

**СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ**  
Навчально - науковий інститут транспорту і будівництва  
Кафедра логістичного управління та безпеки руху на транспорті

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА  
до кваліфікаційної випускної роботи**

освітній ступінь - магістр  
спеціальність - 273 - «Залізничний транспорт»  
спеціалізація «Інтероперабельність і безпека на залізничному транспорті»

на тему: «ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ  
СОРТУВАЛЬНИХ ГРОК З УРАХУВАННЯМ БЕЗПЕКИ  
РОЗФОРМУВАННЯ СОСТАВІВ»


Виконав  
Здобувач вищої освіти  
групи ІБЗТ-19зм

  
.....  
(підпис) Головашенко Я.О.

Керівник:

  
.....  
(підпис) проф. Круть О.А.

Завідувач кафедри:

  
.....  
(підпис) проф. Чернецька-Білецька Н.Б.

Рецензент:

  
.....  
(підпис) (ім'я та прізвище) Мєнськiй С.Р.

# 1. АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ФУНКЦІОНУВАННЯ СОРТУВАЛЬНИХ ГРОК

## 1.1. Аналіз основних аспектів теорії безпеки транспортних систем

Проблеми безпеки транспортних систем – об'єктів і процесів залізничного транспорту та безпеки руху поїздів, зокрема, завжди перебували під пильною увагою вчених і практиків. З часом методи рішення цих проблем змінювалися разом зі змінами вимог до транспортних систем та рівню їхньої безпеки, а також зі змінами умов вирішення їх.

Для традиційного підходу до забезпечення безпеки транспортних систем було характерно [16–21]:

- використання принципу абсолютної безпеки, відповідно до якого при створенні технічних засобів ставилися задачі повністю, тобто абсолютно, виключити відмови, що приводять до порушення безпеки транспортних систем;
- застосування, в основному, методів створення запасів механічної та електричної міцності елементів технічних засобів;
- формулювання завдань безпеки винятково в детермінованій формі;
- рішення задач безпеки лише в рамках створення окремих видів технічних засобів – шляху, рухомого складу, систем управління і т.д.

Крім того, безпека не розглядалася як особлива властивість транспортних систем, було відсутнє її загальноприйняте визначення і, як наслідок, не був установлений кількісний показник безпеки.

Таким чином, традиційний підхід до питань безпеки має ряд істотних недоліків, які не дозволяють раціонально вирішувати задачі безпеки. Ці недоліки наступні:

- принцип абсолютної безпеки виключає кількісне порівняння однакових транспортних систем, реалізованих за допомогою різних технічних засобів, за їх найважливішим показником – показником безпеки, оскільки порівнювати немає чого, раз всі технічні засоби забезпечують абсолютну безпеку руху;

– рішення задач безпеки лише в рамках окремих технічних засобів не дозволяє оцінити безпеку транспортної системи в цілому, а також стосовно споживача транспортних послуг, тобто до пасажира або відправника вантажу;

– відсутність єдиного кількісного показника безпеки транспортної системи виключає можливість нормування рівня його безпеки, оцінки достатності фактичного рівня безпеки.

Тому, розглядати вирішення питань забезпечення безпеки руху поїздів варто починати з визначення термінів, пов'язаних з безпекою процесу перевезень.

Залежно від виду об'єктів, безпека яких розглядається, і висунутих до неї вимог, існує безліч підходів до визначення поняття безпеки. Так, в [22] під безпекою розуміється відсутність загрози життю, здоров'ю людей, майну, тваринам, рослинам і довкіллю, що перевищує граничний ризик, а під безпекою руху – стан захищеності руху залізничного рухомого складу, який характеризується відсутністю граничного ризику виникнення транспортних подій і їх наслідків, які можуть заподіяти шкоду життю та здоров'ю громадян, навколишньому середовищу, майну фізичних або юридичних осіб.

В [23,24] введено поняття відповідальний технологічний процес, під яким розуміється технологічний процес, здатний у певних станах, наприклад, при відмовах технічних засобів, заподіяти величезну шкоду людям та іншим технологічним процесам. Тоді пропонується наступне визначення – безпека відповідального технологічного процесу (ВТП) – це властивість ВТП перебувати в безпечних станах за розрахунковий час. Для безпеки ВТП необхідно, щоб технологічна система, за допомогою якої реалізується ВТП і її складові мали певні властивості, а саме, властивості безпеки. Безпека технологічної системи – властивість технологічної системи перебувати в працездатному стані або в непрацездатному безпечному стані за розрахунковий час. Безпека технічного засобу, апаратного засобу та програмного засобу – це властивість відповідного об'єкта не мати небезпечних відмов за розрахунковий час, а безпека технічного персоналу – це його властивість не здійснювати помилок за розрахунковий час.

В [25] під терміном «транспортна безпека» розуміється «...стан захищеності життєво важливих інтересів особистості, суспільства та держави в сфері транспортного комплексу, споживачів транспортних послуг, об'єктів і суб'єктів транспортної інфраструктури від актів незаконного втручання, у тому числі від актів тероризму у всіх його формах».

В [26] транспортна безпека визначена як «...стан транспортної системи, що дозволяє забезпечувати національну безпеку і національні інтереси в області транспортної діяльності, стійкість транспортної діяльності, запобігання (мінімізація) шкоди здоров'ю та життю людей, збитку майна та навколишньому середовищу, загальнонаціонального економічного збитку при транспортній діяльності».

В [27] безпека руху та експлуатації залізничного транспорту визначена як стан захищеності процесу руху залізничного рухомого складу та самого залізничного рухомого складу, при якому відсутній неприпустимий ризик виникнення транспортних подій і їхніх наслідків, що тягнуть за собою заподіяння шкоди життю або здоров'ю громадян, шкоди навколишньому середовищу, майну фізичних або юридичних осіб. У цьому ж законі поняття «забезпечення безпеки руху та експлуатації залізничного транспорту» дається як система економічних, організаційно-правових, технічних і інших мір, що здійснюються органами державної влади, органами місцевого самоврядування, організаціями залізничного транспорту, іншими юридичними особами, а також фізичними особами та спрямованих на запобігання транспортних подій і зниження ризику заподіяння шкоди життю або здоров'ю громадян, шкоди навколишньому середовищу, майну фізичних або юридичних осіб. При цьому «транспортна подія» визначається як подія, що виникла при русі залізничного рухомого складу та за його участю, що спричинила шкоду життю або здоров'ю громадян, шкоду навколишньому середовищу, майну фізичних або юридичних осіб.

На основі вищевикладеного можна зробити висновок, що поняття безпеки руху на залізничному транспорті повинне бути комплексним і враховувати більш широке коло питань взаємодії людини-транспорту-навколишнього середовища.

Під безпекою руху варто розуміти таку синергію транспортного комплексу, соціально-економічної сфери та навколишнього природного середовища, що, взаємодіючи, забезпечує гармонійний їхній розвиток з мінімальним збитком при найменшому споживанні ресурсів. Інакше кажучи, під безпекою руху на залізничного транспорті слід розуміти таку сукупність станів надійності транспортних засобів, технічних об'єктів інфраструктури, людини, системи організаційного та нормативно-правового регулювання, яка при здійсненні перевізного процесу і виникаючих при цьому впливів забезпечує захищеність особистості та її здоров'я, схоронність перевезеного майна, транспортних засобів і інфраструктурних об'єктів з мінімальним ризиком.

Згідно [28] можна виділити п'ять основних принципів теорії безпеки транспортних систем, дотримання яких повинне багаторазово підвищити рівень безпеки.

Принцип 1: «Передумова до події відрізняється від події тільки результатом». Неправильні дії, небезпечні умови та аварії – це симптоми неблагополуччя в управлінні експлуатацією системи. Будь-якій аварії сприяють численні фактори, однак, як правило, завжди вибирається практично або один з явних факторів, або одна ненадійна дія, або одна небезпечна умова, після чого усуваються тільки ця умова або дія. Разом з тим теорія множинності причин стверджує, що необхідно виявити всі причини, в тому числі і сховані, які можуть бути причетні до виникнення аварії, для наступного їхнього усунення. Ретельне розслідування аварій дозволяє виявляти такі фактори, які можуть виявитися помилковими вже на вихідному ступені управління системою. Теорія припускає, що крім аварій по одній і тій же причині, можуть мати місце і інші, досить серйозні проблеми експлуатації системи: якість перевезень, підвищені експлуатаційні витрати, скарги клієнтури та інші, які у своїй основі можуть мати ту ж природу, що і аварія. Усуваючи причини одних організаційних проблем, можна усунути, таким чином, причини інших.

Принцип 2: «Виявлення ланцюга повторюваних подій». Узяті поодиноці, зовні не зв'язані між собою, ці події можуть здатися несуттєвими. Однак у

сукупності саме вони здатні вишикуватися в певну послідовність і привести до катастрофи. Таким чином, задача полягає в тому, щоб виявити ці події (причини) до того, як замкнеться остання ланка ланцюга (фінальна подія), тобто необхідно бачити повну картину (Рис. 1.1).

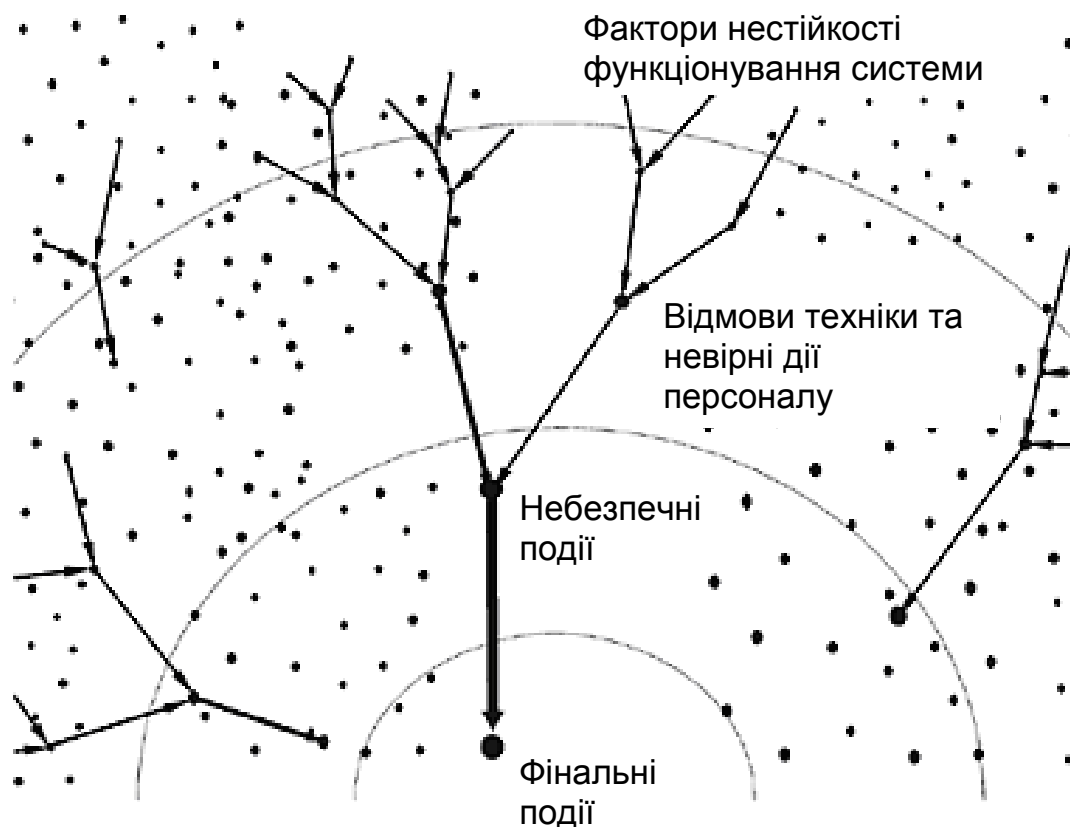


Рис. 1.1 – Виявлення ланцюга повторюваних подій

Теорія затверджує, що в принципі можна пророчити, які певні обставини можуть викликати серйозну аварію і відповідним чином їх обмежувати.

Принцип 3: «Безпекою варто управляти так саме, як і будь-якою іншою виробничою областю транспортної системи». Цей принцип є найбільш важливим. Забезпечення безпеки повинне входити в компетенцію керівництва (адміністрації) нарівні з їхніми виробничими функціями. Вони зобов'язані забезпечувати безпеку за допомогою постановки доступних задач при одночасному плануванні ланцюга, організації безперервного контролю. Відповідно до цього принципу безпека за своєю значимістю прирівнюється до факторів якості перевезень, їхньої вартості та

кількості. Цей принцип з'єднує фактор надійності із задачами управління транспортним процесом (або, точніше, перетворює задачі забезпечення безпеки в одну з функцій управління). Функції управління повинні включати область безпеки. Саме адміністрація повинна ставити основні задачі та цілі в області безпеки, здійснювати відповідне планування, організацію, ефективний контроль за виконанням розроблених заходів.

Особливістю даного ствердження є те, що безпека є і повинна бути лінійною функцією. У той час, як адміністрація повинна поставити належні задачі, здійснює планування, організацію та контроль, вона покладає відповідальність і обов'язок досягнення високих завершальних результатів в області безпеки на «лінійних» керівників. Термін «лінійний» у цьому випадку стосується не тільки адміністрації першого рівня, але й адміністрації всіх рівнів знизу доверху.

Принцип 4: «Ключем до ефективного здійснення лінійної безпеки є встановлення керівництвом персональної відповідальності за її забезпечення на окремих ділянках транспортної системи відповідно до технології її функціонування».

Концепція відповідальності має вирішальне значення, і порушення цього правила є серйозним недоглядом при забезпеченні безпеки.

Як правило, у тих випадках, коли на людину не покладають певні обов'язки в області забезпечення безпеки, вона і не почуває себе відповідальною за їхнє виконання, тобто головну увагу вона буде приділяти тим питанням, по яким вона в першу чергу повинна відзвітувати перед адміністрацією.

Принцип 5: «Задачі служби безпеки складаються у визначенні та оцінці експлуатаційних помилок на лінії, які створюють можливість виникнення аварій».

Цим принципом затверджується, що для успішного виконання задачі з розслідування аварії фахівці з безпеки повинні виявляти не тільки помилки операторів, але й помилки в методах управління адміністрації або в самій системі управління, які допускають виникнення аварій, виявляти потенційно слабкі місця

в існуючій технічній політиці, директивах, цілях, практиці приваблюваних засобів та інше.

Таким чином, відповідно до цієї концепції фахівці з безпеки повинні повною мірою виявити недоліки в системі управління процесом перевезень, а не обмежуватися вивченням тільки неправильних дій або недостатніх умов.

Відповідно до теорії імовірності, чим меншою є імовірність виникнення обставин, що загрожують безпеці руху, тобто чим у більшому ступені вона прагне до нуля, тим більшою стає ступінь забезпечення безпеки. Відповідно до цієї ж теорії, стійкість відносно частоти може бути пояснена тільки як прояв деякої об'єктивної властивості випадкової події, що полягає в існуванні визначеного ступеня її можливості. Таким чином, ступінь об'єктивної можливості аварії як випадкової події можна не тільки прогнозувати, причому з великою часткою точності, але і вимірювати числом – імовірністю аварії [29].

## 1.2. Огляд та аналіз існуючих методів оцінки рівня безпеки руху на залізничному транспорті і на сортувальній гірці зокрема

Однією із самих істотних і пріоритетних проблем забезпечення стабільної роботи транспортного комплексу є задача забезпечення безпеки руху. Незважаючи на багаточисельні дослідження в області забезпечення безпеки руху в транспортних системах, у даний час ще не вироблена єдина теорія безпеки.

Для прийняття якісних рішень з управління безпекою і для прийняття відповідних управляючих впливів необхідно, у першу чергу, оцінити рівень безпеки руху.

В даний час існує багато методів та критеріїв оцінки рівня безпеки руху на залізничному транспорті та на сортувальній гірці зокрема. Донедавна безпека на залізницях оцінювалася, головним чином, за допомогою якісних показників [30, 31].



Однак за останні роки істотно змінився підхід до проблеми оцінки безпеки. Намітився перехід до кількісної оцінки рівня безпеки на основі імовірних і статистичних показників як цілісній проблемі управління безпекою.

У розвиток і вирішення питань безпеки руху на залізничному транспорті взагалі і на сортувальних гірках зокрема внесли великий вклад такі вчені та практики: В.М. Акулінічев, М.М. Бабаєв, В.І. Бобровський, А.Б. Бойнік, Т.В. Бутько, М.І. Данько, О.М. Долаберідзе, І.В. Жуковицький, Г. І. Загарій, Д.М. Козаченко, Б.О. Кривошей, В.А. Лазарян, В.М. Лисенков, Д.В. Ломотько, В.К. Мироненко, М.К. Модін, В.І. Мойсеєнко, Ю.А. Муха, Є.В. Нагорний, В.Я. Негрей, О.М. Огар, В.М. Самсонкін та інші.

У [32] для визначення рівня безпеки руху на залізничному транспорті використовується поняття надійності. Надійність – це властивість будь-якого промислового виробу зберігати свої характеристики у визначених межах при його використанні. Надійність (безвідмовність) залізничного транспорту (як наслідок надійності функціонування пристроїв) – це безперешкодне просування поїздів по дільницям і станціям, забезпечення нормального ритму переробки вагонопотоків на сортувальних та інших станціях і при маневрових пересуваннях.

У даному випадку під відмовами розуміється вихід з ладу пристроїв, що викликає порушення умов безпеки руху, аварійні ситуації. Виходячи з цього, рівень безпеки руху на транспорті виражається формулою:

$$P = 1 - \frac{n(t)}{M(t)},$$

де  $n(t)$  - кількість відмовлень у часі;

$M(t)$  - кількість досліджуваних об'єктів.

Таким чином, при  $P = 1$  забезпечується повна безпека. Якщо ж  $P < 1$ , безпека руху не забезпечується.

У [16,33] рівень безпеки визначається також через надійність, але показник надійності визначається виходячи з імовірних і статистичних передумов. Статистичні визначення показників надійності в більшому ступені відповідають практичному розрахунку на основі статистичних вибірок і спостережень. При

необмеженому збільшенні числа спостережень статистичні значення показників надійності наближаються до імовірностей.

У [34] показники, що характеризують рівень безпеки руху в поїзній і маневровій роботі, пропонується розділяти на дві групи: абсолютні (кількісні) і відносні. До першої групи відносяться: загальне число катастроф; загальне число аварій; число сходів рухомого состава в пасажирських поїздах; число сходів рухомого состава у вантажних поїздах; число випадків браку в поїзній і маневровій роботі (у тому числі особливих); загинуло людей (усього), у тому числі пасажирів; травмовано людей (усього), у тому числі пасажирів; ушкоджено вагонів, у тому числі виключено з інвентарю; ушкоджено локомотивів до ступеня виключення їх з інвентарю; ушкоджено локомотивів; повна перерва руху в годинниках. До другої групи відносяться показники, що характеризують зіставлення кількісних показників за періоди, що аналізуються, наприклад, за ряд років, за місяці однакової назви різного років.

У [35] для визначення рівня безпеки руху при перевезенні небезпечних вантажів пропонується використовувати інтенсивності виникнення подій, що доводяться на одну годину поїздки поїзду по  $m$ -й залізниці

$$\lambda_{B_i|A_j}^m = \mu_m \cdot \lambda_{B_i|A_j}^l,$$

де  $\mu_m$  - нормуємий інтегральний показник безпеки руху по  $m$ -й залізниці, що визначається за формулою

$$\mu_m = M \bar{g}_m / \sum_{m=1}^M \bar{g}_m,$$

де  $\bar{g}_m = n_m^k / q_m^k$  – середнє значення інтегрального показника безпеки руху для  $m$ -ї залізниці за період, що аналізується;

$n_m^k$  – кількість випадків браку на  $m$ -й залізниці за  $k$  років,

$q_m^k$  – об'єм роботи на  $m$ -й залізниці за  $k$  років (млрд. т-км брутто),

$M$  – кількість залізниць.

Тоді еколого-економічну оцінку аварійного ризику виникнення події  $B_i$  при

перевезенні небезпечних вантажів по заданому маршруту доцільно визначати за формулою

$$R_M^{\exists}(B_i) = R_M(B_i) \cdot \sum_{K=1}^3 P_n(B_i) \cdot Y_n(B_i),$$

де  $P_n(B_i)$  – імовірність реалізації  $n$ -го ( $n=1,2,3$ ) сценарію розвитку аварійної події, що кваліфікується як подія  $B_i$ , для вантажних поїздів, що перевозять небезпечні вантажі;

$Y_n(B_i)$  – екологічні втрати від реалізації  $n$ -го сценарію аварійної події.

У [36] розроблено метод оцінки якості інтервального регулювання швидкості скочування відчепів, що ґрунтується на оцінці ризиків їх нерозділення на стрілках і дозволяє визначати раціональні режими гальмування відчепів в умовах дії випадкових факторів.

У [37] в запропонованій методиці контролю і оцінки рівня безпеки руху вводиться поняття міри ризику виникнення аварійної ситуації. У зв'язку з цим запропонована шкала станів безпеки, що враховує як знижений, так і підвищений рівні надійності.

У [17,38,39,40,41] оцінка рівня безпеки проводиться виключно на основі оцінки безпеки та надійності технічних засобів комплексної механізації на сортувальних гірках.

Однак, наведені методи оцінки рівня безпеки руху мають ряд недоліків: відсутність диференціювання по факторам, причинам, що впливають на безпеку руху; неможливість розкласти загальну інтегровану імовірність на складові частини – імовірності причин виникнення порушень; не проводиться кількісна оцінка ризику виникнення порушень безпеки функціонування сортувальної гірки; методи оцінки рівня безпеки носять частковий характер, тобто виконується облік обмеженого числа факторів, що впливають на безпеку руху – враховуються кількість відмовлень у часі, кількість досліджуваних об'єктів, число пропущених без відмовлення потягів, загальне число потягів, число затриманих потягів протягом визначеного часу, тобто, в основному, враховується технічний фактор, але не враховуються такі важливі фактори як людський фактор, вплив

зовнішнього середовища, зовнішні заздалегідь непередбачені випадкові впливи, що значно впливають на рівень безпеки руху, через що немає можливості виділити найбільше слабкі ланки в системі забезпечення безпеки руху, раціонально розподіляти ресурси для підвищення безпеки перевезень.

Останнім часом, у зв'язку із широким поширенням комп'ютерної техніки на всіх рівнях управління, намітився перехід до здійснення оцінки безпеки руху на основі комп'ютерних інформаційних технологій [42–45].

Одним із способів обробки інформації є статистичний аналіз усієї зібраної інформації. Статистичний аналіз інформації, який описує поведінку складної системи, що зазнає випадкові впливи, з подальшим розрахунком імовірностей виникнення небезпечних подій, дозволяє виділити основні фактори, що визначають основні характеристики поведінки системи [46,47]. За допомогою статистичного аналізу особа, що приймає рішення, може частіше робити правильні висновки або, принаймні, визначити наскільки велика небезпека помилитися при ухваленні рішення.

У [48,49] для кількісної оцінки безпеки руху на залізничному транспорті пропонується метод статистичної закономірності в управлінні безпекою руху. Сутність методу полягає в комплексному аналізі і постійній актуалізації закономірностей у статистиці безпеки руху залізничного транспорту як системи. Оцінка стану системи виконується шляхом порівняння параметра контролю з нормою поведінки системи. Якщо параметр контролю відповідає цій нормі, говорять про нормальний стан. Постійна невідповідність нормі говорить про тенденцію до поліпшення або погіршенню стану.

У [23] в якості статистичних методів оцінки рівня безпеки руху пропонується використовувати апостеріорний і апіорний методи оцінки. Апостеріорний метод оцінки безпеки будується на статистичних функціях розподілу, значення яких визначаються на основі аналізу статистичних даних, одержуваних у результаті експерименту.

У залежності від місць проведення експерименти підрозділяються на лабораторні й експлуатаційні. Лабораторні експерименти проводяться на

спеціальних стендах в іспитових лабораторіях, а експлуатаційні – у місцях експлуатації технічних засобів. У силу економічних чи інших обмежень прагнуть скоротити обсяг іспитів. Однак для одержання об'єктивних статистичних даних обсяг іспитів повинний бути проте досить повним. У математичній статистиці залежність ступеня відповідності між статистичною і істиною функціями розподілу випадкової величини від числа досвідів виражається теоремою Глівенко. З теореми випливає, що чим повніше іспит, тим більша відповідність досягається між статистичною і істиною функціями розподілу.

Під апріорним розуміється аналіз, при якому використовується апріорна вихідна інформація про аналізоване явище. Апріорна інформація виходить не в результаті експерименту, а на основі суджень, висловлюваних фахівцями – експертами. Необхідність у використанні апріорної інформації виникає тоді, коли існує неповна і недостатньо достовірна статична інформація про аналізоване явище; потрібно зробити прогноз про розвиток аналізованого явища в майбутньому; потрібно врахувати якісні характеристики умов реалізації аналізованого явища.

У [50,51] оцінка стану пристроїв сортувальної гірки, що критично впливають на безпеку, якість і хід розпуску проводиться з використанням засобів інтелектуального аналізу даних на основі системи підтримки прийняття рішень для персоналу автоматизованої сортувальної гірки в складі комплексу діагностики та контролю станційних пристроїв зони гіркової автоматичної централізації.

Таким чином, на цей час виявляється відсутнім єдиний метод оцінки рівня безпеки функціонування сортувального процесу. Для того, щоб управління безпекою було ефективним необхідно, щоб не тільки всі показники, що характеризують безпеку, були кількісно оцінені, але і усі фактори, що впливають на безпеку руху, також необхідно кількісно оцінити, завдяки чому з'явиться можливість оцінки зміни рівня безпеки в залежності від прийнятих управляючих впливів.

У зв'язку з вищезазначеним, доцільним уявляється використання логіко-імовірнісного метода (ЛІМ) дослідження безпеки функціонування складних технічних систем. Математична сутність ЛІМ полягає у використанні функцій алгебри логіки для аналітичного запису умов виникнення небезпечної ситуації та розробці способів переходу від функцій алгебри логіки до імовірнісних функцій, що об'єктивно відображають ступінь небезпеки [52,53,54].

В даний час математична модель безпеки сортувального процесу не існує, а отже аналітичних розрахунків теж. Звідси не можливе ефективне управління рівнем безпеки через:

- неповний аналіз глибинних факторів порушення безпеки;
- прийняття рішень на основі неповної інформації;
- неможливість кількісної оцінки ефективності прийнятих рішень;
- неможливість науково-обґрунтованих інвестицій на проведення науково-дослідних робіт, зв'язаних з безпекою руху.

Час диктує створення методів і засобів кількісної оперативної оцінки безпеки і управління нею. Розробка методів і засобів кількісної оперативної оцінки безпеки і управління нею – складна задача, що вимагає системного підходу, тобто стратегії наукового пошуку упорядкування і логічної організації даних і інформації у виді моделей, що супроводжуються строгою перевіркою та аналізом самих моделей для їхньої верифікації та наступного поліпшення. Рішення зазначеної задачі можливо при розбивці її на наступні етапи:

- системний аналіз проблеми безпеки;
- розробка і дослідження системи спостереження за рівнем безпеки;
- розробка і побудова перспективної системи управління безпекою на сортувальній гірці.

### 1.3. Огляд та аналіз основних аспектів управління ризиками в системі залізничних перевезень і на сортувальній гірці зокрема

Останнім часом особлива увага стала приділятися становленню нової науки, що називається ризикологія. Ризикологія своїм народженням зобов'язана тим

глобальним змінам, які переживає людство в цей час. Виникнення ризикології пов'язане з величезною потребою аналізу, діагностування, прогнозування, програмування й планування ризиків як у виробництві, так і в звичайному житті. Особливу роль ризикологія грає в областях діяльності пов'язаних з організацією, побудовою та функціонуванням систем безпеки об'єктів транспортної галузі.

Аналіз опублікованих робіт свідчить про те, що питання управління ризиками як підприємств так і технічних систем в тому або іншому ступені одержало відбиття в порівняно невеликій кількості наукових праць. Серед дослідників-теоретиків, що внесли внесок у розвиток теорії ризику, можна виділити таких вчених, як А. П. Альгін, Дж. М. Кейнс, А. Маршалл, О. Моргенштейн, Ф. Найт, Дж. Нейман, Б. А. Райзберг, В. В. Черкасов.

А. Маршаллом одним з перших було розглянуто проблеми виникнення економічних ризиків, його праці поклали початок неокласичної теорії ризику [55]. Дж. М. Кейнс у [56] увів у науку поняття «схильність до ризику», характеризуючи інвестиційні та підприємницькі ризики, одним з перших приступив до класифікації ризиків.

У роботі Ф. Найта «Ризик, невизначеність і прибуток» [57] вперше була висловлена думка про ризик як кількісній мері невизначеності. У працях Дж. фон Неймана та О. Моргенштерна [58] також були розроблені питання теорії ризику, що відображають взаємозв'язок понять «невизначеність» і «ризик», дано імовірно-математичне трактування ризику.

Питаннями ризику в управлінській діяльності, у тому числі, організаційно-методичним основам зниження управлінських ризиків присвячена монографія В. В. Черкасова [59].

У розвиток прикладних концепцій ризику свій внесок внесли Т. Боллерслев, К. Гіаннопулос, М. В. Грачова, Г. Гуптон, П. Зангарі, В. Є. Кузнецов, М. А. Рогов, В. О. Чернов, Г. В. Чернова, Р. Енгль.

Питанням ризику та надійності в технічних системах присвячена робота Э. Дж. Хенли і Х. Кумамото «Надійність технічних систем і оцінка ризику» [60].

Аналіз опублікованих робіт в області управління ризиком показує, що більшість джерел присвячена аналізу окремо взятих проблем ризику, у зв'язку із чим залишається цілий ряд невіршених питань, пов'язаних з розробкою концепції, методів і способів управління ризиками.

Існує ряд трактувань поняття «ризик». Наприклад, ризик у страховій діяльності використовується для позначення предмета страхування (повітряного судна або життя пасажирів), страхової суми (збитку в грошовому вираженні) або ж як збірний термін для позначення небажаних або невизначених подій [61]. Економісти і статисти розуміють ризик як міру імовірності наслідків, які можуть виявитися в майбутньому [62]. У психологічному словнику ризик трактується як дія, спрямована на привабливу мету, досягнення якої сполучено з елементами небезпеки, погрозою втрати, неуспіху [63]. Можливе визначення ризику як характеристики діяльності, що свідчить про невизначеність її результату та можливих несприятливих наслідків у випадку неуспіху, або як міри неблагополуччя при неуспіху в діяльності, обумовленої сполученням імовірності та величини несприятливих наслідків [64].

В [65] під ризиком розуміється очікувана частота або імовірність виникнення небезпек певного класу, або ж розмір можливого збитку (втрат, шкоди) від небажаної події, або ж деяку комбінацію цих величин.

Застосування поняття ризику таким чином, дозволяє переводити небезпеку в розряд вимірюваних категорій. Ризик, фактично, є міра небезпеки.

В [66] під терміном «ризик» розуміють векторну, тобто багатокomпонентну величину, що характеризується збитком від впливу того або іншого небезпечного фактора, імовірністю виникнення фактора, що розглядається та невизначеністю у величинах як збитку, так і імовірності.

В [56] ризик розглядається як імовірність людських і матеріальних втрат або пошкоджень.

Згідно з [22] ризик транспортної події визначається, як імовірність виникнення потенційно можливої транспортної події та пов'язаних з нею збитків під час виконання поїзної чи маневрової роботи.



В [67] під ризиком розуміється кількісна міра небезпеки, що враховує імовірність виникнення негативних наслідків від здійснення господарської діяльності та можливий розмір втрат від них.

Загальним у всіх наведених визначеннях є те, що ризик включає імовірність появи небажаної події або виникнення несприятливого стану. Відповідно до сучасних поглядів ризик звичайно розуміється як імовірнісна міра виникнення небезпечних техногенних або природних явищ, а також характеристика розміру нанесеного при цьому соціального, економічного, екологічного та іншого видів збитку і шкоди.

Застосування поняття ризик дозволяє переводити небезпеку в розряд вимірюваних категорій. Ризик, фактично, є міра небезпеки. Всі перераховані (або подібні) інтерпретації терміна «ризик» використовуються в цей час при аналізі небезпек і управління безпекою (ризиком) технологічних систем і процесів. Виникнення небезпечних ситуацій є результатом прояву певної сукупності факторів ризику, породжуваних тими або іншими джерелами, обставинами, умовами.

Останнім часом з'явилося розуміння того, що ризиками можливо і необхідно управляти, тобто виникла необхідність у створенні системи оцінки та управління ризиками.

Для успішного управління ризиками необхідно їх упорядкувати за допомогою системи класифікації. Класифікація ризиків означає систематизацію множини ризиків на підставі якихось ознак і критеріїв, що дозволяє об'єднати підмножини ризиків у більш загальні поняття. Як критерії класифікації ризиків пропонується використовувати сферу та область виникнення ризику. Відповідно до цих критеріїв ризику можна підрозділити на такі (Рис. 1.2).

## **2.2. Розроблення математичної моделі управління безпекою розформування составів на гірках**

Розформування составів на гірках є дуже складним процесом і потребує жорсткого виконання умов безпеки функціонування сортувальних пристроїв. Наслідками невиконання вказаних умов є виникнення небезпечних ситуацій або зниження ефективності технологічного процесу.

Особливістю управління розформуванням составів на більшості сортувальних гірок країн СНД є надмірна експлуатація «людського фактору». Навіть на автоматизованих сортувальних гірках пріоритетним є «ручне» управління, що пов'язано з недоліками пристроїв гіркової автоматики, які експлуатуються (збої систем, відмови датчиків тощо). При цьому сам оператор гальмової позиції не завжди достатньо повно може оцінити ситуацію за короткий проміжок часу та сформувати ефективні і безпечні параметри керування. Наведене вище накладає суттєвий відбиток на рівень безпеки сортувального процесу.

На даний момент сформувалося декілька напрямків вирішення задачі ефективного управління безпекою розформування составів на гірках, основним з яких є застосування новітніх мікропроцесорних засобів обчислювальної техніки, що здатні вирішувати складні інформаційно-плануючі завдання в нових та існуючих комплексних системах автоматизованого управління розформуванням составів. Вказані засоби спроможні забезпечити більш високий рівень реакції на зміну ситуації, швидко її проаналізувати та обрати найбільш безпечний режим управління.

Як показує досвід експлуатації автоматизованих сортувальних гірок, що обладнані сучасними комплексними системами управління сортувальним процесом, використання мікропроцесорних засобів обчислювальної техніки дозволяє звести до мінімуму вплив людини на хід вказаного процесу. Тим не менше цей вплив не виключається.

Отже, удосконалення існуючих або розробка нових методів управління безпекою розформування составів є однією з головних науково-прикладних задач галузі.

Раціональне управління безпекою розформування составів пропонується визначати за умовою мінімізації ризиків  $R$ , що можуть мати місце на даному технічному засобі. При цьому вказані ризики доцільно представити як суму двох складових – ризиків, пов'язаних з невірними діями оперативного персоналу  $R_{OP}$ , і можливих ризиків за інших причин  $R_{IP}$ .

Цільову функцію можна записати у наступному аналітичному виді

$$R = R_{OP} + R_{IP} = C_{ЛНС} \cdot (P_{OP} (U_{ППГ}^{OP} (N_{ВКС}^{OP}), t_{np}^{HC} (N_{ВКС}^{OP}), U_{ПП}^{OP} (N_{ВКС}^{OP})) + P_{IP} (N_{ВКС}^{CC})) \rightarrow R_{дон.}, \quad (2.1)$$

де  $C_{ЛНС}$  – середня вартість ліквідації наслідків виникнення небезпечної ситуації, грн;  $P_{OP}$  – ймовірність виникнення небезпечної ситуації за причиною невірних дій оперативного персоналу;  $U_{ППГ}^{OP}$  – рівень реалізації рекомендованих параметрів гальмування оперативним персоналом гірки;  $t_{np}^{HC}$  – швидкість прийняття оперативним персоналом правильних рішень в нестандартних ситуаціях, с;  $U_{ПП}^{OP}$  – рівень професійної підготовки оперативного персоналу;  $N_{ВКС}^{OP}$  – номер впливу керівництва станції на ефективність дій оперативного персоналу;  $P_{IP}$  – ймовірність виникнення небезпечної ситуації за інших причин;  $N_{ВКС}^{CC}$  – номер впливу керівництва станції на ефективність дій суміжних служб (ПЧ, ШЧ, ВЧ, ЕЧ);  $R_{дон.}$  – допустимі ризики, що можуть мати місце на сортувальній гірці, грн.

Середня вартість ліквідації наслідків виникнення небезпечної ситуації може бути визначена шляхом усереднення витрат, пов'язаних з усуненням вказаних

наслідків. На мережі залізниць України  $C_{ЛНС}$  в 2018 році в середньому склала 10 тис. грн.

Ймовірність виникнення небезпечної ситуації за причиною невірних дій оперативного персоналу визначається як відношення числа відчепів, регулювання швидкості скочування яких призвело до порушення безпеки технологічного процесу сортувальної гірки  $n_{відч.}^{OP}$ , до загального числа перероблених відчепів  $n_{відч.}$  за проміжок часу  $[0, T]$ .

Рівень реалізації рекомендованих параметрів гальмування оперативним персоналом гірки є функцією середньостатистичної похибки реалізації вказаних параметрів.

Рекомендовані параметри гальмування визначаються системою підтримки прийняття рішень для оперативного персоналу гірки, що представляє собою програмне забезпечення, яке формує рекомендовані параметри гальмування перед розпуском кожного состава. Математичну модель визначення рекомендованих параметрів керування вагонними уповільнювачами наведено у підрозділі 2.3.

Слід зазначити, що  $U_{PII}^{OP}$  і  $t_{np}^{HC}$  залежать від багатьох факторів, серед яких найбільш вагомим є психофізичний стан оператора. На підставі аналізу вказаного стану за встановлений період часу керівництво станції може застосовувати певні заходи щодо підвищення ефективності його дій. Тому  $U_{PII}^{OP}$  і  $t_{np}^{HC}$  можна представити залежними від  $N_{ВКС}^{OP}$ .

Рівень професійної підготовки оперативного персоналу можна визначити шляхом тестування знань за відповідними робочими спеціальностями.

Ймовірність виникнення небезпечної ситуації за інших причин визначається як відношення числа відчепів, в процесі скочування яких виникла небезпечна ситуація не за вини оперативного персоналу  $n_{відч.}^{OP}$  (відмови елементів колії, рухомого складу, вагонних уповільнювачів тощо), до загального числа перероблених відчепів за проміжок часу  $[0, T]$ .

Отже, цільову функцію (2.1) можна представити у наступному виді

$$R = R_{OP} + R_{III} =$$

$$= \frac{C_{ЛНС}}{n_{відч.}} \cdot \left( n_{відч.}^{OP} \left( U_{PII}^{OP} \left( N_{BKC}^{OP} \right), t_{np}^{HC} \left( N_{BKC}^{OP} \right), U_{III}^{OP} \left( N_{BKC}^{OP} \right) \right) + n_{відч.}^{III} \left( N_{BKC}^{CC} \right) \right) \rightarrow R_{дон.},$$

Задача визначення оптимального управління безпекою розформування составів вирішується при наступних обмеженнях-нерівностях

$$\begin{cases} 1 \leq N_{BKC}^{OP} \leq N_{BKC}^{OP \max}, \\ 1 \leq N_{BKC}^{CC} \leq N_{BKC}^{CC \max}, \end{cases}$$

де  $N_{BKC}^{OP \max}$ ,  $N_{BKC}^{CC \max}$  – максимально можливі номери впливів керівництва станції на ефективність дій відповідно оперативного персоналу і суміжних служб.

Залежності  $n_{відч.}^{OP}$  від  $U_{PII}^{OP} \left( N_{BKC}^{OP} \right), t_{np}^{HC} \left( N_{BKC}^{OP} \right), U_{III}^{OP} \left( N_{BKC}^{OP} \right)$  і  $n_{відч.}^{III}$  від  $N_{BKC}^{CC}$  для конкретної станції можуть бути отримані шляхом моніторингу процесу управління безпекою розформування составів або за допомогою метода експертних оцінок і представлені у вигляді розрахункових таблиць.

Впливи керівництва станції на ефективність дій відповідно оперативного персоналу і суміжних служб зазначено у розділі 3.

Допустимі ризики, що можуть мати місце у сортувальному процесі, можуть бути пронормовані для кожної станції окремо в залежності від обсягів переробки, структури вагонопотоку, технічного оснащення сортувальної гірки та інших факторів.

Ефективне управління безпекою розформування составів на гірках можна забезпечити шляхом аналізу результатів моделювання процесу скочування відчепів з урахуванням випадкових чинників, що впливають на швидкість їх скочування. Вказаний аналіз дозволить сформувані рекомендовані параметри керування вагонними уповільнювачами.

Таким чином, для вирішення науково-прикладної задачі підвищення ефективності управління безпекою розформування составів на гірках необхідно розробити модель визначення рекомендованих параметрів керування вагонними уповільнювачами, базуючись на результатах моделювання.

Найбільш вузьким місцем на сортувальних гірках з точки зору безпеки їх функціонування є процес забезпечення достатніх інтервалів на розділових елементах між відчепами, що скочуються з гірки, допустимих швидкостей входу відчепів на уповільнювачі гальмових позицій, допустимого гальмівного зусилля на колісні пари вагонів і допустимих швидкостей співударяння відчепів на підгіркових коліях. Традиційно головними параметрами керування сортувальним процесом вважаються ступінь і тривалість гальмування відчепів на гальмових позиціях гірки. Рішенням задачі формування рекомендованих параметрів керування є множина їх значень.

Рекомендовані параметри керування вагонними уповільнювачами можуть бути визначені за критерієм мінімуму суми кількостей нагонів кожного відчепу на спускній частині гірки, випадків перевищення кожним відчепом допустимої швидкості входу на уповільнювачі гальмових позицій та випадків перевищення кожним відчепом допустимої швидкості співударяння з відчепами, що знаходяться у сортувальному парку.

Для побудови моделі необхідно ввести наступні множини і величини:

$I$  – множина підсистем «зона регулювання – зона вільного скочування» («ЗР–ЗВС») по маршруту скочування відчепів;

$i$  – номер підсистеми «ЗР–ЗВС» із множини  $I$ ,  $i \in I$ ;

$J$  – множина відчепів составу, що надійшов у переробку;

$j$  – номер відчепу із множини  $J$ ,  $j \in J$ .

Крім того, зробимо припущення, що протягом гіркового інтервалу температура зовнішнього повітря не змінюється ( $t^o(t) = const$ ), а процеси зміни у часі швидкості  $V_g(t)$  і напрямку  $\beta_g(t)$  вітру в зоні розташування метеорологічних датчиків є ергодичними, тобто закони розподілу випадкових величин у вказаних процесах є одними і тими ж як за перетинами для ансамблю реалізацій, так і за

координатою розвитку. Тоді при наявності реальних залежностей швидкості і напрямку вітру від часу за певний його період (від моменту початку насуву состава на гірку до моменту початку його розпуску  $T$ ) математичне очікування відповідних випадкових процесів визначається за наступними формулами:

$$m_{V_e}(t) = M(V_e(t)) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \cdot \int_0^T V_e(t) \cdot dt;$$

$$m_{\beta_e}(t) = M(\beta_e(t)) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \cdot \int_0^T \beta_e(t) \cdot dt.$$

Цільову функцію можна представити у наступному виді

$$\sum_{\substack{i \in I, \\ j \in J}} N_{nij} \left( Z_{z.1 yn.ij}, \dots, Z_{z.n yn.ij}, t_{z.1 yn.ij}, \dots, t_{z.n yn.ij}, \omega_{o.1 ваг.j}^*, \dots, \omega_{o.k ваг.j}^* \right) +$$

$$+ \sum_{\substack{i \in I, \\ j \in J}} N_{exij} \left( Z_{z.1 yn.ij}, \dots, Z_{z.n yn.ij}, t_{z.1 yn.ij}, \dots, t_{z.n yn.ij}, \omega_{o.1 ваг.j}^*, \dots, \omega_{o.k ваг.j}^* \right) +$$

$$+ \sum_{j \in J} N_{c_j} \left( Z_{z.ППП_j}, t_{z.ППП_j}, \omega_{o.1 ваг.j}^*, \dots, \omega_{o.k ваг.j}^* \right) \rightarrow \min,$$

де  $N_{nij}$  – кількість нагонів  $j$ -го відчепу ( $j+1$ )-м відчепом на  $i$ -й підсистемі «ЗР–ЗВС»;

$Z_{z.1 yn.ij}, \dots, Z_{z.n yn.ij}, t_{z.1 yn.ij}, \dots, t_{z.n yn.ij}$  – відповідно ступені і тривалості гальмування  $j$ -го відчепу на 1-му, ...,  $n$ -му уповільнювачі  $i$ -ої підсистеми «ЗР–ЗВС»;

$\omega_{o.1 ваг.j}^*, \dots, \omega_{o.k ваг.j}^*$  – випадкове значення основного питомого опору 1-го, ...,  $k$ -го вагону  $j$ -го відчепу, Н/кН. Згідно з [109] випадкові значення основного питомого опору підпорядковуються гама-розподілу з різними параметрами  $\alpha$  і  $\beta$ ;

$N_{exij}$  – кількість випадків перевищення  $j$ -м відчепом допустимої швидкості входу на уповільнювачі  $(i+1)$ -ої підсистеми «ЗР–ЗВС»;

$N_{c_j}$  – кількість випадків перевищення  $j$ -м відчепом допустимої швидкості співударяння з відчепами, що знаходяться у сортувальному парку (у третій підсистемі «ЗР–ЗВС»);

$Z_{z.ПГП_j}$ ,  $t_{z.ПГП_j}$  – відповідно ступені і тривалості гальмування  $j$ -го відчепу на парковій гальмовій позиції (ПГП).

Задача вирішується при наступних обмеженнях-рівностях і обмеженнях-нерівностях

$$\begin{cases} 0 \leq Z_{z.1 \text{ yn.ij}} \leq Z_{z.}^{\max}, \dots, 0 \leq Z_{z.n \text{ yn.ij}} \leq Z_{z.}^{\max}; \\ 0 \leq t_{z.1 \text{ yn.ij}} \leq t_{z.}^{\max}, \dots, 0 \leq t_{z.n \text{ yn.ij}} \leq t_{z.}^{\max}; \\ 0 \leq Z_{z.ПГП_j} \leq Z_{z.ПГП}^{\max}, 0 \leq t_{z.ПГП_j} \leq t_{z.ПГП}^{\max}; \\ F(\omega_o) = \frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)} \cdot \int_0^{\omega_o} \exp(-\beta \cdot \omega_o) \cdot \omega_o^{\alpha-1} \cdot d\omega_o, \end{cases}$$

де  $Z_{z.}^{\max}$ ,  $t_{z.}^{\max}$  – відповідно максимально можливі ступінь і тривалість гальмування відчепів у першій і другій підсистемах «ЗР–ЗВС»;

$Z_{z.ПГП}^{\max}$ ,  $t_{z.ПГП}^{\max}$  – відповідно максимально можливі ступінь і тривалість гальмування відчепів на ПГП.

$Z_{z.}^{\max}$  і  $Z_{z.ПГП}^{\max}$  визначаються за умовою виключення вижимання уповільнювачами колісних пар вагонів

$$q_в > \frac{4 \cdot k_{пер} \cdot S_n \cdot (p_{зц} - p_0)}{3000},$$

де  $q_в$  – навантаження колісної пари на рейки, кН;

$k_{пер}$  – коефіцієнт передачі важільної системи;

$S_n$  – площа поршня гальмового циліндру, см<sup>2</sup>;



$P_0$  – частина загального тиску  $P_{2ц}$ , що витрачається на підйом (переміщення) маси гальмової системи, Н/см<sup>2</sup>.

Враховуючи те, що ступінь гальмування відчепів є дискретною величиною, а тривалість їх гальмування – безперервною, представимо задачу визначення рекомендованих параметрів керування вагонними уповільнювачами як задачу стохастичного цілочисельного програмування з нелінійною цільовою функцією і лінійними обмеженнями-нерівностями. Для цього необхідно інтервали часу  $[0; t_{2.}^{\max}]$  і  $[0; t_{2.ПГП}^{\max}]$  розбити на  $n$  часових діапазонів гальмування. В цьому випадку параметром керування буде не тривалість гальмування, а номер його часового діапазону – дискретна величина. Виходячи з цього, цільова функція набуває наступного виду

$$\begin{aligned} & \sum_{\substack{i \in I, \\ j \in J}} N_{n_{ij}} \left( Z_{2.1 \text{ yn.ij}}, \dots, Z_{2.n \text{ yn.ij}}, T_{2.1 \text{ yn.ij}}, \dots, T_{2.n \text{ yn.ij}}, \omega_{o1 \text{ ваг.}j}^*, \dots, \omega_{ok \text{ ваг.}j}^* \right) + \\ & + \sum_{\substack{i \in I, \\ j \in J}} N_{\text{вх.}ij} \left( Z_{2.1 \text{ yn.ij}}, \dots, Z_{2.n \text{ yn.ij}}, T_{2.1 \text{ yn.ij}}, \dots, T_{2.n \text{ yn.ij}}, \omega_{o1 \text{ ваг.}j}^*, \dots, \omega_{ok \text{ ваг.}j}^* \right) + \\ & + \sum_{j \in J} N_{c_j} \left( Z_{2.ПГП_j}, T_{2.ПГП_j}, \omega_{o1 \text{ ваг.}j}^*, \dots, \omega_{ok \text{ ваг.}j}^* \right) \rightarrow \min, \end{aligned}$$

де  $T_{2.1 \text{ yn.ij}}, \dots, T_{2.n \text{ yn.ij}}$  – номери часових діапазонів гальмування  $j$ -го відчепу на 1-му, ...,  $n$ -му уповільнювачі  $i$ -ої підсистеми «ЗР–ЗВС»;

$T_{2.ПГП_j}$  – номери часових діапазонів гальмування  $j$ -го відчепу на ПГП,

а система обмежень –

$$\begin{cases} 0 \leq Z_{2.1 \text{ yn.ij}} \leq Z_{2.}^{\max}, \dots, 0 \leq Z_{2.n \text{ yn.ij}} \leq Z_{2.}^{\max}; \\ 1 \leq T_{2.1 \text{ yn.ij}} \leq T_{2.}^{\max}, \dots, 1 \leq T_{2.n \text{ yn.ij}} \leq T_{2.}^{\max}; \\ 0 \leq Z_{2.ПГП_j} \leq Z_{2.ПГП}^{\max}, 1 \leq T_{2.ПГП_j} \leq T_{2.ПГП}^{\max}; \\ F(\omega_o) = \frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)} \cdot \int_0^{\omega_o} \exp(-\beta \cdot \omega_o) \cdot \omega_o^{\alpha-1} \cdot d\omega_o, \end{cases}$$

де  $T_{\varepsilon}^{\max}$  – максимально можливий номер часового діапазону гальмування відчепів у першій і другій підсистемах «ЗР–ЗВС»;

$T_{\varepsilon.ПГП}^{\max}$  – максимально можливий номер часового діапазону гальмування відчепів на ПГП.

Вихідними даними для визначення рекомендованих параметрів керування вагонними уповільнювачами є число стрілочних переводів  $n_{стр}$  і кривих діляниць колій  $n_{кр}$ , координати центрів переводів  $(x_{цп}, y_{цп})$  і вершин кутів повороту  $(x_{вк}, y_{вк})$ , число вагонних уповільнювачів, що розташовані на спускній частині  $n_{сч}$  і сортувальних коліях  $n_{ск}$ , координати вхідних стиків вагонних уповільнювачів  $(x_{сч}, y_{сч})$ , кути повороту на стрілочних переводах  $\alpha_{стр}$  та кривих діляницях колій  $\alpha_{кр}$ , радіуси перевідних кривих стрілочних переводів  $R_{стр}$  і кривих діляниць колій  $R_{кр}$ , радіуси вертикальних кривих  $R_{\varepsilon}$ , координати точок перелому поздовжнього профілю  $(x_n, y_n)$ , крутизна елементів поздовжнього профілю  $I_n$ , число відчепів  $n_{\varepsilon}$ , координати перших осей  $(x_{\varepsilon}, y_{\varepsilon})$  і миттєві швидкості  $V_{\varepsilon}$  відчепів, номери колій призначення відчепів  $N_k$ , число вагонів у кожному відчепі  $m_{\varepsilon}$ , типи вагонів  $T_{\varepsilon}$ , число осей у кожному вагоні  $n_{ос}$ , довжини  $l_{\varepsilon}$ , міделі  $S_{\varepsilon}$ , маси  $Q_{\varepsilon}$  і осьові моделі  $O_{\varepsilon}$  вагонів, випадкові значення основних питомих опорів руху вагонів  $w_0^*$ , тиски в гальмових циліндрах уповільнювачів  $p_{ци}$ , довжини вільної частини колій сортувального парку  $l_k$ .

Перетворимо задачу стохастичного цілочисельного програмування з нелінійною цільовою функцією і лінійними обмеженнями-нерівностями в еквівалентну детерміновану задачу

$$\begin{aligned}
& \sum_{\substack{i \in I, \\ j \in J}} N_{n_{ij}} \left( Z_{z.1 \text{ yn.ij}}, \dots, Z_{z.n \text{ yn.ij}}, T_{z.1 \text{ yn.ij}}, \dots, T_{z.n \text{ yn.ij}}, \right. \\
& \quad \left. M(\omega_{o.1 \text{ ваг.}j}^*), \dots, M(\omega_{o.k \text{ ваг.}j}^*) \right) + \\
& + \sum_{\substack{i \in I, \\ j \in J}} N_{\text{вх.}ij} \left( Z_{z.1 \text{ yn.ij}}, \dots, Z_{z.n \text{ yn.ij}}, T_{z.1 \text{ yn.ij}}, \dots, T_{z.n \text{ yn.ij}}, \right) + \\
& + \sum_{j \in J} N_{c_j} \left( Z_{z.ПГП_j}, T_{z.ПГП_j}, M(\omega_{o.1 \text{ ваг.}j}^*), \dots, M(\omega_{o.k \text{ ваг.}j}^*) \right) \rightarrow \min,
\end{aligned}$$

$$\begin{cases}
0 \leq Z_{z.1 \text{ yn.ij}} \leq Z_{z.}^{\max}, \dots, 0 \leq Z_{z.n \text{ yn.ij}} \leq Z_{z.}^{\max}; \\
1 \leq T_{z.1 \text{ yn.ij}} \leq T_{z.}^{\max}, \dots, 1 \leq T_{z.n \text{ yn.ij}} \leq T_{z.}^{\max}; \\
0 \leq Z_{z.ПГП_j} \leq Z_{z.ПГП}^{\max}, 1 \leq T_{z.ПГП_j} \leq T_{z.ПГП}^{\max}.
\end{cases}$$

Дана задача відноситься до екстремальних комбінаторних задач, які є достатньо складними з точки зору їх вирішення. В експертних системах управління для вирішення вказаних задач, як правило, застосовують метод спрямованого перебору варіантів. Одним із ефективних алгоритмів рішення екстремальних комбінаторних задач є алгоритм д.т.н. Литвиненка О.Є. [110], який і пропонується використати для визначення рекомендованих параметрів керування вагонними уповільнювачами.

Екстремальна комбінаторна задача згідно з [110] вирішується шляхом максимізації цільової функції  $f(x)$  при дотриманні системи обмежень

$$\begin{aligned}
f_i(x) &= 0, \quad i = 1, \dots, k, \\
g_j(x) &\leq 0, \quad j = 1, \dots, l.
\end{aligned}$$

Канонічна форма задачі визначення рекомендованих параметрів керування вагонними уповільнювачами, виходячи із загальної постановки комбінаторної задачі, набуває наступного виду

$$\begin{aligned}
& - \sum_{\substack{i \in I, \\ j \in J}} N_{H_{ij}} \left( Z_{z.1 \text{ yn.ij}}, \dots, Z_{z.n \text{ yn.ij}}, T_{z.1 \text{ yn.ij}}, \dots, T_{z.n \text{ yn.ij}}, \right. \\
& \quad \left. M(\omega_{o1 \text{ var.}j}^*), \dots, M(\omega_{ok \text{ var.}j}^*) \right) - \\
& - \sum_{\substack{i \in I, \\ j \in J}} N_{\text{ex}_{ij}} \left( Z_{z.1 \text{ yn.ij}}, \dots, Z_{z.n \text{ yn.ij}}, T_{z.1 \text{ yn.ij}}, \dots, T_{z.n \text{ yn.ij}}, \right. \\
& \quad \left. M(\omega_{o1 \text{ var.}j}^*), \dots, M(\omega_{ok \text{ var.}j}^*) \right) - \\
& - \sum_{j \in J} N_{c_j} \left( Z_{z.\text{ППП}_j}, T_{z.\text{ППП}_j}, M(\omega_{o1 \text{ var.}j}^*), \dots, M(\omega_{ok \text{ var.}j}^*) \right) \rightarrow \max, \\
& \left\{ \begin{array}{l} -Z_{z.1 \text{ yn.ij}} \leq 0, Z_{z.1 \text{ yn.ij}} - Z_{z.}^{\max} \leq 0, \dots, \\ -Z_{z.n \text{ yn.ij}} \leq 0, Z_{z.n \text{ yn.ij}} - Z_{z.}^{\max} \leq 0; \\ -T_{z.1 \text{ yn.ij}} \leq 0, T_{z.1 \text{ yn.ij}} - T_{z.}^{\max} \leq 0, \dots, \\ -T_{z.n \text{ yn.ij}} \leq 0, T_{z.n \text{ yn.ij}} - T_{z.}^{\max} \leq 0; \\ -Z_{z.\text{ППП}_j} \leq 0, Z_{z.\text{ППП}_j} - Z_{z.}^{\max} \leq 0; \\ -T_{z.\text{ППП}_j} \leq 0, T_{z.\text{ППП}_j} - T_{z.}^{\max} \leq 0. \end{array} \right.
\end{aligned}$$

Для визначення рекомендованих параметрів керування вагонними уповільнювачами доопрацьовано програмний продукт для розрахунку конструктивно-технологічних параметрів сортувальних гірок, що розроблено на кафедрі «Залізничні станції та вузли» УкрДАЗТ. Вказаний продукт доповнено запропонованою математичною моделлю. Результати розрахунку ступені і тривалості гальмування десятих відчепів на уповільнювачах другої гальмової позиції наведено у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Результати розрахунку рекомендованих параметрів керування вагонними уповільнювачами другої гальмової позиції

№ відчепу	Маса відчепу, т	Довжина відчепу, м	Типи вагонів у відчепі	Ступінь і тривалість гальмування відчепів на уповільнювачах другої гальмової позиції			
				$Z_1$	$t_{T1}, \text{с}$	$Z_2$	$t_{T2}, \text{с}$
1	87,3	13,92	ПВ	3	3,0 – 3,5	3	3,5 – 4,0

Продовження таблиці 2.1

№ відчепу	Маса відчепу, т	Довжина відчепу, м	Типи вагонів у відчепі	Ступінь і тривалість гальмування відчепів на уповільнювачах другої гальмової позиції			
				$Z_1$	$t_{Г1}, c$	$Z_2$	$t_{Г2}, c$
2	112,4	28,30	КР/ЦС	2	2,0 – 2,5	2	2,5 – 3,0
3	103,0	24,11	ХП/ХП	1	1,5 – 2,0	1	2,0 – 2,5
4	222,4	49,42	ПВ/ПВ/ПВ	0	0,0	0	0,0
5	23,5	14,73	КР	1	3,0 – 3,5	1	5,0 – 5,5
6	69,0	13,92	ПВ	3	1,5 – 2,0	3	2,0 – 2,5
7	88,4	20,24	ПВ	2	2,5 – 3,0	2	3,0 – 3,5
8	49,7	14,62	ПЛ	2	1,5 – 2,0	2	2,0 – 2,5
9	105,9	16,40	ПВ	0	0,0	0	0,0
10	25,0	13,57	ЦС	1	0,5 – 1,0	1	1,5 – 2,0

Примітка: ПВ – піввагон;

КР – критий вагон;

ЦС – цистерна;

ХП – хопер;

ПЛ – платформа.

Розроблену модель перевірено на достовірність шляхом порівняння результатів розрахунку рекомендованих параметрів керування вагонними уповільнювачами за трьома методами – методом прямого перебору варіантів комбінацій гальмування, методом спрямованого перебору у дискретному фазовому просторі та методом гілок і границь. Результати розрахунків (таблиця 2.2) свідчать про їх збігання у всіх випадках. Таким чином, запропонована модель є достовірною.

Таблиця 2.2

Рекомендовані параметри керування вагонними уповільнювачами другої

гальмової позиції, розраховані з використанням різних способів

№ відчепу	Ступінь і тривалість гальмування відчепів на уповільнювачах другої гальмової позиції, розраховані прямим перебором варіантів / методом спрямованого перебору варіантів / методом гілок і границь			
	$Z_1$	$t_{Г1}, c$	$Z_2$	$t_{Г2}, c$
1	3/3/3	3,0 – 3,5/3,0 – 3,5/3,0 – 3,5	3/3/3	3,5 – 4,0/3,5 – 4,0/3,5 – 4,0
2	2/2/2	2,0 – 2,5/2,0 – 2,5/2,0 – 2,5	2/2/2	2,5 – 3,0/2,5 – 3,0/2,5 – 3,0
3	1/1/1	1,5 – 2,0/1,5 – 2,0/1,5 – 2,0	1/1/1	2,0 – 2,5/2,0 – 2,5/2,0 – 2,5
4	0/0/0	0,0/0,0/0,0	0/0/0	0,0/0,0/0,0
5	1/1/1	3,0 – 3,5/3,0 – 3,5/3,0 – 3,5	1/1/1	5,0 – 5,5/5,0 – 5,5/5,0 – 5,5
6	3/3/3	1,5 – 2,0/1,5 – 2,0/1,5 – 2,0	3/3/3	2,0 – 2,5/2,0 – 2,5/2,0 – 2,5
7	2/2/2	2,5 – 3,0/2,5 – 3,0/2,5 – 3,0	2/2/2	3,0 – 3,5/3,0 – 3,5/3,0 – 3,5
8	2/2/2	1,5 – 2,0/1,5 – 2,0/1,5 – 2,0	2/2/2	2,0 – 2,5/2,0 – 2,5/2,0 – 2,5
9	0/0/0	0,0/0,0/0,0	0/0/0	0,0/0,0/0,0
10	1/1/1	0,5 – 1,0/0,5 – 1,0/0,5 – 1,0	1/1/1	1,5 – 2,0/1,5 – 2,0/1,5 – 2,0

## **2. РОЗРОБЛЕННЯ ПРОЦЕДУРИ ВИРОБЛЕННЯ УПРАВЛЯЮЧИХ ВПЛИВІВ НА КЕРОВАНУ СИСТЕМУ**

Поява складних технічних систем і необхідність кількісної оцінки безпеки їхнього функціонування привело до виникнення та розвитку логіко-ймовірнісної теорії безпеки, під якою розуміються основні знання по розрахункам ризику виникнення аварій і катастроф складних систем, що базуються на логіко-ймовірнісному моделюванні ризику виникнення порушень безпеки функціонування – на логіко-ймовірнісному методі – ЛІМ, що призначений для кількісного моделювання та аналізу надійності структурно складних технічних систем і є спеціальним розділом математики, пов'язаним з логіко-ймовірнісним вирахуванням [52,54].

Математична сутність ЛІМ полягає у використанні функцій алгебри логіки (ФАЛ) для аналітичного запису умов працездатності системи та у розробці строгих способів переходу від ФАЛ до імовірнісних функцій (ІФ), що об'єктивно виражають безвідмовність системи [111].

### **3.1. Характеристика сортувальної станції**

Сортувальна станція призначена для масової переробки вагонопотоків – розформування та формування поїздів. Вона складається з парку приймання, колій насування составів (мінімально один), гірки, гіркової горловини (розподільної зони або спускних колій) і підгіркового парку (сортувальних колій). Парк приймання уявляє собою звичайні станційні колії зі стрілками, за допомогою яких встановлюється маршрут насування составу на гірку. Колії насування составу на гірку – це колії між парком приймання і горбом гірки, вони закінчуються перед головною розділовою стрілкою. Гіркова горловина включає головну розділову стрілку (головні стрілки), розділові стрілки, і ділянки колій, а також гальмові позиції сповільнювачів і ваговимірювальну ділянку. Ваговимірювальна ділянка призначена для визначення ходових якостей відчепу.

Гальмові позиції призначені для загальмовування вагона. При розформуванні составів виконується два види гальмування – інтервальне та прицільне. Інтервальне гальмування забезпечує необхідні інтервали між відчепами для безпечного проходження їх по стрілочним переводам і гальмовими пристроями у межах спускної частини гірки. Прицільне гальмування забезпечує регулювання швидкості руху відчепів залежно від відстані, яку вони повинні пройти в підгірковому парку. Маршрут руху кожного відчепу починається від головної стрілки і закінчується на сортувальній колії підгіркового парку. Підгірковий парк також уявляє собою звичайні станційні колії зі стрілками, за допомогою яких встановлюється маршрут відчепу на необхідну колію. Склад парку приймання, гіркової горловини та підгіркового парку визначається проектною потужністю сортувальної станції [112]. Приклад гіркової горловини та вхідної частини підгіркового парку сортувальної гірки наведено на рисунку 3.1. На сортувальній гірці виконуються два основних технологічних процеси:

- технологічний процес переробки вагонопотоку;
- технологічний процес переробки інформації про состави, що включає приймання та передачу натурних листів, номерний облік вагонів, добірку вантажних документів, тощо.

Технологічний процес переробки вагонопотоку складається з:

- технологічного процесу подачі составів у парк приймання;
- технологічного процесу розформування–формування составів;
- технологічного процесу переробки інформації про состави.

Технологічний процес подачі составів у парк приймання і їхнього приймання являють собою звичайні маневрові роботи, що виконуються на станції, і в даній роботі не розглядаються.



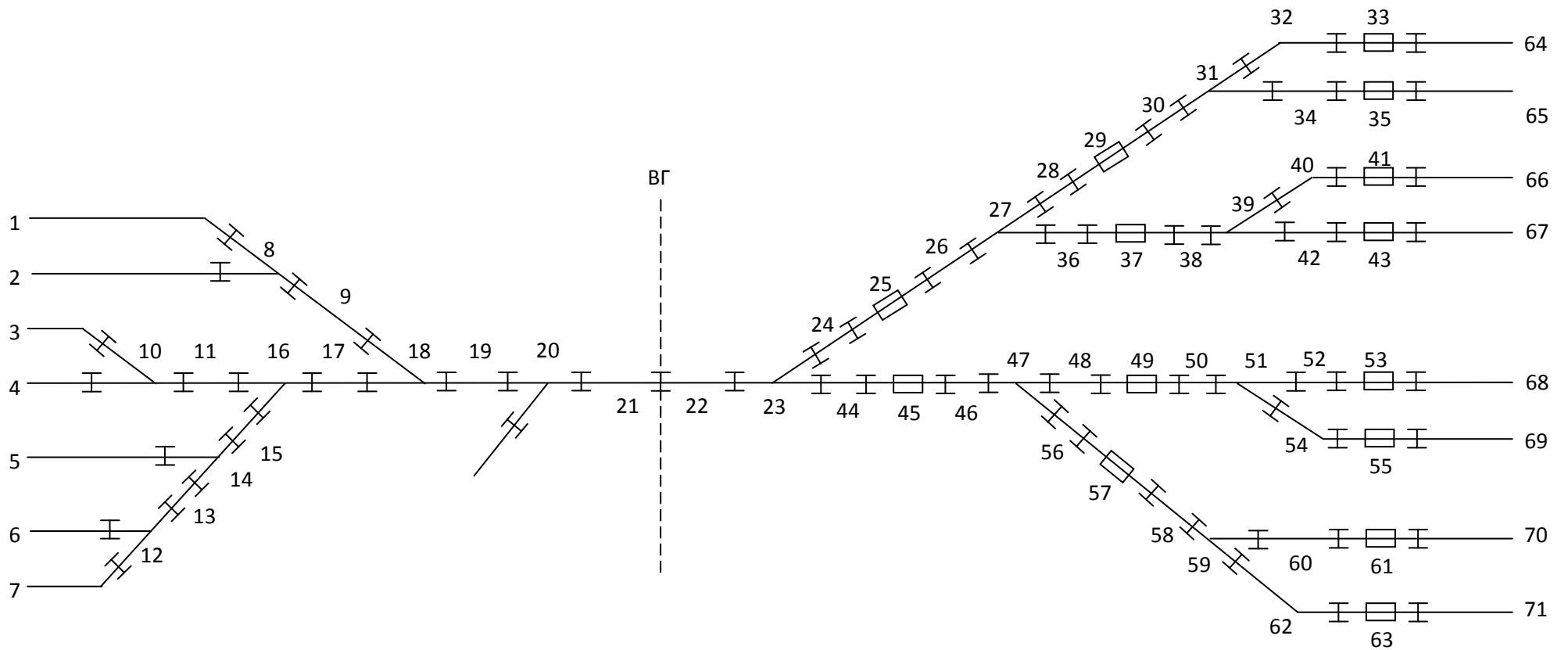


Рис. 3.1 – Приклад гіркової горловини та вхідної частини підгіркового парку сортувальної гірки

Технологічний процес розформування–формування составів здійснюється відповідно до плану розпуску, що готується оперативним персоналом гірки, і вручається машиністу гіркового локомотива, операторам гальмових позицій і укладачам і включає наступні операції:

- насування состава на гірку;
- розпуск составів.

Насування на гірку состава, що розформується, виконується гірковим локомотивом, що встановлюють у хвості состава. Маршрут насування починається в парку приймання і кінчається перед головною стрілкою, встановленою за горбом гірки, перед яким встановлений світлофор, що дозволяє розпуск і задає швидкість насування. Під час насування состава машиніст не повинен перевищувати розрахункову швидкість насування, зазначену в завданні.

Операція «насування состава на гірку» починається з установки в парку прийому до хвоста підготовленого состава гіркового локомотива, що виводить состав з колії парку приймання на колію насування, і, при наявності на гірковому світлофорі дозволяючого сигналу і величини швидкості насування, насуває його на горб гірки. При підході першого вагона до горба гірки задається маршрут руху першого відчепу оператором гірки або автоматикою. На горбі гірки перший в составі відчеп відривається від состава і починає рухатися за заданим маршрутом. Почалася операція «розпуск составів».

Розпуск состава виконується відповідно до плану, що готується оперативним персоналом гірки, і вручається машиністу гіркового локомотива, операторам гальмових позицій і укладачам, а також за командами оператора гірки, що видаються по радіозв'язку, по гучномовному зв'язку або за допомогою автоматичної локомотивної сигналізації.

Розпуск состава включає відрив відчепу від состава, що насувається, рух його під дією сили ваги за встановленим заздалегідь маршрутом, регулювання швидкості руху відчепу за допомогою гальмових позицій, зупинку відчепу в заданій зоні і, при необхідності, перестановку вагонів. Наприкінці руху відчеп або зупиняється сам у заданій зоні на сортувальній колії під дією сили тертя і

фіксується башмаком, встановленим укладачем, або укладач встановлює башмак при русі відчепу для зупинки його в необхідному місці. Поки насувається наступний відчеп, йому підготовляється маршрут руху і так до відриву від локомотива останнього відчепу, після чого задається маршрут руху з гірки для гіркового локомотива. Таким чином, з моменту відриву від состава першого відчепу операції «насування состава» і «розпуск состава» ідуть паралельно в часі, але рознесені по місцю (у просторі).

Перестановку вагонів здійснюють або на тій же колії, на якій вони перебувають, для усунення проміжків між вагонами – формування состава на відправлення, або з однієї колії на іншу – перестановка вагонів помилково спрямованих на колію.

Після завдання маршруту руху з гірки для гіркового локомотива або після перестановки вагонів процес розформування–формування состава закінчений. У розформуванні–формуванні состава використовуються колія парку приймання, на якому перебуває состав, що розпускається, стрілочні ділянки, що перебувають по маршруті руху состава з парку приймання на колію насування, колія насування, ділянки колії гіркової горловини без стрілок і зі стрілками, що перебувають у гірковій горловині, ваговимірювальна ділянка і гальмові позиції, і сортувальні колії підгіркового парку [113,114].

### 3.2. Сценарії ризику виникнення ПБФ на ділянках сортувальної гірки

При виконанні технологічного процесу розформування–формування составів і накопичування вагонів на сортувальних коліях виникає багато небезпечних ситуацій, частина з яких приводить до порушення безпеки функціонування (ПБФ) на гірці. Відомий ряд робіт [23, 114, 115, 116], у яких описані й досліджені випадки виникнення ПБФ та їх причини на сортувальних гірках.

Із зазначених джерел відомо, що основними ПБФ на сортувальних гірках є схід і пошкодження рухомого состава на маршруті розформування–формування состава.

Основними причинами, що призводять до виникнення ПБФ, є відмови елементів ділянок колії, що входять у маршрут розформування–формування состава, елементів обладнання, розташованого на цих ділянках – стрілок, гальмових позицій, помилки персоналу та обладнання, які створюють небезпечну ситуацію на конкретній ділянці колії.

Всі ділянки колії станції залежно від розташованого на них обладнання або від виконуваних на них робіт можна підрозділити на 4 наступні види [81]:

- 1 – ділянки без обладнання і певних видів робіт – прості ділянки;
- 2 – ділянки колії зі стрілкою;
- 3 – ділянки колії з гальмовими позиціями;
- 4 – сортувальні колії, на яких виконуються певні види робіт, наприклад, маневрові з формування состава.

Позначимо ділянки колії гіркової горловини та вхідної частини підгіркового парку сортувальної гірки, наведеної як приклад на рисунку 5, номерами від  $1, \dots, n, \dots, N$ , де  $n$  – номер ділянки колії станції,  $N$  – максимальний номер ділянки.

Ділянки колії станції відносяться:

до 1–го виду – 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19, 21, 22, 24, 26, 28, 30, 32, 34, 36, 38, 40, 42, 44, 46, 48, 50, 52, 54, 56, 58, 60, 62;

до 2–го виду – 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 23, 27, 31, 39, 47, 51, 59;

до 3–го виду – 25, 29, 33, 35, 37, 41, 43, 45, 49, 53, 55, 57, 61, 63;

до 4–го виду – 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71.

Для визначення можливості (ризик) виникнення ПБФ на маршруті розформування–формування состава розглянемо основні відмови і помилки на ділянках колії кожного виду, складемо сценарії виникнення небезпечної ситуації на них у вигляді словесного опису, на основі яких сформуємо логічні моделі виникнення небезпечної ситуації на окремих об'єктах гірки та логічну модель виникнення ПБФ при виконанні маршруту. По логічній моделі маршруту

визначимо імовірність – ризик виникнення ПБФ на маршруті розформування–формування состава.

Для опису можливості виникнення ПБФ введемо логічні моделі виникнення ПБФ, при цьому саму логічну модель виникнення ПБФ позначимо  $X$ , логічну модель виникнення ПБФ на будь–якій  $n$ -ій ділянці колії станції позначимо  $X^n$ , логічну модель виникнення ПБФ на ділянці колії позначимо  $X_i$ , де  $i$  – порядковий номер виду ділянки колії, для якої складається модель. Відмови елементів ділянок колії та встановленого на них обладнання, помилки персоналу та обладнання, тобто події, що описують причини виникнення небезпечної ситуації, мають кожний тільки два стани «є подія» (відмова елемента або помилка) або «немає події» і, отже, є двійковими змінними, що утворюють множину причин виникнення ПБФ, які позначимо  $x_j$ , де  $j$  – порядковий номер логічної змінної.

Попередньо складемо логічні моделі можливості виникнення ПБФ на ділянках колії для кожного з видів.

Схід і пошкодження рухомого состава на ділянці колії без обладнання і певних видів робіт може відбутися внаслідок:

– відмови елементів рейкової колії (через злам рейки, або неприпустимої зміни параметрів рейкової колії за шириною, за рівнем або в плані, викиду колії, деформації земляного полотна та інших причин). Логічну змінну, що відповідає даній події, позначимо через  $x_1$ ;

– появи на колії сторонніх предметів (через падіння на колію деталей вагона та інших причин). Логічну змінну, що відповідає даній події, позначимо  $x_2$ ;

– відмови рухомого состава (через злам елементів колісних пар і вагонів та інших причин). Логічну змінну, що відповідає даній події, позначимо через  $x_3$ .

Крім того, на можливість виникнення сходу та пошкодження рухомого состава впливає невиявлення зазначених вище подій оперативним персоналом і пристроями гіркової автоматики. Логічну змінну, що відповідає невиявленню зазначених вище подій, позначимо через  $x_4$ . При цьому вона може приймати значення «1» при невиявленні та «0» при виявленні зазначених вище подій.

Логічну модель виникнення ПБФ на ділянці колії першого виду можна представити наступною структурою

$$X_1 = (x_1 \vee x_2 \vee x_3) \wedge x_4.$$

На ділянці колії другого виду схід і пошкодження рухомого состава може відбутися не тільки внаслідок зазначених вище причин, але й внаслідок відмови елементів стрілочного переводу (через злам гостряка або рухомого сердечника хрестовини та тому подібного). Логічну змінну, що відповідає даній події, позначимо  $x_5$ . При цьому також діє логічна змінна  $x_4$ .

Логічну модель виникнення ПБФ через відмову стрілки можна представити наступною структурою

$$X_C = x_5 \wedge x_4,$$

а загальну логічну модель виникнення ПБФ на ділянці колії другого виду можна представити наступною структурою

$$X_2 = X_1 \vee X_C = (x_1 \vee x_2 \vee x_3) \wedge x_4 \vee x_5 \wedge x_4 = (x_1 \vee x_2 \vee x_3 \vee x_5) \wedge x_4.$$

Схід і пошкодження рухомого состава на ділянці колії третього виду може відбутися не тільки внаслідок зазначених вище причин, описаних логічною моделлю  $X_1$ , але й внаслідок:

– неможливості приведення уповільнювача в робочий або розгальмований стан (через зниження тиску повітря в пневматичній мережі сповільнювачів, відмови керуючої апаратури, відмови механічної частини сповільнювача і тому подібного). Логічну змінну, що відповідає даній події, позначимо  $x_6$ ;

– зменшення гальмової потужності сповільнювача (через порушення технології технічного обслуговування (через неправильне регулювання) або в результаті зниження коефіцієнта тертя внаслідок забруднення, або опадів, або в результаті наявності накату на гальмових шинах вище припустимого). Логічну змінну, що відповідає даній події, позначимо  $x_7$ ;

– невиявлення зниження тиску повітря, відмови керуючої апаратури або механічної частини сповільнювача обслуговуючим персоналом, зокрема, зниження коефіцієнта тертя, накату на гальмових шинах і тому подібного.

Логічну змінну, що відповідає даній події, позначимо  $x_8$ , при цьому вона приймає значення «1» при невиявленні та «0» при виявленні зазначених вище подій;

- порушення габаритів сповільнювача або габаритів вагонів відчепу.

Логічну змінну, що відповідає даній події, позначимо  $x_9$ ;

– невиявлення порушення габаритів сповільнювача або габаритів вагонів відчепу обслуговуючим персоналом. Логічну змінну, що відповідає даній події, позначимо  $x_{10}$ . При цьому вона приймає значення «1» при невиявленні та «0» при виявленні зазначених вище подій;

– вижимання вагона зі сповільнювача при гальмуванні (наприклад, внаслідок помилки оператора у визначенні вагової категорії вагона). Логічну змінну, що відповідає даній події, позначимо  $x_{11}$ ;

– виходу відчепу зі сповільнювача зі швидкістю, що відрізняється від заданої за умовами інтервального або прицільного регулювання (через помилку оператора в розрахунку заданої швидкості, у результаті погрішності реалізації розрахункової швидкості, через перевищення відчепом припустимої вхідної швидкості через відмову швидкостеміра або неправильного вибору попередження при розгальмуванні. Логічну змінну, що відповідає даній події, позначимо  $x_{12}$ ;

– перевищення допустимої швидкості входу на уповільнювач, наприклад, через невивільнення відчепу на попередній гальмовій позиції та несправність сповільнювача попередньої гальмової позиції. Логічну змінну, що відповідає даній події, позначимо  $x_{13}$ .

Логічну модель виникнення ПБФ через відмови на гальмовій позиції та помилок персоналу можна представити наступною структурою

$$X_{\Gamma} = (x_6 \vee x_7) \wedge x_8 \vee x_9 \wedge x_{10} \vee x_{11} \vee x_{12} \vee x_{13},$$

а загальну логічну модель виникнення ПБФ на ділянці колії третього виду можна представити наступною структурою

$$X_3 = X_1 \vee X_{\Gamma} = (x_1 \vee x_2 \vee x_3) \wedge x_4 \vee (x_6 \vee x_7) \wedge x_8 \vee x_9 \wedge x_{10} \vee x_{11} \vee x_{12} \vee x_{13}.$$

Схід і пошкодження рухомого состава на ділянці колії четвертого виду може відбутися не тільки внаслідок зазначених вище причин, описаних логічною моделлю  $X_1$ , але й внаслідок:

– схід рухомого состава із сортувальної колії (через незакріплення состава на колії – відсутності або неправильного встановлення башмака під составом). Логічну змінну, що відповідає даній події, позначимо  $x_{14}$ ;

– невиявлення незакріплення состава на колії. Логічну змінну, що відповідає даній події, позначимо  $x_{15}$ . При цьому вона приймає значення «1» при невиявленні та «0» при виявленні зазначених вище подій;

– наїзду маневрового состава на вагони, що стоять на сортувальній колії, з підвищеною швидкістю (через помилку машиніста маневрового локомотива, помилки укладача або помилки чергового по гірці). Логічну змінну, що відповідає даній події, позначимо  $x_{16}$ .

Логічну модель виникнення ПБФ на колії сортувального парку через помилки укладача або помилок при маневровій роботі можна представити наступною структурою

$$X_{СП} = (x_{14} \wedge x_{15}) \vee x_{16},$$

а загальну логічну модель виникнення ПБФ на ділянці колії четвертого виду можна представити наступною структурою

$$X_4 = X_1 \vee X_{СП} = (x_1 \vee x_2 \vee x_3) \wedge x_4 \vee (x_{14} \wedge x_{15}) \vee x_{16}.$$

Тоді кожній  $n$ -ій ділянці колії станції можна поставити у відповідність логічну модель виникнення ПБФ –  $X^n$ , що відповідає виду, до якого відноситься ділянка, так наприклад:

– логічна модель ділянки 1, що відноситься до першого виду

$$X^1 = (x_1^1 \vee x_2^1 \vee x_3^1) \wedge x_4^1;$$

– логічна модель ділянки 8, що відноситься до другого виду

$$X^8 = (x_1^8 \vee x_2^8 \vee x_3^8 \vee x_5^8) \wedge x_4^8;$$

– логічна модель ділянки 25, що відноситься до третього виду

$$X^{25} = (x_1^{25} \vee x_2^{25} \vee x_3^{25}) \wedge x_4^{25} \vee (x_6^{25} \vee x_7^{25}) \wedge x_8^{25} \vee x_9^{25} \wedge x_{10}^{25} \vee x_{11}^{25} \vee x_{12}^{25} \vee x_{13}^{25};$$

– логічна модель сортувальної колії 64, що відноситься до четвертого виду

$$X^{64} = (x_1^{64} \vee x_2^{64} \vee x_3^{64}) \wedge x_4^{64} \vee (x_{14}^{64} \wedge x_{15}^{64}) \vee x_{16}^{64}.$$

Аналогічно формуються логічні моделі інших ділянок колії станції.



Маршрут розформування–формування состава складається з ряду ділянок колії станції, тому логічна модель виникнення ПБФ на маршруті будується виходячи з положення, що виникнення ПБФ на одній ділянці колії, що входить у маршрут, веде до виникнення ПБФ на всьому маршруті, тоді логічна модель виникнення ПБФ на маршруті є логічною сумою логічних моделей виникнення ПБФ на кожній з ділянок колії, що входять у маршрут.

Кожний маршрут розформування–формування состава можна розділити на підмаршрути – насування состава, розпуску состава і маневрових робіт, що виконуються на заданих сортувальних коліях, які характеризуються певними ознаками. Так, підмаршрут насування состава характеризується тим, що на ньому весь состав проходить кожну його ділянку, тобто він починається на колії парку приймання і закінчується головною стрілкою стрілочної горловини. Підмаршрут розпуску характеризується тим, що кожний відчеп проходить тільки ті ділянки колії, які ведуть на задану йому сортувальну колію. Кожний підмаршрут розпуску починається на ділянці колії наступної за головною стрілкою стрілочної горловини і закінчується ділянкою колії з останньою гальмовою позицією. Підмаршрут маневрових робіт, що виконується на заданих сортувальних коліях, характеризується тим, що маневрові роботи виконуються тільки на заданих сортувальних коліях, тобто в нього входять тільки ті сортувальні колії, на які спрямовані вагони состава.

Для побудови логічної моделі виникнення ПБФ на маршруті розформування–формування состава складемо множини  $n(k)$  – ділянок колій станції, що входять у можливі маршрути, де  $k$  – номер (позначення) маршруту, і підмножини підмаршрутів насування  $n(Ha)$ , де  $a$  – номер колії парку приймання, з якого відправляється состав; підмаршрутів розпуску  $n(Pb)$ , де  $b$  – номер сортувальної колії, на яку прямує відчеп; підмаршрут маневрових робіт, що виконуються на заданих сортувальних коліях  $n(MPc)$ , де  $c$  – номер сортувальних колій, на яких вони виконуються, при цьому

$$n(k) = n(Ha) \cup n(Pb) \cup n(MPc).$$

Тоді, для маршруту насуву состава, наприклад, з 4-ої колії парку приймання

$$n(H4) = 4, 10, 11, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23.$$

Логічну модель виникнення ПБФ на маршрутах насування состава  $X_H^4$  можна представити наступною структурою

$$X_H^4 = X_1^4 \vee X_2^{10} \vee X_1^{11} \vee X_2^{16} \vee X_1^{17} \vee X_2^{18} \vee X_1^{19} \vee X_2^{20} \vee X_1^{21} \vee X_2^{22} \vee X_1^{23} = \bigcup_{n(H4)} X^n.$$

Для маршрутів розпуску, наприклад, на 66-у, 67-у, 68-у і 71-у колії сортувального парку

$$n(P66) = 24, 25, 26, 27, 36, 37, 38, 39, 40, 41,$$

$$n(P67) = 24, 25, 26, 27, 36, 37, 38, 39, 42, 43,$$

$$n(P68) = 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53,$$

$$n(P71) = 44, 45, 46, 47, 56, 57, 58, 59, 62, 63.$$

Логічні моделі виникнення ПБФ на маршрутах розпуску состава на 66-у, 67-у, 68-у і 71-у колії сортувального парку можна представити наступними структурами

$$X_P^{66} = X_1^{24} \vee X_3^{25} \vee X_1^{26} \vee X_2^{27} \vee X_1^{36} \vee X_3^{37} \vee X_1^{38} \vee X_2^{39} \vee X_1^{40} \vee X_3^{41} = \bigcup_{n(P66)} X^n;$$

$$X_P^{67} = X_1^{24} \vee X_3^{25} \vee X_1^{26} \vee X_2^{27} \vee X_1^{36} \vee X_3^{37} \vee X_1^{38} \vee X_2^{39} \vee X_1^{42} \vee X_3^{43} = \bigcup_{n(P67)} X^n;$$

$$X_P^{68} = X_1^{44} \vee X_3^{45} \vee X_1^{46} \vee X_2^{47} \vee X_1^{48} \vee X_3^{49} \vee X_1^{50} \vee X_2^{51} \vee X_1^{52} \vee X_3^{53} = \bigcup_{n(P68)} X^n;$$

$$X_P^{71} = X_1^{44} \vee X_3^{45} \vee X_1^{46} \vee X_2^{47} \vee X_1^{56} \vee X_3^{57} \vee X_1^{58} \vee X_2^{59} \vee X_1^{62} \vee X_3^{63} = \bigcup_{n(P71)} X^n.$$

Для всіх маршрутів розпуску даного маршруту розформування–формування

$$n(\Sigma P) = n(P66) \cup n(P67) \cup n(P68) \cup n(P71).$$

Логічну модель виникнення ПБФ на всіх маршрутах розпуску состава даного маршруту розформування–формування  $X_P^\Sigma$  можна представити наступною структурою

$$\begin{aligned}
 X_P^\Sigma = & X_P^{66} \vee X_P^{67} \vee X_P^{68} \vee X_P^{71} = X_I^{24} \vee X_3^{25} \vee X_I^{26} \vee X_2^{27} \vee X_I^{36} \vee X_3^{37} \vee X_I^{38} \vee X_2^{39} \vee \\
 & \vee X_I^{40} \vee X_3^{41} \vee X_I^{42} \vee X_3^{43} \vee X_I^{44} \vee X_3^{45} \vee X_I^{46} \vee X_2^{47} \vee X_I^{48} \vee X_3^{49} \vee X_I^{50} \vee X_2^{51} \vee X_I^{52} \vee X_3^{53} \vee X_I^{54} \vee X_3^{55} \vee X_I^{56} \vee X_3^{57} \vee \\
 & \vee X_I^{58} \vee X_2^{59} \vee X_I^{62} \vee X_3^{63} = X_I^{24} \vee X_3^{25} \vee X_I^{26} \vee X_2^{27} \vee X_I^{36} \vee X_3^{37} \vee X_I^{38} \vee X_2^{39} \vee \\
 & \vee X_I^{40} \vee X_3^{41} \vee X_I^{42} \vee X_3^{43} \vee X_I^{44} \vee X_3^{45} \vee X_I^{46} \vee X_2^{47} \vee X_I^{48} \vee X_3^{49} \vee X_I^{50} \vee X_2^{51} \vee X_I^{52} \vee \\
 & \vee X_3^{53} \vee X_I^{56} \vee X_3^{57} \vee X_I^{58} \vee X_2^{59} \vee X_I^{62} \vee X_3^{63} = \bigcup_{n(\Sigma P)} X^n.
 \end{aligned}$$

Для маневрових робіт, що виконуються на заданих сортувальних коліях

$$n(Mpc) = 66, 67, 68, 71.$$

Логічну модель виникнення ПБФ при маневрових роботах  $X_{MP}$ , що виконуються на заданих сортувальних коліях – 66–у, 67–у, 68–у і 71–у можна представити наступною структурою:

$$X_{MP} = X_4^{66} \vee X_4^{67} \vee X_4^{68} \vee X_4^{71} = \bigcup_{n(\Sigma MP)} X^n.$$

Для маршруту розформування–формування состава з 4–ої колії парку приймання на 66–у, 67–у, 68–у і 71–у сортувальні колії

$$n(4 - 66, 67, 68, 71) = 4, 10, 11, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 56, 57, 58, 59, 62, 63.$$

Логічну модель виникнення ПБФ на маршруті розформування–формування состава  $X_M$  можна представити наступною структурою

$$X_M = X_H^4 \vee X_P^\Sigma \vee X_{MP} = \bigcup_{n(H4)} X^n \vee \bigcup_{n(\Sigma P)} X^n \vee \bigcup_{n(\Sigma MP)} X^n = \bigcup_{n(4 - 66, 67, 68, 71)} X^n.$$

### 3.3. Логіко–ймовірнісне моделювання ризику виникнення порушень безпеки функціонування

На основі теорії логіко–ймовірнісних методів розглянемо питання визначення імовірності – ризику виникнення ПБФ у процесі розформування–

формування составів. Можливість виникнення ПБФ на сортувальній гірці існує протягом інтервалу часу активних дій по реалізації технологічного процесу розформування–формування состава та з'являється з моменту початку насування состава на гірку – у момент відправлення состава з колії парку приймання, а зникає або з моменту зупинки останнього відчепу на сортувальній колії, або після закінчення маневрових робіт на сортувальних коліях підгіркового парку (залежно від установки в завданні на розформування состава), тобто протягом інтервалу часу розформування состава.

Основою для визначення ризику виникнення ПБФ є отримані раніше логічні моделі виникнення ПБФ на маршруті розформування–формування состава, його підмаршрутах і на ділянках колії, які є неповторними функціями алгебри логіки. Визначення ризику виникнення ПБФ виконується шляхом подання логічних моделей у вигляді, які є формами переходу до заміщення (ФПЗ), і переходу від отриманих ФПЗ до відповідних імовірнісних функцій за відомими правилами [117,118 ].