниками, проводиться з допомогою коефіцієнтів рангової кореляції Кендалла і Спірмена, коефіцієнта рангової конкордації Кендалла і Бєбінгтона Сміта. Використовуються параметричні моделі парних порівнянь – Терстоуна, Бредлі-Геррі-Льюїс – і непараметричних моделі теорії люсіанів [11]. Корисна процедура узгодження ранжувань і класифікацій шляхом побудови узгоджуваних бінарних відносин. При відсутності узгодженості розбиття думок експертів на групи схожих між собою проводять методом найближчого сусіда або іншими методами кластерного аналізу (автоматичної побудови класифікацій, розпізнавання образів без вчителя). Класифікація люсіанів здійснюється на основі імовірісно-статистичної моделі.

Використовують різні методи побудови підсумкової думки комісії експертів. Своєю простотою виділяються методи середніх арифметичних і медіан рангів. Комп'ютерне моделювання [8] дозволило встановити ряд властивостей медіани Янош, яка рекомендується для використання в якості підсумкової (узагальненої, середньої) думки комісії експертів. Інтерпретація закону великих чисел для нечислових даних в термінах теорії експертного опитування така: підсумкова думка стійка, тобто мало змінюється при зміні складу експертної комісії, і при зростанні числа експертів наближається до «істини». При цьому відповідно до прийнятого в [4] підходу передбачається, що відповіді експертів можна розглядати як результати вимірювань з помилками, всі вони – незалежні рівномірно розподілені випадкові елементи, імовірність прийняття правильного значення зменшується з віддаленням від деякого центру – «істини», а загальне число експертів досить велике.

Численні приклади випадків, пов'язаних із соціальними, технологічними, економічними, політичними, екологічними та іншими ризиками. Саме в таких ситуаціях зазвичай і необхідне прогнозування. Відомі різні види критеріїв, які використовуються в теорії прийняття рішень в умовах невизначеності (ризик). Через суперечливість рішень, одержуваних за різними критеріями, очевидна необхідність застосування оцінок експертів.

У конкретних задачах прогнозування необхідно провести класифікацію ризиків, поставити завдання оцінювання конкретного ризику, провести структурування ризику, зокрема, побудувати дерева причин (в іншій термінології, дерева відмов) та дерева наслідків (дерева подій). Центральним завданням є побудова групових і узагальнених показників, наприклад, показників конкурентоспроможності і якості. Ризики необхідно враховувати при прогнозуванні економічних наслідків прийнятих рішень, поведінки споживачів і конкурентного оточення, зовнішньоекономічних умов і макроекономічного розвитку, екологічного стану навколишнього середовища, безпеки технологій, екологічної небезпеки промислових та інших об'єктів.

Сучасні комп'ютерні технології прогнозування засновані на інтерактивних методах статистичного прогнозування з використанням баз даних економетричних, імітаційних (у тому числі на основі застосування методу статистичних випробувань) та економіко-математичних моделей, що поєднують динамічні, експертні та математико-статистичні блоки.

На рисунку 2 наведено загальну схему алгоритму прогнозування виникнення надзвичайних ситуацій (НС).



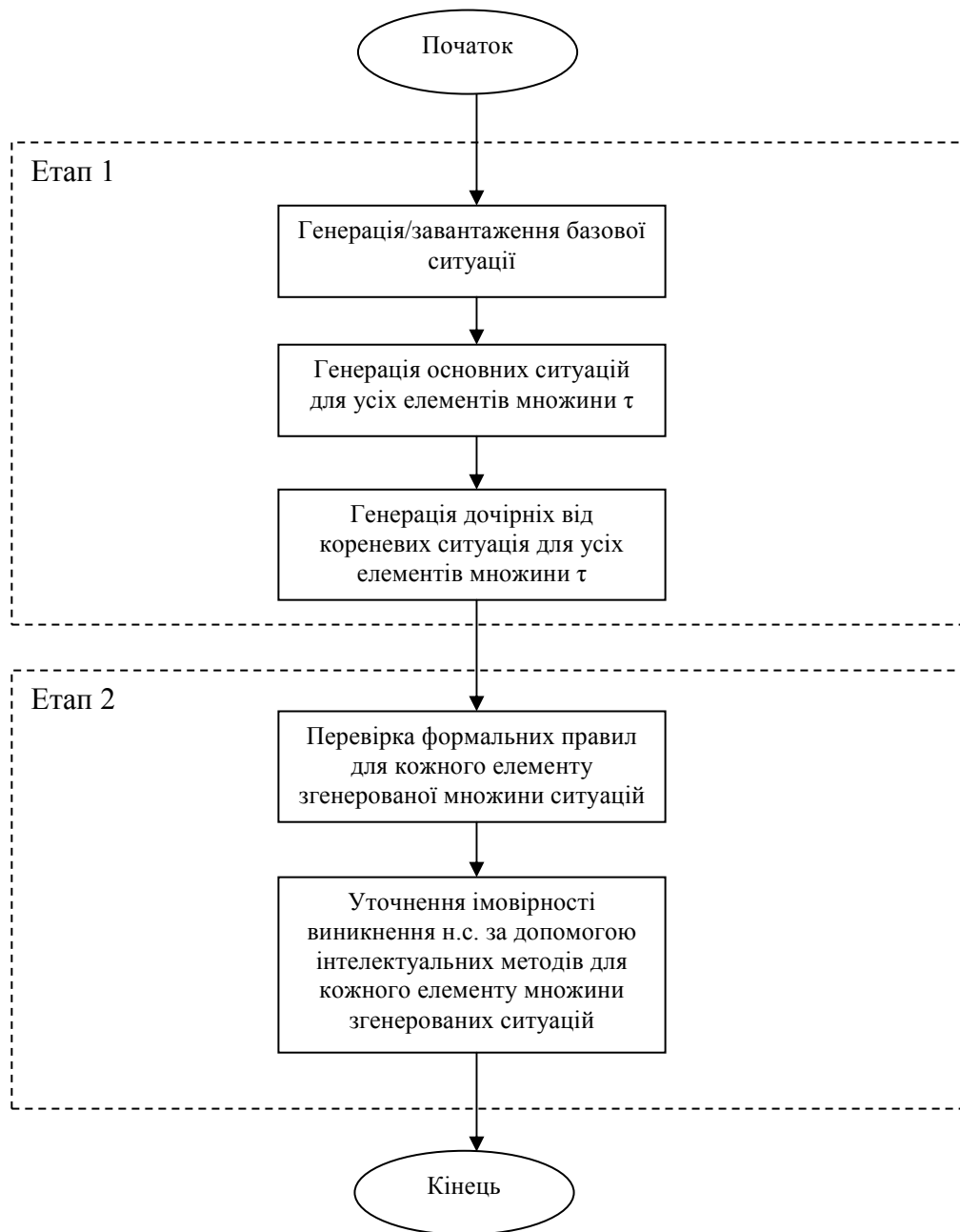


Рисунок 2 – Схема узагальненого алгоритму прогнозування виникнення НС

#### Аналіз ситуації

Після того, як отримано множину можливих ситуацій необхідно їх проаналізувати, щоб отримати інформацію про ступінь їх небезпечності. До етапу аналізу висуваються два критерії: точність і швидкодія. Точність потрібна, щоб підвищити загальну точність системи і зробити її придатною до використання в реальних умовах. Загальна точність системи також залежить і від швидкодії. Зменшення часу виконання і точності етапу аналізу дає можливість створити потужнішу множину потенційних ситуацій, що може підвищити загальну точність прогнозу, що генерується системою.

Як зазначалось у розділі «Розробка алгоритму прогнозування виникнення надзвичайних ситуацій на залізничному транспорті» алгоритм етапу аналізу містить у собі два кроки, результати яких виконання об'єднуються після завершення виконання. Перший крок – перевірка формальних правил. Другий – інтелектуальний аналіз ситуацій, що базується на статистичних даних.

Розглянемо детальніше перший крок – перевірку формальних правил. Існує декілька груп правил, що стосуються різних елементів рухомого складу потяга. Перерахуємо ці групи:

1. Правила, що стосуються потяга в цілому
2. Правила, що стосуються стану локомотива
3. Правила, що стосуються вантажів, що перевозяться

Деякі правила не є статичними, їхні умови залежать від місцевості, в якій знаходиться потяг(у межах населеного пункту або поза ним). Правила, що стосуються потяга в цілому накладають обмеження на швидкість руху, крен, інше. Зазвичай ці правила можна перевірити перед початком руху. Їх порушення означає, що маршрут та/або склад потяга були визначені невірно.

Правила, що стосуються локомотива регулюють максимальну швидкість, оберти двигуна, рівень масла, зношеність двигуна та інших складових частин. Ці правила залежать від типу локомотива та від маси потягу.

Правила, що стосуються вантажів, що перевозяться мають за основу перевірку фізичних параметрів вантажу, наприклад температури, вологості, тиску, концентрації речовини в повітрі, тощо.

### Висновки

Отже, на підставі проведеного аналізу підходів до прогнозування виникнення надзвичайних ситуацій було описано існуючі методи розв'язання задачі прогнозування виникнення надзвичайних ситуацій. Запропоновано алгоритми прогнозування надзвичайних ситуацій, що відповідають вимогам підвищеної точності в рамках заданої ресурсоемності за рахунок поєднання статистичних та емпіричних інтелектуальних методів. Проведено їх порівняння та надано рекомендації щодо застосування в залежності від необхідної точності та наявних апаратних ресурсів.

### Список літератури

1. Офіційний сайт компанії Integra-S [www.integra-s.com/projects/zjd/](http://www.integra-s.com/projects/zjd/) .
2. Реформування системи цивільного захисту населення [www.niss.gov.ua/Monitor/mart2009/3.htm](http://www.niss.gov.ua/Monitor/mart2009/3.htm) .
3. Railroad-Highway Grade Crossing Handbook [safety.fhwa.dot.gov/xings/com\\_roaduser/07010/sec03.htm](http://safety.fhwa.dot.gov/xings/com_roaduser/07010/sec03.htm) .
4. Soren Underlien Jensen. Passive railroad-highway grade crossings // Lyngby Research Park Scion-DTU. 2007. 19.
5. Байєсовські мережі [ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%B0%D0%B9%D0%B5%D1%81%D0%BE%D0%B2%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F\\_%D1%81%D0%B5%D1%82%D1%8C\\_%D0%B4%D0%BE%D0%B2%D0%B5%D1%80%D0%B8%D1%8F](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%B0%D0%B9%D0%B5%D1%81%D0%BE%D0%B2%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D1%81%D0%B5%D1%82%D1%8C_%D0%B4%D0%BE%D0%B2%D0%B5%D1%80%D0%B8%D1%8F) .
6. Дерева прийняття рішень <http://andriybuday.blogspot.com/2010/03/id3-45.html>
7. HNTB Corporation. Railroad-Highway Grade Crossing Handbook. TRAFFIC IMPACTS AT RICHLAND JUNCTION CROSSING // HNTB Corporation, 2005. 30.
8. Статистические методы прогнозирования [ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B3%D0%BD%D0%BE%D0%B7](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B3%D0%BD%D0%BE%D0%B7) .
9. Naive Bayes and Decision Trees for Function Tagging [www.aaai.org/Papers/FLAIRS/2007/Flairs07-118.pdf](http://www.aaai.org/Papers/FLAIRS/2007/Flairs07-118.pdf) .
10. Барсегян А. А., Купріянов М. С., Степаненко В. В., Холод І. І. Методи і моделі аналізу даних: OLAP і DATAM і NJN. // БХВ-Петербург, 2004. 336 с.
11. Статистичні методи прогнозування [revolution.allbest.ru/sociology/00104090.html](http://revolution.allbest.ru/sociology/00104090.html) .

### Відомості про авторів

Савчук Тамара Олександрівна – к.н.т., доцент, заступник завідувача кафедри Комп'ютерних наук, Україна, 21021, м. Вінниця, вул. Хмельницьке шосе, буд. 89/1, кв.81.

Козачук Андрій Валерійович – студент групи ІІС-06, Україна, 21021, м. Вінниця, вул. Константиновича, буд. 27, кв.93.