

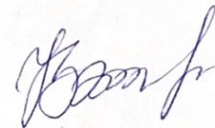
**СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ
Факультет транспорту і будівництва
Кафедра логістичного управління та безпеки руху на транспорті**

**ПОЯСНОВАЛЬНА ЗАПИСКА
до дипломної кваліфікаційної роботи
освітньо-кваліфікаційного рівня магістр**

галузі знань 27 – «Транспорт»
спеціальності 273 Залізничний транспорт/ Інтероперабельність і безпека на залізничному транспорті

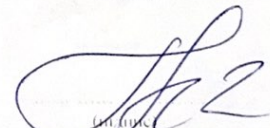
на тему: «Підвищення ефективності експлуатації сортувальних гірок з урахуванням безпеки розформування составів»

Виконав: здобувач вищої освіти
групи ІБЗТ-22дм
Сиднєв В.Р.



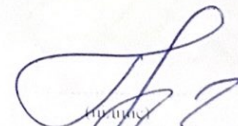
(підпис)

Керівник: проф. Чернецька-Білецька Н.Б.



(підпис)

Завідувач кафедри: проф. Чернецька-Білецька Н.Б.



(підпис)

Київ – 2023

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1. АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ФУНКЦІОНУВАННЯ СОРТУВАЛЬНИХ ГІРОК.....	7
1.1. Аналіз основних аспектів теорії безпеки транспортних систем.....	7
1.2. Огляд та аналіз існуючих методів оцінки рівня безпеки руху на залізничному транспорті і на сортувальній гірці зокрема.....	13
1.3. Огляд та аналіз основних аспектів управління ризиками в системі залізничних перевезень і на сортувальній гірці зокрема.....	19
1.4. Огляд та аналіз впливу людського фактора на безпеку функціонування сортувальної гірки.....	25
2. ФОРМУВАННЯ НАУКОВОГО ПІДХОДУ ДО УПРАВЛІННЯ БЕЗПЕКОЮ ФУНКЦІОНУВАННЯ СОРТУВАЛЬНОЇ ГІРКИ.....	34
2.1. Вибір напрямку досліджень процесу управління безпекою розформування составів на гірках.....	34
2.2. Розроблення математичної моделі управління безпекою розформування составів на гірках.....	40
3. РОЗРОБЛЕННЯ ПРОЦЕДУРИ ВИРОБЛЕННЯ УПРАВЛЯЮЧИХ ВПЛИВІВ НА КЕРОВАНУ СИСТЕМУ.....	54
3.1. Характеристика сортувальної станції.....	54
3.2. Сценарії ризику виникнення ПБФ на ділянках сортувальної гірки.....	58
3.3. Логіко–ймовірнісне моделювання ризику виникнення порушень безпеки функціонування.....	66
3.4. Розрахунок імовірностей виникнення ПБФ та визначення адекватності моделі.....	73
4. УДОСКОНАЛЕННЯ ЕРГАТИЧНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ БЕЗПЕКОЮ ФУНКЦІОНУВАННЯ СОРТУВАЛЬНОЇ ГІРКИ.....	80
4.1. Дослідження надійності виконання оператором дії технологічного процесу.....	80

4.2. Удосконалення способу професійного відбору операторів.....	85
4.3. Удосконалення пристрою для навчання та оцінювання роботи операторів.....	89
ВИСНОВКИ.....	103
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	105

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Розвиток економіки України багато в чому визначається чіткою та злагодженою роботою залізничного транспорту. З метою забезпечення умов, необхідних для розвитку національної транспортної системи та вдосконалення державного регулювання транспортним комплексом України визначені основні завдання залізничного транспорту, одне з яких – задоволення зростаючих потреб національної економіки і населення в перевезеннях, підвищення їх якості та зменшення вартості транспортної складової в ціні продукції [1].

Значні втрати залізничному транспорту, та й всьому народному господарству в цілому, наносять катастрофи та аварії, що виникають при перевезеннях.

І хоча проблемами безаварійної роботи займаються і адміністрація залізничного транспорту України, і безпосередні виконавці, і ревізорський апарат, і наукові організації, аварійність на залізничному транспорті залишається досить високою.

Стабільна робота транспорту стала сьогодні справою надзвичайної політичної та економічної важливості.

Безпека руху на залізничному транспорті в цілому та на сортувальних гірках зокрема, залежить від великої кількості факторів. Існує необхідність більш широкого застосування сучасних методів дослідження для вивчення впливу несприятливих факторів, розробки оптимальних критеріїв оцінки рівня безпеки функціонування залізничного транспорту для підвищення якості процесу залізничних перевезень.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є вирішення науково–прикладного завдання підвищення ефективності експлуатації сортувальних гірок з урахуванням безпеки розформування составів на основі обліку випадкових факторів, що впливають на сортувальний процес.

Основні задачі дослідження:

– проведення аналізу існуючої теорії безпеки транспортних систем, існуючих методів оцінки рівня безпеки руху та управління ризиками на сортувальній гірці, виділення їх недоліків та обмежень;

– формування наукового підходу до управління сортувальним процесом на основі математичної моделі управління безпекою розформування составів на гірках з урахуванням мінімізації ризиків, що можуть бути на сортувальній гірці;

– розроблення методу визначення рекомендованих параметрів керування вагонними уповільнювачами для ефективного управління безпекою розформування составів на гірках.

Об’єкт дослідження - сортувальний процес вагонопотоків на залізницях.

Предмет дослідження – безпека функціонування сортувальних гірок.

Методи виконання роботи. Дослідження проводились із застосуванням таких методів: системного аналізу та дослідження операцій при формуванні системного підходу до управління безпекою функціонування сортувального процесу, методи логіко-ймовірнісної теорії безпеки та алгебри логіки для побудови логіко-ймовірнісної моделі ризику виникнення порушення безпеки функціонування, теорія алгоритмів при розробленні інформаційно-логічної структури управління ризиками в системі сортувальної гірки та вдосконаленні способу професійного відбору операторів, елементи цифрової електроніки при вдосконаленні пристрою для навчання та оцінювання роботи операторів.

Наукова новизна отриманих результатів.

– запропоновано науковий підхід до управління сортувальним процесом на основі математичної моделі управління безпекою розформування составів на гірках. На відміну від існуючих моделей раціональне управління безпекою розформування составів визначається за умовою мінімізації ризиків, що можуть бути на сортувальній гірці. При цьому значною мірою враховується вплив людського фактора на сортувальний процес;

– розроблено метод визначення рекомендованих параметрів керування вагонними уповільнювачами на основі математичної моделі, у якій рекомендовані параметри керування вагонними уповільнювачами визначаються за критерієм

мінімуму добутку ймовірностей нагону кожного відчепа на спускній частині гірки, перевищення кожним відчепом допустимої швидкості входу на уповільнювачі гальмових позицій та перевищення кожним відчепом допустимої швидкості співударяння з відчепами, що перебувають у сортувальному парку.

Практичне значення отриманих результатів.

Сформований підхід дозволяє підійти до рішення завдання підвищення ефективності експлуатації сортувальної гірки з урахуванням управління безпекою розформування составів та впливу людського фактору. Крім того, вказаний підхід надає можливість корегування параметрів керування в процесі експлуатації сортувальної гірки.

Розроблена математична модель управління безпекою розформування составів на гірках дозволяє раціонально управляти безпекою розформування составів за умовою мінімізації ризиків з урахуванням впливу людського фактору на сортувальний процес. Вказана модель може бути використана для розроблення нових та вдосконалення існуючих автоматизованих систем управління сортувальним процесом.

Публікації. Відповідно до теми дипломної роботи опубліковані наукові публікації у фахових виданнях України, результати роботи представлені на науковій студентській конференції.

Структура і об'єм роботи. Кваліфікаційна робота магістра складається зі вступу, 4 розділів, заключення, списку використаних джерел з 124 найменувань на 14 сторінках. Загальний об'єм кваліфікаційної роботи магістра складає 118 стор. Робота включає 28 рисунків та 7 таблиць по тексту.

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 залізничного 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).

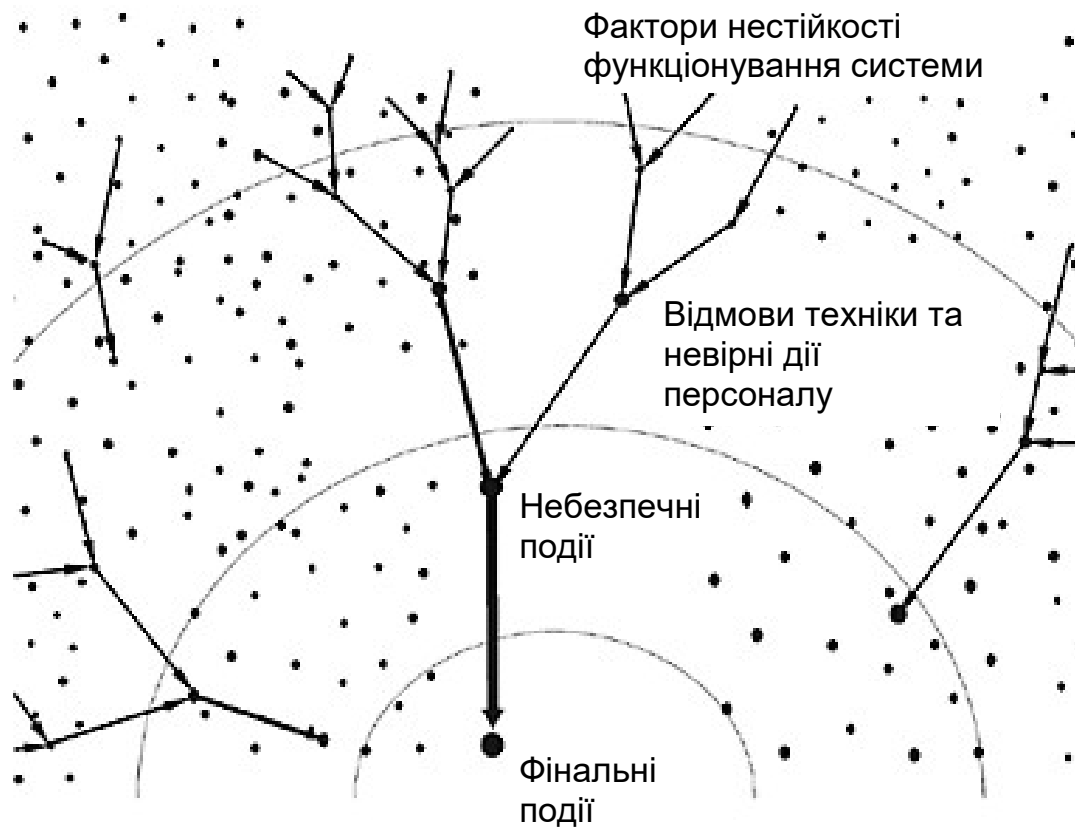


Рис. 1.1 – Виявлення ланцюга повторюваних подій

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

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

де μ_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 апіорним розуміється аналіз, при якому використовується апіорна вихідна інформація про аналізоване явище. Апіорна інформація виходить не в результаті експерименту, а на основі суджень, висловлюваних фахівцями – експертами. Необхідність у використанні апіорної 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 ризики можна підрозділити на такі (Рис. 1.2).

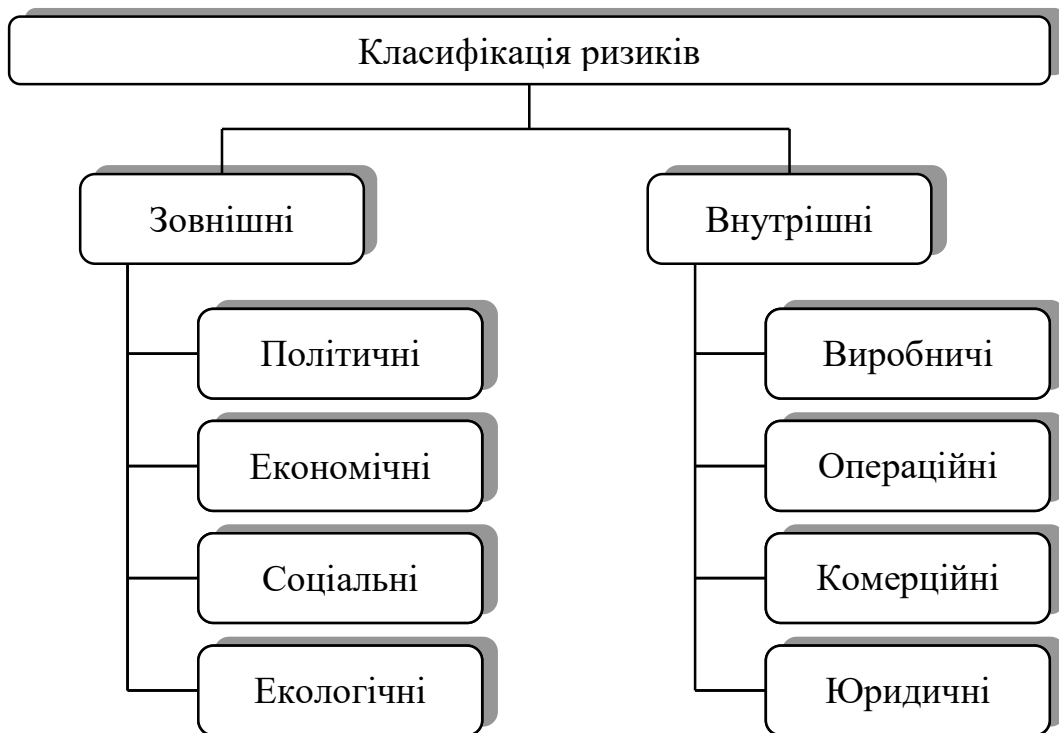


Рис. 1.2 – Класифікація ризиків

Політичні ризики – це ризики, обумовлені зміною політичної обстановки, що впливає на діяльність підприємства.

Економічні ризики – це ризики, обумовлені несприятливими змінами в економіці країни.

Соціальні ризики – це ризики, пов'язані із процесами, що відбуваються, у суспільстві.

Екологічні ризики – це ризики, пов'язані з екологічною системою.

Виробничий ризик пов'язаний з невиконанням підприємством планів, не наданням послуг, інших видів виробничої діяльності.

Операційні ризики – це ризики, пов'язані з імовірністю управлінських, професійних помилок або зловживань, недотриманням вимог законодавства та передбачених внутрішніх правил і процедур, з недосконалістю організаційної структури і технологій, неефективністю внутрішнього контролю.

Комерційний ризик виникає в процесі реалізації послуг, у зв'язку зі зниженням попиту через зміну кон'юнктури або інших обставин, підвищенням витрат.

Юридичні ризики пов'язані зі змінами в законодавстві, невідповідності законодавств різних країн, з некоректно складеної документації.

З усіх перелічених ризиків саме операційний ризик властивий всім підприємствам, напрямкам діяльності, процесам і системам, і ефективно управління операційним ризиком завжди є одним з основних елементів системи управління ризиками.

На практиці операційним ризикам необхідно приділяти найбільшу увагу, так як основна частина операційних ризиків пов'язана з діяльністю людини.

У зв'язку з тим, що на цей час відсутня загальна математична модель сортувального процесу, управління ризиками виникнення порушень безпеки проводиться за рахунок обліку та регулювання окремих складових частин технологічного процесу сортувальних станцій. Так, в [68] управління безпекою пропонується здійснювати за рахунок обліку поздовжніх сил, що діють на вагони в процесі скочування з сортувальної гірки, які суттєво впливають на величини динамічних показників вагонів, розробки методів оцінки безпеки процесу регульованого скочування відчепів на сортувальних гірках, розробки методів оцінки якості інтервального та прицільного регулювання швидкості скочування відчепів, удосконалення методів техніко-експлуатаційної оцінки конструкції та технічного стану сортувальних гірок.

У [36] розроблено математичну модель скочування відчепів з гірки в якій відчеп розглядається як просторова динамічна система, що дозволяє визначати зусилля між вагонами відчепа, а також між вагонами та колією і гальмовими уповільнювачами і на цій основі здійснювати управління безпекою розпуску вагонів. Управляти безпекою пропонується на основі розроблених методів оцінки показників безпеки руху при скочуванні відчепів з гірки, що дозволяють аналізувати умови руху відчепів та попереджувати процеси викочування коліс вагонів на рейки і шини уповільнювачів під час регульованого скочування з урахуванням конструктивних особливостей та технічного стану рухомого складу, колії та уповільнювачів. Процес керування розформуванням составів також оптимізується за рахунок вибору раціональних режимів гальмування відчепів

составу як в умовах експлуатації діючих сортувальних гірок та і при виконанні оцінки якості проектуємих сортувальних гірок.

У [69] запропонована теорія розрахунку основних параметрів сортувальної гірки, що заснована на використанні законів розподілу факторів, що впливають на процес розпуску составів. Запропонована теорія дозволяє розрахувати висоту, поздовжній профіль спускної частини, гальмові засоби гірки та швидкість розпуску составів з урахуванням характеру вагонопотоку, що переробляється, і кліматичних умов, у яких працює сортувальна станція, одержати оптимальні результати за критерієм економічної ефективності, оцінити ступінь близькості до оптимальних значень параметрів існуючих сортувальних гірок і тим самим оцінити безпеку функціонування гірок.

Задачі оптимізації та управління процесом розформування составів знайшли своє відображення та розвиток в працях таких вчених як Ю. А. Муха, В. І. Бобровський та інші [70-83].

1.4. Огляд та аналіз впливу людського фактору на безпеку функціонування сортувальної гірки

Захист від небезпеки є невід'ємною рисою розвитку людства, однак «проблема безпеки» з'являється тільки в ХХ столітті. Ще до розвитку техніки людині протистояли та загрожували різні сили природи, які можна назвати зовнішньою небезпекою, що ніяк не пов'язана з діяльністю людини і ніяк від неї не залежить.

З розвитком праці, видів колективної діяльності людина почала створювати собі небезпеки сама. Вона створювала небезпечні знаряддя праці та небезпечні «технології» видобутку їжі, будувала житла, які могли заподіяти шкоду, і користувався вогнем, що також був небезпечний. До зовнішніх небезпек додалися нові створені самою людиною.

Розвиток людської цивілізації, технічний прогрес призвели до того, що з'явився новий вид небезпеки – технологічна. Це небезпека, пов'язана з появою,

розвитком і широким поширенням різних технологій для задоволення людських потреб і потреб суспільства в цілому (наприклад, в енергії, живленні, пересуванні). Вона має стихійний, руйнівний характер для більшості людей, які безпосередньо з нею не зв'язані, але яким вона загрожує. Разом з тим технологічна небезпека не схожа на будь-яку іншу.

Технологічна небезпека в сучасному суспільстві зростає рік у рік. Широке поширення технологій і пов'язаних з ними небезпек – це породження науково-технічної революції другої половини ХХ століття. Тому і «проблема безпеки» була усвідомлена як загальнолюдська тільки в останній чверті ХХ століття. Треба відзначити, що усвідомлення саме психологічних аспектів безпеки також відбулося в другій половині ХХ століття [84].

По суті, розвиток «психологічного погляду» на проблему безпеки пов'язан з розвитком і ускладненням технічних систем і з науково-технічною революцією: чим більше розвивалися технічні пристосування в праці, її автоматизація, чим більшу завдяки цьому вдавалося забезпечити безпеку з боку техніки, тим більше явною ставала роль людини, людського фактора в цьому питанні. Чим краще та безпечніше становилася техніка, тим більше ставало видно небезпек, що виходять від людини, що цією технікою управляє.

При наявності утруднень кожній людині властиві обмеження можливостей, що обумовлені невідповідністю його психологічних і психофізіологічних характеристик рівню складності завдань, які виникають перед ним у конкретних умовах трудової діяльності. Ці характеристики, що проявляються в ситуації взаємодії людини і технічних систем, одержали назву «людський фактор».

Помилки людини являють собою його дії, неадекватні сформованій ситуації. Помилки, що розцінюються як прояв людського фактора, як правило, ненавмисні: людина виконує невірні дії, розцінюючи їх як вірні або найбільш підходящі.

Загальновизнано, що безпека руху на транспорті взагалі, у тому числі й на залізничному зокрема, одна з найбільш актуальних проблем, що прямо залежить від людського фактора, питома вага якого серед причин транспортних подій

досягає 90% і більше [85]. Поняття людський фактор характеризується надзвичайною багатогранністю і складністю. Теоретично в це поняття можуть бути включені всі явища в організації безпеки руху, так чи інакше пов'язані з людиною.

Для ефективного пошуку засобів забезпечення безпеки за рахунок оптимізації людського фактора необхідно виділити групи факторів, які можуть впливати на аварійність у транспортних системах, зокрема на сортувальній гірці.

1. Ергономічні фактори, що діють на людину в системах керування на транспорті: інтенсивність роботи; тиск фактора часу; ізолюваність і далекість робочих місць, що утрудняє міжособисті контакти; одноманітність і монотонність роботи (особливо у пультів); недостатня рухова активність; різні негативні зовнішні впливи (шуми, вібрації і т.д.). Дія цих факторів, а найчастіше їхнє сполучення, нерідко породжує екстремальні режими роботи і пов'язані з ними стресові стани.

2. Крім факторів, що породжуються безпосередньо самою операторською діяльністю, виділяють також соціальні стресори: 1) невизначеність ролі (коли в людини немає ясного уявлення про коло її обов'язків, про те, що від неї потрібно); 2) недооцінка можливостей (коли людині поручаються завдання, істотно більш прості, чим вона вважає себе здатною вирішувати); 3) неможливість самопрояву (коли людину не запитують про те, що і як робити); 4) велика кількість завдань, доручень; нестача ресурсів, даних для виконання доручених завдань; 5) небезпека аварії, ушкодження; 6) відповідальність, що збільшується страхом покарання у випадку помилок [86].

3. Наступною групою помилок є помилки, викликані властивостями людини їх що здійснила. Звичайно, коли починають говорити про надійність людини як елемента складних людино-машинних систем, у першу чергу мова йде про підвищення ступеня безпомилкової її роботи. Якщо в техніці головним параметром, виходячи з якого, розраховується надійність, є частота або імовірність відмов системи, то для людини це частота або імовірність його помилки при управлінні системою в нормальному режимі або в аварійному [87].

Тому при визначенні властивостей людини, які можуть вплинути на надійність, у першу чергу необхідно аналізувати властивості, які можуть позначитися на частоті або імовірності здійснення помилки при управлінні складною системою.

Відносно прості (у порівнянні з психологічними особистими) психофізіологічні якості, що забезпечують виконання елементарної операторської роботи, такі як швидкість реакції на прості і складні стимули, обсяг і здатність до конкретизації уваги, здатність до спостереження за об'єктами, що рухаються, і т.п. включені в цілісну структуру діяльності оператора сортувальної гірки. У неявному виді вони забезпечують виконання складних, вищих психічних функцій, таких, як формування складних концептуальних образів керованого об'єкта, прийняття управлінських рішень. Висока фізіологічна «ціна» щодо простих психофізіологічних функцій різко знижує працездатність операторів, підвищує їх стомлюваність.

Велике значення стану психофізіологічних якостей полягає в тому, що вони відображають загальний рівень функціонального стану, ступінь актуальної готовності оператора до виконання професійних обов'язків. Виражена напруга психофізіологічних показників може вказувати на невротичні та психічні порушення.

4. Фізіологічні показники, що відбивають стан вегетативної нервової системи, артеріальне тиск, характеристики серцевого ритму та інші вказують на загальний рівень фізичного стану операторів, ступінь їх емоційної і фізичної напруги, функціональні резерви і можливості.

5. З погляду психологів, показником, на який можна було б опертися при прогнозуванні успішності роботи оператора в тої або іншій екстремальній ситуації, є ступінь готовності оператора до ситуації [88].

Готовність до екстреної дії в умовах очікування події, що вимагає цієї дії, має дуже велике значення. Передбачається, що в кожній ситуації людина має певним чином організовані (і при цьому далеко не завжди усвідомлені) уявлення про те, що може відбутися в цій ситуації і як вона буде поводитися у випадку, коли це відбудеться. При цьому, очевидно, що різні події в конкретній ситуації

очікуються з різною імовірністю. Відповідно, і готовність до адекватного сприйняття цих подій і діям у ситуації також буде зовсім різною.

Технічний розвиток людства супроводжується передачею людині все більшого числа керуючих функцій, дозволяючи йому все більше віддалятися від знарядь праці та перетворюватися з виконуючого в керуючий орган системи виробництва. Така трансформація ролі людини приводить до заміни фізичної праці розумовою, знижуючи необхідність м'язової роботи і відповідних енерговитрат. Однак при цьому значно зростає навантаження на психіку людини, якій доводиться вирішувати завдання оцінки і прогнозування ефективності роботи устаткування та інших людей, надійної взаємодії з різними елементами соціотехнічної системи, такої як сортувальна станція.

Самий загальний розгляд закономірностей розвитку і життя людини дозволяє помітити, що обставини, що сприяють росту числа порушень безпеки, виникають з цілком об'єктивних причин.

Перша причина виявляється з аналізу еволюції людини. З розвитком знарядь праці збільшився діапазон впливу людини на навколишній світ, як по розмаїтості, так і по інтенсивності. При цьому розширилося і коло відповідних реакцій зовнішнього миру. Якщо первісна людина по своїх індивідуальних фізичних можливостях здатна була протистояти виникаючої в той час у процесі трудової діяльності небезпекам, то можливості сучасної людини істотно відстають від рівня зрислої небезпеки. Правда, розвиток виробництва дозволяє при розробці техніки робити її менш небезпечною, створювати відповідні засоби захисту від небезпеки, вибирати способи дії з урахуванням небезпеки і т.д., однак з розвитком техніки небезпека росте швидше, ніж людська протидія їй.

Другою загальною причиною, що робить умови праці і життя людини більше жорсткими і небезпечними, є ріст ціни помилки. Розплата за помилку первісної людини була не настільки велика, помилки ж сучасної людини обходяться їй набагато дорожче.

Третя загальна причина, що сприяє росту кількості порушень безпеки, – адаптація людини до небезпеки. Використовуючи блага, що даються технікою,

людина найчастіше забуває, що техніка, звичайно є ще й джерелом високої небезпеки, а інтенсивне використання її підвищує можливість реалізації цієї небезпеки. Постійна взаємодія з машинами і неінформованість про масовість нещасних випадків ведуть до того, що людина перестає боятися того, що на ділі є дуже небезпечним, і адаптується до небезпеки. Нерідко через поточні дрібні вигоди вона навмисно йде на порушення правил безпеки. Далеко не кожне порушення спричиняє нещасний випадок. Люди, один раз безкарно порушивши правила і одержавши за рахунок цього якісь вигоди, повторюють подібні порушення. Поступово відбувається адаптація не тільки до небезпеки, але й до порушень правил [89].

У професійній діяльності стресові ситуації можуть створюватися динамічністю подій, необхідністю швидкого ухвалення рішення, неузгодженістю між індивідуальними особливостями, ритмом і характером діяльності. Факторами, що сприяють виникненню небезпеки в цих ситуаціях, можуть бути недостатність інформації, її суперечливість, надмірна розмаїтість або монотонність, оцінка роботи як перевищуючої можливості індивідуума по обсязі або ступеню складності, суперечливі або невизначені вимоги, критичні обставини або ризик при ухваленні рішення [90].

Причини виникнення порушень безпеки, що пов'язані з людським фактором, можна розкласти по різних рівнях, а саме:

- рівень індивідуума (уроджені або придбані тимчасово або постійно психічні і фізіологічні характеристики організму);
- рівень ближнього середовища (умови праці, порушення колегіальних відношень, незадовільний інструктаж з безпеки праці, житлові і матеріальні турботи і т.д.);
- рівень суспільства (недостатня інформованість про професійні ризики та їхні наслідки, вади в стратегії організації безпечної праці в галузі або регіоні і т.д.).

Якщо в природі відбувається сама по собі яка-небудь зміна, то необхідна для цього кількість дії – «найменше можливе». По цьому ж принципу будується

людське поведження. Якщо мети можна досягти різними шляхами, то людина вибирає той шлях, що, по його уявленню та досвіду, вимагає найменшої витрати сил, і на вибраному шляху він витрачає не більше зусиль, чим необхідно [91]. Це прагнення є окремий випадок загального принципу найменшої дії. Саме із цієї причини часто робітники не використовують індивідуальні та колективні засоби захисту, пропускають операції, необхідні для забезпечення безпеки, але не впливають на одержання кінцевого продукту, вибирають більш легкі, але і більше небезпечні дії. Появі прагнення заощаджувати сили за рахунок вибору небезпечного способу дії сприяють недоліки в організації праці, техніки і технології. При обставинах, однакових для всіх працюючих, визначальне значення у формуванні лінії поведження кожної людини мають його індивідуальні якості, що відбивають сукупність соціально-психологічних і фізіологічних властивостей. Вони включають тип нервової системи, темперамент, характер, особливості мислення, утворення, досвід, виховання, здоров'я й т.п.

Широкий спектр властивостей особистості, соціальних обставин і виробничих умов праці формують психологічні причини свідомого порушення безпеки роботи в технічних системах:

1. Економія сил – потреба, що спонукає до дій, спрямованим на збереження енергетичних ресурсів. Поведження людини будується за принципом «найменшої дії».

2. Економія часу – прагнення збільшити продуктивність праці для виконання плану або особистої вигоди за рахунок збільшення темпу роботи, пропуску окремих операцій, що не впливають на кінцевий результат праці, але необхідних для забезпечення його безпеки.

3. Адаптація до небезпеки або недооцінка небезпеки і її наслідків виникають у результаті здатності людини звикати до явищ, освоюватися з ними. Основа фактора «недооцінка небезпеки» – безкарність фізична і соціальна за здійснення неправильних дій.

4. Самоствердження в очах колег, бажання подобатися навколишньої спричиняють ризиковані дії, ризик для таких – шляхетна справа.

5. Самоствердження у власних очах може бути причиною свідомого ігнорування безпечних методів праці. Часто це пояснюється вродженою непевністю в собі або докорами яких-небудь осіб, не пов'язаних з конкретним виробництвом.

6. Прагнення додержуватися групових норм трудового колективу. Це відбувається там, де порушення правил безпеки або технологічного процесу заохочується. Девіз виробничої діяльності – «план за всяку ціну». Виконання правил безпеки в таких випадках може поставити людини в положення «білої ворони».

7. Орієнтація на ідеали. Ідеалами можуть бути як зразкові працівники, так і порушники.

8. Переоцінка власного досвіду приводить до того, що, знаючи про небезпеку і її наслідки, людина ризикує, думаючи, що його моторність і досвід допоможуть швидко вжити заходів для запобігання аварії або нещасного випадку.

9. Звичка працювати з порушеннями, перенесення звичок. Ці «якості» можуть бути придбані на іншій роботі або поза роботою.

10. Стресові стани, що спонукують людину до дій, які, за його переконанням, здатні зняти цей стан або послабити. Більше сильна форма - емоційний шок. Людиною рухають почуття, а не розум.

11. Схильність до ризику, смак до ризику як особистісна характеристика. У психічній структурі деяких осіб є підвищена тенденція до ризикованих дій.

12. Надситуативний ризик (безкорисливий, спонтанний, невмотивований, непрагматичний, ризик заради ризику). Явище полягає в тому, що суб'єкт, успішно здійснюючи які-небудь дії, як би «раптом» ставить перед собою ціль, поява якої не продиктовано ситуацією і прямо не впливає з її.

У кожній дії людини виділяють три функціональні частини: мотиваційну, орієнтовну і виконавчу [92]. Порушення в кожній із цих частин спричиняє порушення дії в цілому. Людина порушує правила, інструкції: або він не хоче їх виконувати, або він не знає, як це зробити, або він не в змозі це зробити.

Таким чином, у психологічній класифікації причин виникнення небезпечних ситуацій і, як наслідок, порушень безпеки, можна виділити три класи.

Порушення мотиваційної частини дій. Проявляється в небажанні виконувати певні дії (операції). Порушення може бути відносно постійним (людина недооцінює небезпеку, схильна до ризику, негативно ставиться до трудових та (або) технічних регламентаціям, безпечна праця не стимулюється і т.п.) і тимчасовим (людина в стані депресії, алкогольного сп'яніння).

Порушення орієнтовної частини дій. Проявляється в незнанні правил експлуатації технічних систем і норм по безпеці праці та способів їхнього виконання.

Порушення виконавчої частини. Проявляється в невиконанні правил (інструкцій, приписань, норм і т.д.) внаслідок невідповідності психічних і фізичних можливостей людини вимогам роботи. Така невідповідність, як і у випадку з порушенням мотиваційної частини дій, може бути постійною (недостатня координація, погана концентрація уваги, невідповідність росту габаритам устаткування, що обслуговується, і т.д.) і тимчасовою (перевтома, зниження працездатності, погіршення стану здоров'я, стрес, алкогольне сп'яніння).

З врахуванням викладеного та беручи до уваги людський фактор (оскільки будь-яка операція в системі в остаточному підсумку виконується людиною), узагальнена схема функціонування системи «сортувальна гірка» з точки зору впливу людського фактору має такий вигляд (Рис. 1.3).

Світове залізничне співтовариство вже давно дійшло висновку, що в забезпеченні безпеки головною і найбільш слабкою ланкою, що вимагає постійної уваги, є людина.

2. ФОРМУВАННЯ НАУКОВОГО ПІДХОДУ ДО УПРАВЛІННЯ БЕЗПЕКОЮ ФУНКЦІОНУВАННЯ СОРТУВАЛЬНОЇ ГІРКИ

2.1. Вибір напрямку досліджень процесу управління безпекою розформування составів на гірках

Як відзначалося вище, забезпечення безпеки функціонування сортувальних гірок є найважливішою складовою частиною процесу залізничних перевезень. Велика кількість людей, об'єктів техніки, зовнішнє середовище і зовнішні випадкові впливи – «збурювання», що беруть участь у процесі функціонування транспортної системи, не тільки реалізують процес перевезень, але й впливають на нього в різних напрямках, чим створюють умови, при яких за тими або іншими причинами виникають можливості порушення безпеки перевезень.

Система управління функціонуванням сортувальних гірок по своїй суті є жорсткою системою управління реального часу, відмови в якій можуть привести і іноді приводять до катастрофічних наслідків. Відповідно до одного з визначень, система є сукупність або множина однорідних і різнорідних елементів, зв'язаних між собою таким чином, щоб виконувалася цілісна функція [46]. Елемент, у свою чергу, сам може бути системою і у даній системі він відіграє роль підсистеми. Елементи системи можуть уявляти собою поняття. Елементами системи можуть бути технічні об'єкти. Елементами системи можуть бути суб'єкти. У загальному випадку система може складатися з понять, об'єктів і суб'єктів. Саме сортувальна гірка, що включає всі три види елементів плюс зовнішні випадкові «збурювання», являє собою систему «людина-техніка-середовище-збурювання».

Ця система сама по собі не є стійкою та детермінованою, це стохастична система з параметрами, що змінюються, причинна обумовленість порушень безпеки в якій, визначається помилковими діями людини («людина»), відмовами технічних засобів («техніка»), несприятливим впливом зовнішнього середовища («середовище»), зовнішніми заздалегідь не передбаченими впливами («збурювання») або їхніми комбінаціями [47]. Під терміном «людина» маються на

увазі всі помилки людини, неправильне виконання або невиконання приписуваних дій, включаючи порушення різних інструкцій, нормативно-технічних і нормативно-правових документів і актів та інших документів, що регламентують вимоги безпеки, а також інші дії, що обумовили порушення безпеки руху. При цьому розглядаються різні аспекти участі людини в перевізному процесі (навантаженні, технічному обслуговуванні та ремонті рухомого складу, шляхів, управлінні та організації руху). У це поняття включаються працівники залізниць і інших галузей (наприклад, відправники вантажу), а також водії автотранспорту, сторонні особи та ін.

Поняття «техніка» включає несправності шляху, рухомого складу, а також відмови інших технічних засобів (СЦБ і зв'язку, приладів безпеки, пристроїв електропостачання), що безпосередньо обумовили або сприяли порушенням безпеки руху.

Під «середовищем» розуміється сукупність несприятливих зовнішніх умов, що роблять безпосередній або опосередкований вплив на безпеку руху (метеорологічні умови, рельєф місцевості та інші).

Під «збурюванням» розуміються заздалегідь непередбачені ненавмисні або навмисні впливи (стихійні лиха, диверсії та т.п.)

Забезпечення заданої безпеки функціонування сортувальної гірки – системи «людина-техніка-середовище-збурювання», можливо тільки при постійному контролі її параметрів і вироблення відповідних управляючих впливів, тобто необхідна система управління безпекою.

Сутність процесу управління системою «людина-техніка-середовище-збурювання» у даний момент часу полягає в такій цілеспрямованій зміні її станів (або станів її підсистем або елементів), що забезпечує досягнення певних цілей функціонування системи в майбутньому.

Експлуатація та розвиток сортувальної гірки породжує ряд питань, найбільш серйозним з яких є питання оцінки потенційних ризиків, що властиві даній системі. В умовах об'єктивного існування ризику в такій системі та пов'язаних з ним втрат виникає потреба у визначеному механізмі прийняття

управлінських рішень, спрямованих на подальший розвиток такої системи, що забезпечують ефективність і надійність її функціонування з урахуванням ризику [10].

Отже, одним із критеріїв якісного управління сортувальною гіркою може стати виявлення та оцінка ризиків, що дозволить ранжирувати ризики за ступеню імовірності та величиною передбачених збитків для цілеспрямованого та раціонального розподілення ресурсів з метою підвищення безпеки функціонування керованої системи, тобто виробити оптимальні управляючі впливи.

Розгляд оперативних і стратегічних завдань роботи сортувальної гірки через призму ризику, дозволяє одержати досить достовірну картину стану безпеки функціонування сортувальної гірки і відповідним чином впливати на неї. Такий підхід дозволяє уникнути недоліків при використанні існуючих моделей управління при рішенні практичних завдань, тобто повніше враховувати фактори, що впливають негативно. Отже, розробка системи управління ризиками у системі управління сортувальною гіркою є актуальним питанням.

Серед учених і фахівців поки немає однозначного розуміння змісту процесу управління ризиками, відсутні єдині методичні підходи до формування системи управління ризиками. У результаті аналізу існуючої інформації можна сформулювати поняття системи управління ризиками на сортувальній гірці. Система управління ризиками на сортувальній гірці уявляє собою інтегровану систему, яка входить у загальну систему управління сортувальною гіркою, що включає організаційні, методичні, інформаційні засоби, які направлені на виявлення, оцінку, попередження можливих ризиків, мінімізацію негативних наслідків та недопущення повторних інцидентів ризиків або досягнення величини ризиків у визначених межах.

Функціонування перспективної системи управління ризиками на сортувальній гірці може відбуватися згідно запропонованої інформаційно-логічної структури, що забезпечує підтримку та виконання основних дій, спрямованих на виявлення, оцінку і управління ризиками (Рис. 2.1).

Для управління процесами в системі «сортувальна гірка» необхідно описати систему у формалізованому вигляді з виділенням критерію оптимізації. Така форма опису дозволить здійснити дослідження системи з погляду системного аналізу, що дозволить із більшою точністю визначити ризик появи небезпечних ситуацій при технологічному процесі розформування-формування составів та підвищити ефективність експлуатації сортувальних гірок.

Експлуатація і розвиток системи «сортувальна гірка» (система «людина-техніка-середовище-збурювання») породжує ряд питань, найбільш серйозним з яких є питання оцінки та управління потенційними ризиками, що властиві даній системі.

В умовах об'єктивного існування ризиків і пов'язаних з ними втрат виникає потреба в певному механізмі прийняття управлінських рішень, спрямованих на подальший розвиток такої системи, що забезпечують ефективність і надійність її функціонування з урахуванням ризиків.

Тому, одним з критеріїв якісного управління сортувальною гіркою повинно стати виявлення та оцінка ризиків, що дозволяє визначати напрямки використання управлінських, фінансових, технічних ресурсів.

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

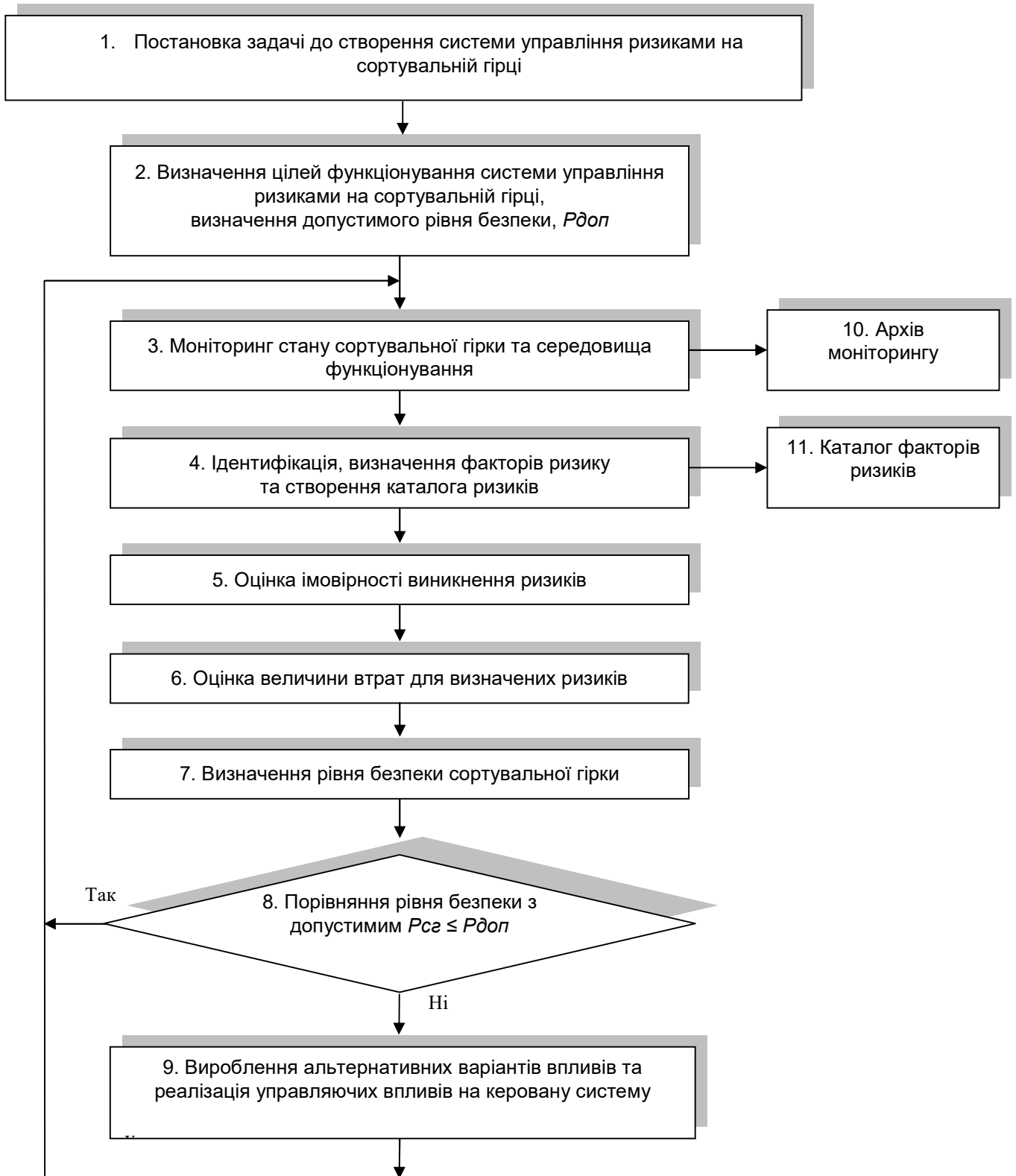


Рис. 2.1 – Інформаційно-логічна структура управління ризиками на сортувальній гірці

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.

Для кількісної оцінки ризиків виникнення порушень безпеки функціонування сортувальної гірки доцільно використовувати логіко-імовірнісну теорію безпеки, яка базується на логічному поданні розвитку небезпечних станів і математичних методів обчислення істинності функцій алгебри логіки. У результаті розробки сценаріїв небезпечних станів функціонування сортувальної гірки можна визначити імовірності порушень на конкретних маршрутах сортувальної гірки.

Оскільки навіть високоавтоматизовані системи не можуть працювати повною мірою самостійно, необхідно враховувати людський фактор скрізь, де в тій або іншій формі задіяний персонал. Помилки людини уявляють собою її дії, неадекватні сформованій ситуації.

Відомо, що самою слабкою ланкою в будь-якій системі управління є людина [107]. При порівняно невеликих витратах, використання сучасних методів професійного відбору, навчання та оцінки роботи операторів дозволить істотно підвищити безпеку руху (при підборі диспетчерів, локомотивних бригад, чергових змін і т.д.), підвищити якість роботи за рахунок більш повного обліку психоемоційного стану і здоров'я людей.

Так, з аналізу причин порушень безпеки при розпуску составів на сортувальних гірках з різним ступенем автоматизації їхньої роботи випливає, що основне число збоїв і порушень відбувається з вини операторів (60-70%) [108]. Як показує аналіз найбільш типових причин помилок і відмов гіркових операторів, до них відносяться: дефіцит часу та інформації для ухвалення правильного

рішення, перевантаження оператора, недостатня кваліфікація, стомлення. Це свідчить про недостатньо якісний професійний відбір.

Дії оператора в період підготовки до розпуску характеризуються невисоким моторним і великим інформаційним завантаженням. При контролі за ходом розпуску составів основне завантаження гіркового оператора – сенсорне, з переробкою в прискореному темпі великої кількості інформації, з елементами прогнозування. Більшість дій оператора характеризується необхідністю високої швидкості і точності їхнього виконання при досить складних алгоритмах прийняття та реалізації рішень. Завантаження оператора тут характеризується перевагою оціночних і логічних дій над управляючими при дефіциті часу. При завершенні розпуску оператор повинен зберігати в пам'яті велику кількість технологічних ситуацій. Таким чином, важливу роль грають способи та пристрої контролю діяльності оператора.

Отже, удосконалення існуючих або розробка нових методів та процедур підвищення ефективності експлуатації сортувальних гірок з урахуванням безпеки розформування составів на сортувальній гірці є однією з головних науково-прикладних завдань галузі.

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 сформувані 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.

Рациональне 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

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

де $C_{ЛНС}$ – середня вартість ліквідації наслідків виникнення небезпечної ситуації, грн; $P_{ОП}$ – ймовірність виникнення небезпечної ситуації за причиною невірних дій оперативного персоналу; $U_{РПГ}^{ОП}$ – рівень реалізації рекомендованих параметрів гальмування оперативним персоналом гірки; t_{np}^{HC} – швидкість прийняття оперативним персоналом правильних рішень в нестандартних ситуаціях, с; $U_{ПП}^{ОП}$ – рівень професійної підготовки оперативного персоналу; $N_{ВКС}^{ОП}$ – номер впливу керівництва станції на ефективність дій оперативного персоналу; $P_{ПП}$ – ймовірність виникнення небезпечної ситуації за інших причин; $N_{ВКС}^{CC}$ – номер впливу керівництва станції на ефективність дій суміжних служб (ПЧ, ШЧ, ВЧ, ЕЧ); $R_{доп.}$ – 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 $n_{відч.}^{ОП}$, 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 $U_{РПГ}^{ОП}$ і $t_{np}^{НС}$ 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 $U_{РПГ}^{ОП}$ і $t_{np}^{НС}$ можна представити залежними від $N_{ВКС}^{ОП}$.

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 $n_{відч.}^{ОП}$ (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

$$R = R_{ОП} + R_{ПП} =$$

$$= \frac{C_{ЛНС}}{n_{відч.}} \cdot \left(n_{відч.}^{ОП} \left(U_{РПГ}^{ОП} \left(N_{ВКС}^{ОП} \right), t_{np}^{НС} \left(N_{ВКС}^{ОП} \right), U_{ПП}^{ОП} \left(N_{ВКС}^{ОП} \right) \right) + n_{відч.}^{ПП} \left(N_{ВКС}^{СС} \right) \right) \rightarrow R_{дон.},$$

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

$$\begin{cases} 1 \leq N_{ВКС}^{ОП} \leq N_{ВКС}^{ОП \max}; \\ 1 \leq N_{ВКС}^{СС} \leq N_{ВКС}^{СС \max}, \end{cases}$$

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

Залежності $n_{відч.}^{OP}$ від $U_{ППГ}^{OP}(N_{ВКС}^{OP})$, $t_{пр}^{НС}(N_{ВКС}^{OP})$, $U_{ПП}^{OP}(N_{ВКС}^{OP})$ і $n_{відч.}^{OP}$ від $N_{ВКС}^{СС}$ 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 співударення 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 складу, 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 ($t^\circ(t) = const$), а процеси зміни у часі швидкості $V_\varepsilon(t)$ і напрямку $\beta_\varepsilon(t)$ 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 складу на гірку до моменту початку його розпуску T) математичне очікування відповідних випадкових процесів визначається за наступними формулами:

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

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

Цільову функцію можна представити у наступному виді

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

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

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

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

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

$\omega_{o.1 \text{ ваг}_{.j}}^*, \dots, \omega_{o.k \text{ ваг}_{.j}}^*$ – 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 α і β ;

$N_{\text{ex}_{ij}}$ – 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

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

де q_s – навантаження колісної пари на рейки, кН;

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

S_n – площа поршня гальмового циліндру, см²;

p_0 – частина загального тиску $p_{ци}$, що витрачається на підйом (переміщення) маси гальмової системи, Н/см².

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 $[0; t_{z.}^{\max}]$ і $[0; t_{z.ПГП}^{\max}]$ 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

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

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

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

а система обмежень –

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

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

$T_{z.ПГП}^{\max}$ – 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 дільниць 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 $(x_{вч}, y_{вч})$, кути повороту на стрілочних переводах $\alpha_{стр}$ та кривих дільницях колій $\alpha_{кр}$, радіуси перевідних кривих стрілочних переводів $R_{стр}$ і кривих дільниць колій $R_{кр}$, радіуси вертикальних кривих R_v , координати точок перелому поздовжнього профілю (x_n, y_n) , крутизна елементів поздовжнього профілю I_n , число відчепів n_v , координати перших осей (x_v, y_v) і миттєві швидкості V_v відчепів, номери колій призначення відчепів N_k , число вагонів у кожному відчепі m_v , типи вагонів T_v , число осей у кожному вагоні $n_{ос}$, довжини l_v , міделі S_v , маси Q_v і осьові моделі O_v вагонів, випадкові значення основних питомих опорів руху вагонів w_0^* , тиски в гальмових циліндрах уповільнювачів $P_{зч}$, 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

$$\begin{aligned}
 & \sum_{\substack{i \in I, \\ j \in J}} N_{h_{ij}} \left(Z_{z.1 \ yn.ij}, \dots, Z_{z.n \ yn.ij}, T_{z.1 \ yn.ij}, \dots, T_{z.n \ yn.ij}, \right. \\
 & \quad \left. M(\omega_{o \ 1 \ ваз. j}^*), \dots, M(\omega_{o \ k \ ваз. j}^*) \right) + \\
 & + \sum_{\substack{i \in I, \\ j \in J}} N_{6x_{ij}} \left(Z_{z.1 \ yn.ij}, \dots, Z_{z.n \ yn.ij}, T_{z.1 \ yn.ij}, \dots, T_{z.n \ yn.ij}, \right. \\
 & \quad \left. M(\omega_{o \ 1 \ ваз. j}^*), \dots, M(\omega_{o \ k \ ваз. j}^*) \right) + \\
 & + \sum_{j \in J} N_{c_j} \left(Z_{z.лгп j}, T_{z.лгп j}, M(\omega_{o \ 1 \ ваз. j}^*), \dots, M(\omega_{o \ k \ ваз. j}^*) \right) \rightarrow \min,
 \end{aligned}$$

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

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

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

$$\left\{ \begin{array}{l} -Z_{z.1 \text{ ун.}ij} \leq 0, Z_{z.1 \text{ ун.}ij} - Z_{z.}^{\max} \leq 0, \dots, \\ -Z_{z.n \text{ ун.}ij} \leq 0, Z_{z.n \text{ ун.}ij} - Z_{z.}^{\max} \leq 0; \\ -T_{z.1 \text{ ун.}ij} \leq 0, T_{z.1 \text{ ун.}ij} - T_{z.}^{\max} \leq 0, \dots, \\ -T_{z.n \text{ ун.}ij} \leq 0, T_{z.n \text{ ун.}ij} - T_{z.}^{\max} \leq 0; \\ -Z_{z.ППj} \leq 0, Z_{z.ППj} - Z_{z.}^{\max} \leq 0; \\ -T_{z.ППj} \leq 0, T_{z.ППj} - T_{z.}^{\max} \leq 0. \end{array} \right.$$

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 відцепів на уповільнювачах другої гальмової позиції наведено у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Результати розрахунку рекомендованих параметрів керування вагонними уповільнювачами другої гальмової позиції

№ відцепу	Маса відцепу, т	Довжина відцепу, м	Типи вагонів у відцепі	Ступінь і тривалість гальмування відцепів на уповільнювачах другої гальмової позиції			
				Z ₁	t _{Г1} , с	Z ₂	t _{Г2} , с
1	87,3	13,92	ПВ	3	3,0 – 3,5	3	3,5 – 4,0

Продовження таблиці 2.1

№ відцепу	Маса відцепу, т	Довжина відцепу, м	Типи вагонів у відцепі	Ступінь і тривалість гальмування відцепів на уповільнювачах другої гальмової позиції			
				Z ₁	t _{Г1} , с	Z ₂	t _{Г2} , с
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

3. 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 вираженням [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.

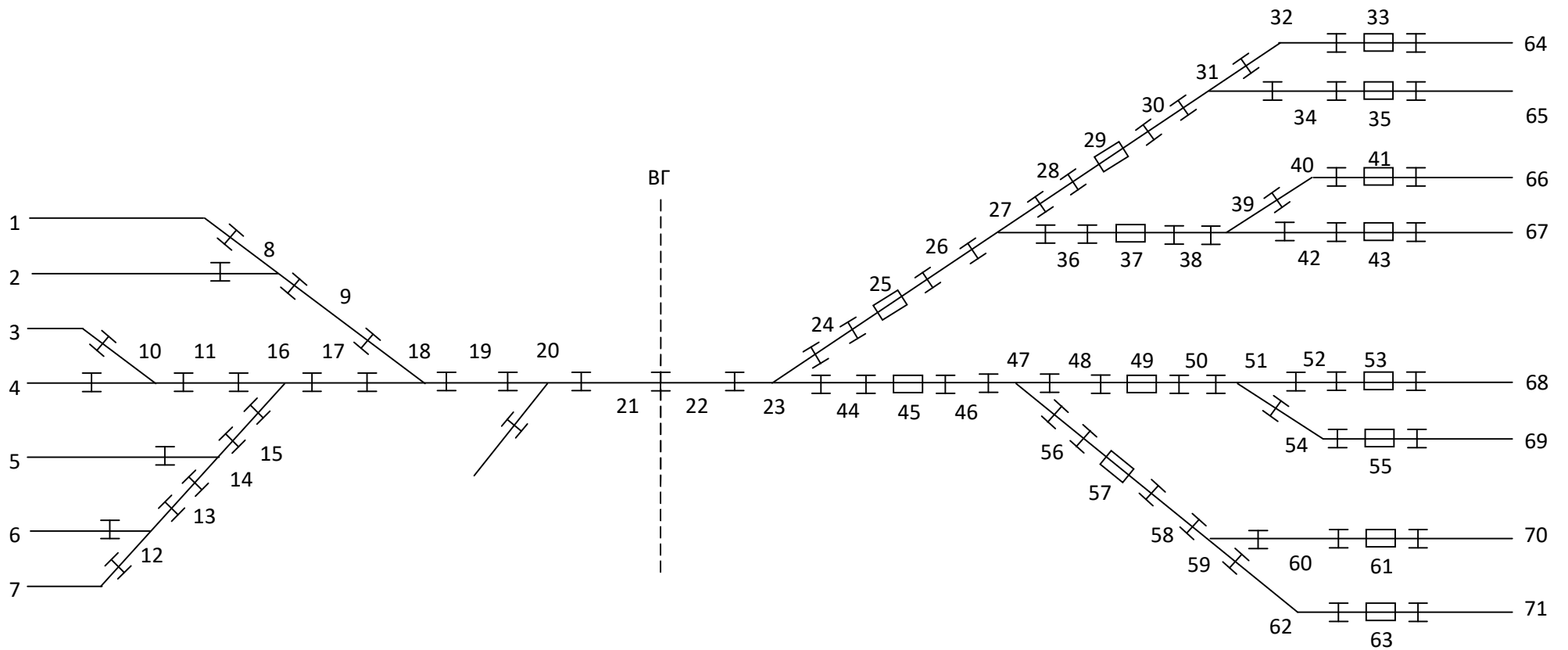


Рис. 3.1 – Приклад гіркової горловини та вхідної частини підгіркового парку сортувальної гірки

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 невивгальмовування 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^Σ можна представити наступною структурою

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

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].

3.3.1. Подання у ФПЗ логічних моделей видів ділянок колії

Ділянка без обладнання та певних видів робіт

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

Ділянка колії зі стрілкою

$$X_2 = (x_1 \vee x_2 \vee x_3 \vee x_5) \wedge x_4 = \overline{\overline{(x_1 \vee x_2 \vee x_3 \vee x_5)} \wedge x_4} = \overline{\overline{x_1} \wedge \overline{\overline{x_2}} \wedge \overline{\overline{x_3}} \wedge \overline{\overline{x_5}} \wedge x_4}$$

Ділянка колії з гальмовими позиціями

$$\begin{aligned} X_3 &= (x_1 \vee x_2 \vee x_3) \wedge x_4 \vee (x_6 \vee x_7) \wedge x_8 \vee x_9 \wedge x_{10} \vee x_{11} \vee x_{12} \vee x_{13} = \\ &= \overline{\overline{(x_1 \vee x_2 \vee x_3) \wedge x_4} \vee \overline{\overline{(x_6 \vee x_7) \wedge x_8} \vee x_9 \wedge x_{10}} \vee x_{11} \vee x_{12} \vee x_{13}} = \\ &= \overline{\overline{(x_1 \vee x_2 \vee x_3) \wedge x_4} \wedge \overline{\overline{(x_6 \vee x_7) \wedge x_8} \wedge x_9 \wedge x_{10}} \wedge \overline{\overline{x_{11}} \wedge \overline{\overline{x_{12}}} \wedge \overline{\overline{x_{13}}}} = \\ &= \overline{\overline{\overline{(x_1 \vee x_2 \vee x_3) \wedge x_4} \wedge \overline{\overline{(x_6 \vee x_7) \wedge x_8} \wedge x_9 \wedge x_{10}} \wedge \overline{\overline{x_{11}} \wedge \overline{\overline{x_{12}}} \wedge \overline{\overline{x_{13}}}} = \\ &= \overline{\overline{\overline{x_1} \wedge \overline{\overline{x_2}} \wedge \overline{\overline{x_3}} \wedge x_4} \wedge \overline{\overline{\overline{x_6} \wedge \overline{\overline{x_7}} \wedge x_8} \wedge x_9 \wedge x_{10}} \wedge \overline{\overline{x_{11}} \wedge \overline{\overline{x_{12}}} \wedge \overline{\overline{x_{13}}}}. \end{aligned}$$

Сортувальні колії, на яких виконуються маневрові роботи

$$\begin{aligned}
 X_4 &= (x_1 \vee x_2 \vee x_3) \wedge x_4 \vee (x_{14} \wedge x_{15}) \vee x_{16} = \\
 &= \overline{\overline{(x_1 \vee x_2 \vee x_3) \wedge x_4 \vee (x_{14} \wedge x_{15}) \vee x_{16}}} = \\
 &= \overline{\overline{(x_1 \vee x_2 \vee x_3) \wedge x_4} \wedge \overline{\overline{x_{14} \wedge x_{15}} \wedge x_{16}}} = \\
 &= \overline{\overline{x_1 \vee x_2 \vee x_3} \wedge x_4 \wedge \overline{\overline{x_{14} \wedge x_{15}} \wedge x_{16}}} = \\
 &= \overline{\overline{x_1 \vee x_2 \vee x_3} \wedge x_4 \wedge \overline{x_{14} \wedge x_{15}} \wedge x_{16}} = \\
 &= \overline{x_1 \wedge x_2 \wedge x_3 \wedge x_4 \wedge x_{14} \wedge x_{15} \wedge x_{16}} .
 \end{aligned}$$

Тоді у ФПЗ логічні моделі ділянок колії станції можна представити таким чином для:

– ділянок колії станції першого виду

$$\begin{aligned}
 X^1 &= \overline{\overline{x_1^1} \wedge \overline{\overline{x_2^1} \wedge \overline{\overline{x_3^1} \wedge x_4^1}}} , \\
 X^2 &= \overline{\overline{x_1^2} \wedge \overline{\overline{x_2^2} \wedge \overline{\overline{x_3^2} \wedge x_4^2}}} , \\
 &\dots , \\
 X^{17} &= \overline{\overline{x_1^{17} \wedge \overline{\overline{x_2^{17} \wedge \overline{\overline{x_3^{17} \wedge x_4^{17}}}}} , \\
 &\dots , \\
 X^{62} &= \overline{\overline{x_1^{62} \wedge \overline{\overline{x_2^{62} \wedge \overline{\overline{x_3^{62} \wedge x_4^{62}}}}} ;
 \end{aligned}$$

– ділянок колії станції другого виду

$$\begin{aligned}
 X^8 &= \overline{\overline{x_1^8 \wedge \overline{\overline{x_2^8 \wedge \overline{\overline{x_3^8 \wedge x_5^8} \wedge x_4^8}}} , \\
 X^{10} &= \overline{\overline{x_1^{10} \wedge \overline{\overline{x_2^{10} \wedge \overline{\overline{x_3^{10} \wedge x_5^{10} \wedge x_4^{10}}}}} , \\
 &\dots , \\
 X^{23} &= \overline{\overline{x_1^{23} \wedge \overline{\overline{x_2^{23} \wedge \overline{\overline{x_3^{23} \wedge x_5^{23} \wedge x_4^{23}}}}} , \\
 &\dots , \\
 X^{59} &= \overline{\overline{x_1^{59} \wedge \overline{\overline{x_2^{59} \wedge \overline{\overline{x_3^{59} \wedge x_5^{59} \wedge x_4^{59}}}}} ;
 \end{aligned}$$

– ділянок колії станції третього виду

$$X^{25} = \overline{\overline{\overline{\overline{x_1^{25} \wedge x_2^{25} \wedge x_3^{25} \wedge x_4^{25} \wedge x_6^{25} \wedge x_7^{25} \wedge x_8^{25} \wedge x_9^{25} \wedge x_{10}^{25} \wedge x_{11}^{25} \wedge x_{12}^{25} \wedge x_{13}^{25}}}}}} ,$$

$$X^{29} = \overline{\overline{\overline{\overline{x_1^{29} \wedge x_2^{29} \wedge x_3^{29} \wedge x_4^{29} \wedge x_6^{29} \wedge x_7^{29} \wedge x_8^{29} \wedge x_9^{29} \wedge x_{10}^{29} \wedge x_{11}^{29} \wedge x_{12}^{29} \wedge x_{13}^{29}}}}}} ,$$

...,

$$X^{63} = \overline{\overline{\overline{\overline{x_1^{63} \wedge x_2^{63} \wedge x_3^{63} \wedge x_4^{63} \wedge x_6^{63} \wedge x_7^{63} \wedge x_8^{63} \wedge x_9^{63} \wedge x_{10}^{63} \wedge x_{11}^{63} \wedge x_{12}^{63} \wedge x_{13}^{63}}}}}} ;$$

– ділянок колії станції четвертого виду

$$X^{64} = \overline{\overline{\overline{\overline{x_1^{64} \vee x_2^{64} \vee x_3^{64} \wedge x_4^{64} \wedge x_{14}^{64} \wedge x_{15}^{64} \wedge x_{16}^{64}}}}}} ,$$

$$X^{65} = \overline{\overline{\overline{\overline{x_1^{65} \vee x_2^{65} \vee x_3^{65} \wedge x_4^{65} \wedge x_{14}^{65} \wedge x_{15}^{65} \wedge x_{16}^{65}}}}}} ,$$

...,

$$X^{71} = \overline{\overline{\overline{\overline{x_1^{71} \wedge x_2^{71} \wedge x_3^{71} \wedge x_4^{71} \wedge x_{14}^{71} \wedge x_{15}^{71} \wedge x_{16}^{71}}}}}} .$$

3.3.2. Подання у ФПЗ логічних моделей підмаршрутів і маршруту розформування–формування состава

Підмаршрут насування

$$\begin{aligned} X_H^4 &= X_1^4 \vee X_2^{10} \vee X_1^{11} \vee X_2^{16} \vee X_1^{17} \vee X_2^{18} \vee X_1^{19} \vee X_2^{20} \vee X_1^{21} \vee X_1^{22} \vee X_2^{23} = \\ &= \overline{\overline{\overline{\overline{X_1^4 \vee X_2^{10} \vee X_1^{11} \vee X_2^{16} \vee X_1^{17} \vee X_2^{18} \vee X_1^{19} \vee X_2^{20} \vee X_1^{21} \vee X_1^{22} \vee X_2^{23}}}}}} = \\ &= \overline{\overline{\overline{\overline{X_1^4 \wedge X_2^{10} \wedge X_1^{11} \wedge X_2^{16} \wedge X_1^{17} \wedge X_2^{18} \wedge X_1^{19} \wedge X_2^{20} \wedge X_1^{21} \wedge X_1^{22} \wedge X_2^{23}}}}}} . \end{aligned}$$

Підмаршрути розпуску (окремі відчепи)

$$\begin{aligned} X_P^{66} &= X_1^{24} \vee X_3^{25} \vee X_1^{26} \vee X_2^{27} \vee X_1^{36} \vee X_3^{37} \vee X_1^{38} \vee X_2^{39} \vee X_1^{40} \vee X_3^{41} = \\ &= \overline{\overline{\overline{\overline{X_1^{24} \vee X_3^{25} \vee X_1^{26} \vee X_2^{27} \vee X_1^{36} \vee X_3^{37} \vee X_1^{38} \vee X_2^{39} \vee X_1^{40} \vee X_3^{41}}}}}} = \end{aligned}$$

$$= \overline{\overline{X_1^{24} \wedge X_3^{25} \wedge X_1^{26} \wedge X_2^{27} \wedge X_1^{36} \wedge X_3^{37} \wedge X_1^{38} \wedge X_2^{39} \wedge X_1^{40} \wedge X_3^{41}}}$$

$$\begin{aligned} X_P^{67} &= X_1^{24} \vee X_3^{25} \vee X_1^{26} \vee X_2^{27} \vee X_1^{36} \vee X_3^{37} \vee X_1^{38} \vee X_2^{39} \vee X_1^{42} \vee X_3^{43} = \\ &= \overline{\overline{X_1^{24} \vee X_3^{25} \vee X_1^{26} \vee X_2^{27} \vee X_1^{36} \vee X_3^{37} \vee X_1^{38} \vee X_2^{39} \vee X_1^{42} \vee X_3^{43}}} = \\ &= \overline{\overline{X_1^{24} \wedge X_3^{25} \wedge X_1^{26} \wedge X_2^{27} \wedge X_1^{36} \wedge X_3^{37} \wedge X_1^{38} \wedge X_2^{39} \wedge X_1^{42} \wedge X_3^{43}}} . \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X_P^{68} &= X_1^{44} \vee X_3^{45} \vee X_1^{46} \vee X_2^{47} \vee X_1^{48} \vee X_3^{49} \vee X_1^{50} \vee X_2^{51} \vee X_1^{52} \vee X_3^{53} = \\ &= \overline{\overline{X_1^{44} \vee X_3^{45} \vee X_1^{46} \vee X_2^{47} \vee X_1^{48} \vee X_3^{49} \vee X_1^{50} \vee X_2^{51} \vee X_1^{52} \vee X_3^{53}}} = \\ &= \overline{\overline{X_1^{44} \wedge X_3^{45} \wedge X_1^{46} \wedge X_2^{47} \wedge X_1^{48} \wedge X_3^{49} \wedge X_1^{50} \wedge X_2^{51} \wedge X_1^{52} \wedge X_3^{53}}} . \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X_P^{71} &= X_1^{44} \vee X_3^{45} \vee X_1^{46} \vee X_2^{47} \vee X_1^{56} \vee X_3^{57} \vee X_1^{58} \vee X_2^{59} \vee X_1^{62} \vee X_3^{63} = \\ &= \overline{\overline{X_1^{44} \vee X_3^{45} \vee X_1^{46} \vee X_2^{47} \vee X_1^{56} \vee X_3^{57} \vee X_1^{58} \vee X_2^{59} \vee X_1^{62} \vee X_3^{63}}} = \\ &= \overline{\overline{X_1^{44} \wedge X_3^{45} \wedge X_1^{46} \wedge X_2^{47} \wedge X_1^{56} \wedge X_3^{57} \wedge X_1^{58} \wedge X_2^{59} \wedge X_1^{62} \wedge X_3^{63}}} . \end{aligned}$$

Загальний підмаршрут розпуску состава

$$\begin{aligned} X_P^\Sigma &= X_P^{66} \vee X_P^{67} \vee X_P^{68} \vee X_P^{71} = \overline{\overline{X_P^{66} \vee X_P^{67} \vee X_P^{68} \vee X_P^{71}}} = \\ &= \overline{\overline{X_P^{66} \wedge X_P^{67} \wedge X_P^{68} \wedge X_P^{71}}} . \end{aligned}$$

Підмаршрут маневрових робіт, що виконуються на заданих сортувальних коліях

$$\begin{aligned} X_{MP} &= X_4^{66} \vee X_4^{67} \vee X_4^{68} \vee X_4^{71} = \overline{\overline{X_4^{66} \vee X_4^{67} \vee X_4^{68} \vee X_4^{71}}} = \\ &= \overline{\overline{X_4^{66} \wedge X_4^{67} \wedge X_4^{68} \wedge X_4^{71}}} . \end{aligned}$$

Маршрут розформування–формування состава

$$X_M = X_H^4 \vee X_P^\Sigma \vee X_{MP} = \overline{\overline{X_H^4 \vee X_P^\Sigma \vee X_{MP}}} = \overline{\overline{X_H^4 \wedge X_P^\Sigma \wedge X_{MP}}} .$$

3.3.3. Перехід від ФПЗ до імовірнісної функції видів ділянок колії

Імовірність виникнення ПБФ на ділянці без обладнання і певних видів робіт

$$P(X_1) = (1 - q_1 q_2 q_3) p_4.$$

Імовірність виникнення ПБФ на ділянці колії зі стрілкою

$$P(X_2) = (1 - q_1 q_2 q_3 q_5) p_4.$$

Імовірність виникнення ПБФ на ділянці колії з гальмовими позиціями

$$P(X_3) = 1 - (1 - (1 - q_1 q_2 q_3) p_4)(1 - (1 - q_6 q_7) p_8)(1 - p_9 p_{10}) q_{11} q_{12} q_{13}.$$

Імовірність виникнення ПБФ на сортувальних коліях, на яких виконуються маневрові роботи

$$P(X_4) = 1 - (1 - (1 - q_1 q_2 q_3) p_4)(1 - p_{14} p_{15}) q_{16}.$$

Тоді імовірнісні функції виникнення ПБФ на конкретних ділянках колії станції можна представити таким чином для:

– ділянок колії станції першого виду

$$P(X^1) = (1 - q_1^1 q_2^1 q_3^1) p_4^1;$$

$$P(X^2) = (1 - q_1^2 q_2^2 q_3^2) p_4^2;$$

...

$$P(X^{17}) = (1 - q_1^{17} q_2^{17} q_3^{17}) p_4^{17};$$

...

$$P(X^{62}) = (1 - q_1^{62} q_2^{62} q_3^{62}) p_4^{62};$$

– ділянок колії станції другого виду

$$P(X^8) = (1 - q_1^8 q_2^8 q_3^8 q_5^8) p_4^8;$$

$$P(X^{10}) = (1 - q_1^{10} q_2^{10} q_3^{10} q_5^{10}) p_4^{10};$$

...

$$P(X^{23}) = (1 - q_1^{23} q_2^{23} q_3^{23} q_5^{23}) p_4^{23};$$

...

$$P(X^{59}) = (1 - q_1^{59} q_2^{59} q_3^{59} q_5^{59}) p_4^{59};$$

– ділянок колії станції третього виду

$$P(X^{25}) = 1 - (1 - (1 - q_1^{25} q_2^{25} q_3^{25}) p_4^{25})(1 - (1 - q_6^{25} q_7^{25}) p_8^{25})(1 - p_9^{25} p_{10}^{25}) \times q_{11}^{25} q_{12}^{25} q_{13}^{25};$$

$$P(X^{29}) = 1 - (1 - (1 - q_1^{29} q_2^{29} q_3^{29}) p_4^{29})(1 - (1 - q_6^{29} q_7^{29}) p_8^{29})(1 - p_9^{29} p_{10}^{29}) \times q_{11}^{29} q_{12}^{29} q_{13}^{29};$$

...

$$P(X^{63}) = 1 - (1 - (1 - q_1^{63} q_2^{63} q_3^{63}) p_4^{63})(1 - (1 - q_6^{63} q_7^{63}) p_8^{63})(1 - p_9^{63} p_{10}^{63}) \times q_{11}^{63} q_{12}^{63} q_{13}^{63};$$

– ділянок колії станції четвертого виду

$$P(X^{64}) = 1 - (1 - (1 - q_1^{64} q_2^{64} q_3^{64}) p_4^{64})(1 - p_{14}^{64} p_{15}^{64}) q_{16}^{64};$$

$$P(X^{65}) = 1 - (1 - (1 - q_1^{65} q_2^{65} q_3^{65}) p_4^{65})(1 - p_{14}^{65} p_{15}^{65}) q_{16}^{65};$$

...

$$P(X^{71}) = 1 - (1 - (1 - q_1^{71} q_2^{71} q_3^{71}) p_4^{71})(1 - p_{14}^{71} p_{15}^{71}) q_{16}^{71}.$$

3.3.4. Перехід від ФПЗ до імовірнісних функцій підмаршрутів і маршруту розформування–формування состава

Імовірність виникнення ПБФ на підмаршруті насуву

$$P(X_H^4) = 1 - (Q^4 Q^{10} Q^{11} Q^{16} Q^{17} Q^{18} Q^{19} Q^{20} Q^{21} Q^{22} Q^{23}).$$

Імовірність виникнення ПБФ на підмаршруті розпуску (окремі відчепи)

$$P(X_P^{63}) = 1 - (Q^{24} Q^{25} Q^{26} Q^{27} Q^{28} Q^{29} Q^{30} Q^{31} Q^{32} Q^{33});$$

$$P(X_P^{65}) = 1 - (Q^{24} Q^{25} Q^{26} Q^{27} Q^{28} Q^{29} Q^{30} Q^{31} Q^{34} Q^{35});$$

$$P(X_P^{66}) = 1 - (Q^{24} Q^{25} Q^{26} Q^{27} Q^{36} Q^{37} Q^{38} Q^{39} Q^{40} Q^{41});$$

$$P(X_P^{67}) = 1 - (Q^{24} Q^{25} Q^{26} Q^{27} Q^{36} Q^{37} Q^{38} Q^{39} Q^{42} Q^{43});$$

$$P(X_P^{68}) = 1 - (Q^{44} Q^{45} Q^{46} Q^{47} Q^{48} Q^{49} Q^{50} Q^{51} Q^{52} Q^{53});$$

$$P(X_P^{69}) = 1 - (Q^{44} Q^{45} Q^{46} Q^{47} Q^{48} Q^{49} Q^{50} Q^{51} Q^{54} Q^{55});$$

$$P(X_P^{70}) = 1 - (Q^{44} Q^{45} Q^{46} Q^{47} Q^{56} Q^{57} Q^{58} Q^{59} Q^{60} Q^{61});$$

$$P(X_P^{71}) = 1 - (Q^{44} Q^{45} Q^{46} Q^{47} Q^{56} Q^{57} Q^{58} Q^{59} Q^{62} Q^{63}).$$

Імовірність виникнення ПБФ на загальному підмаршруті розпуску состава

$$P(X_P^\Sigma) = 1 - (Q_P^{64} Q_P^{65} Q_P^{66} Q_P^{67} Q_P^{68} Q_P^{69} Q_P^{70} Q_P^{71}).$$

Імовірність виникнення ПБФ на підмаршруті маневрових робіт, що виконуються на заданих сортувальних коліях

$$P(X_{MP}) = 1 - (Q_4^{64} Q_4^{65} Q_4^{66} Q_4^{67} Q_4^{68} Q_4^{69} Q_4^{70} Q_4^{71}).$$

Імовірність виникнення ПБФ на заданому маршруті розформування–формування состава

$$P(X_M) = 1 - (Q_H^4 Q_P^\Sigma Q_{MP}).$$

3.4. Розрахунок ймовірностей виникнення ПБФ та визначення адекватності моделі

Попередня перевірка адекватності моделі ризику виникнення ПБФ при виконанні технологічного процесу розформування–формування составів показала, що вона достатньо ефективно відображає поведінку предмета дослідження. Однак, обмеженість статистичних даних, відсутність «класичних» методик не дозволяє зробити остаточні висновки щодо коректності отриманих результатів моделювання.

Виходячи з цих обставин пропонується виконати порівняльний розрахунок імовірності виникнення ПБФ при виконанні технологічного процесу розформування–формування составів за запропонованим математичним апаратом та загальновідомою методологією теорії безпеки функціонування гіркових пристроїв [115].

Згідно з [115], найбільш об'єктивним є загальний критерій, який комплексно враховує випадковий характер причин, що призводять до небезпечних ситуацій. Таким критерієм може бути імовірність P безпечного прослідування відчепу з моменту початку насуву на гірку до зупинки на сортувальних коліях. Імовірність ПБФ позначимо Q . Очевидно, що $Q = 1 - P$.

Імовірність

$$P = P_{nr} P_{ум} P_{ус} P_{нс},$$

де P_{nr} – імовірність безпечного функціонування гіркових пристроїв (БФГП) для підсистеми насуву та розпуску;

$P_{ум}$ – імовірність безпечного функціонування гіркових пристроїв для підсистеми управління маршрутами;

$P_{ус}$ – імовірність безпечного функціонування гіркових пристроїв для підсистеми управління швидкістю скочування;

$P_{нс}$ – імовірність безпечного функціонування гіркових пристроїв обумовлена надійністю колії та рухомого складу.

Імовірність БФГП для кожної з підсистем

$$P_p = P_y P_o P_m P_v$$

де P_y – імовірність БФГП, що визначається небезпечними відмовами пристроїв;

P_o – імовірність БФГП, що визначається помилками оператора;

P_m – імовірність БФГП, що визначається порушенням технології технічного обслуговування;

P_v – імовірність БФГП, що визначається несприятливим впливом навколишнього середовища.

Тоді

$$P_{нр} = 1 - (Q_{у нр} + Q_{о нр} + Q_{т нр} + Q_{в нр});$$

$$P_{ум} = 1 - (Q_{у ум} + Q_{о ум} + Q_{т ум} + Q_{в ум});$$

$$P_{ус} = 1 - (Q_{у ус} + Q_{о ус} + Q_{т ус} + Q_{в ус});$$

$$P_{нс} = 1 - (Q_{у нс} + Q_{о нс} + Q_{т нс} + Q_{в нс}).$$

Прийняв значення імовірностей Q рівними $0,0001$ [115] та підставив відповідні значення імовірностей в зазначені вище вирази отримаємо, що загальна імовірність ПБФ при виконанні технологічного процесу розформування–формування становить дорівнює $1,590 \cdot 10^{-4}$.

При розрахунку імовірностей виникнення подій на ділянках колії, підмаршрутах та маршруту розформування–формування состава логіко–імовірнісним методом при зазначених вище значеннях імовірностей виникнення небезпечних ситуацій отримаємо такі імовірності виникнення ПБФ.

Імовірність виникнення ПБФ на ділянці без обладнання і певних видів робіт
 $P(X_1) = 2,997 \cdot 10^{-6}$.

Імовірність виникнення ПБФ на ділянці колії зі стрілкою
 $P(X_2) = 3,994 \cdot 10^{-6}$.

Імовірність виникнення ПБФ на ділянці колії з гальмовими позиціями
 $P(X_3) = 3,002 \cdot 10^{-4}$.

Імовірність виникнення ПБФ на сортувальних коліях, на яких виконуються маневрові роботи $P(X_4) = 1,003 \cdot 10^{-4}$.

Імовірність виникнення ПБФ на підмаршруті насуву
 $P(X_H^4) = 4,037 \cdot 10^{-4}$.

Імовірність виникнення ПБФ на підмаршруті розпуску (окремі відчепи)
 $P(X_P^{53}) = 9,064 \cdot 10^{-4}$.

Імовірність виникнення ПБФ на підмаршруті маневрових робіт
 $P(X_{MP}) = 1,003 \cdot 10^{-4}$.

Імовірність виникнення ПБФ на заданому маршруті розформування–формування состава $P(X_M) = 1,406 \cdot 10^{-4}$.

Порівнюючи результати маємо розбіжність 13%, що дозволяє зробити висновок про адекватність моделі та коректність отриманих результатів.

Ключовим та відповідальним етапом в функціонування системи управління ризиками на сортувальній гірці є реалізація управляючих впливів на керовану систему.

Основним параметром для визначення необхідних управляючих впливів на керовану систему є імовірність виникнення ПБФ на заданому маршруті розформування–формування состава.

У зв'язку з відсутністю офіційних даних про кількісну оцінку рівня безпеки функціонування сортувальних гірок, в якості орієнтирів величин імовірностей ПБФ сортувальної гірки $P_{сг}$, в межах яких повинно відбуватися функціонування сортувальних гірок, прийmemo стандарт AS/NZS 4360:2004. Тоді можна вважати, що ризик виникнення ПБФ є прийнятним при $P_{сг} \leq 10^{-6}$, ризик є перехідним при $10^{-6} < P_{сг} < 10^{-3}$, ризик є неприйнятним при $P_{сг} \geq 10^{-3}$.

Процедуру реалізації управляючих впливів на керовану систему наведено на рисунку 3.2.

P – множина ймовірностей виникнення порушень безпеки функціонування сортувальної гірки $P = \{p_1, p_2, p_3, \dots, p_{13}\}$;

p_1 – ймовірність відмови елементів рейкової колії;

p_2 – ймовірність появи на колії сторонніх предметів;

p_3 – ймовірність відмови рухомого состава;

p_4 – ймовірність відмови елементів стрілочного переводу;

p_5 – ймовірність неможливості приведення уповільнювача в робочий або розгальмований стан;

p_6 – ймовірність зменшення гальмової потужності сповільнювача;

p_7 – ймовірність порушення габаритів уповільнювача або габаритів вагонів відчепу;

p_8 – ймовірність вижимання вагона з уповільнювача при гальмуванні;

p_9 – ймовірність виходу відчепу з уповільнювача зі швидкістю, що відрізняється від заданої за умовами інтервального або прицільного регулювання;

p_{10} – ймовірність перевищення допустимої швидкості входу на уповільнювач

p_{11} – ймовірність виходу рухомого состава із сортувальної колії;

p_{12} – ймовірність наїзду маневрового состава на вагони, що стоять на сортувальній колії, з підвищеною швидкістю;

p_{13} – ймовірність невиявлення зазначених вище подій оперативним персоналом і пристроями гіркової автоматики;

K – множина причин виникнення порушень безпеки функціонування сортувальної гірки $K = \{k_1, k_2, k_3, \dots, k_{39}\}$;

k_1 – дефекти в рейці;

k_2 – злам рейки;

k_3 – неприпустима зміна параметрів рейкової колії;

k_4 – деформація земляного полотна;

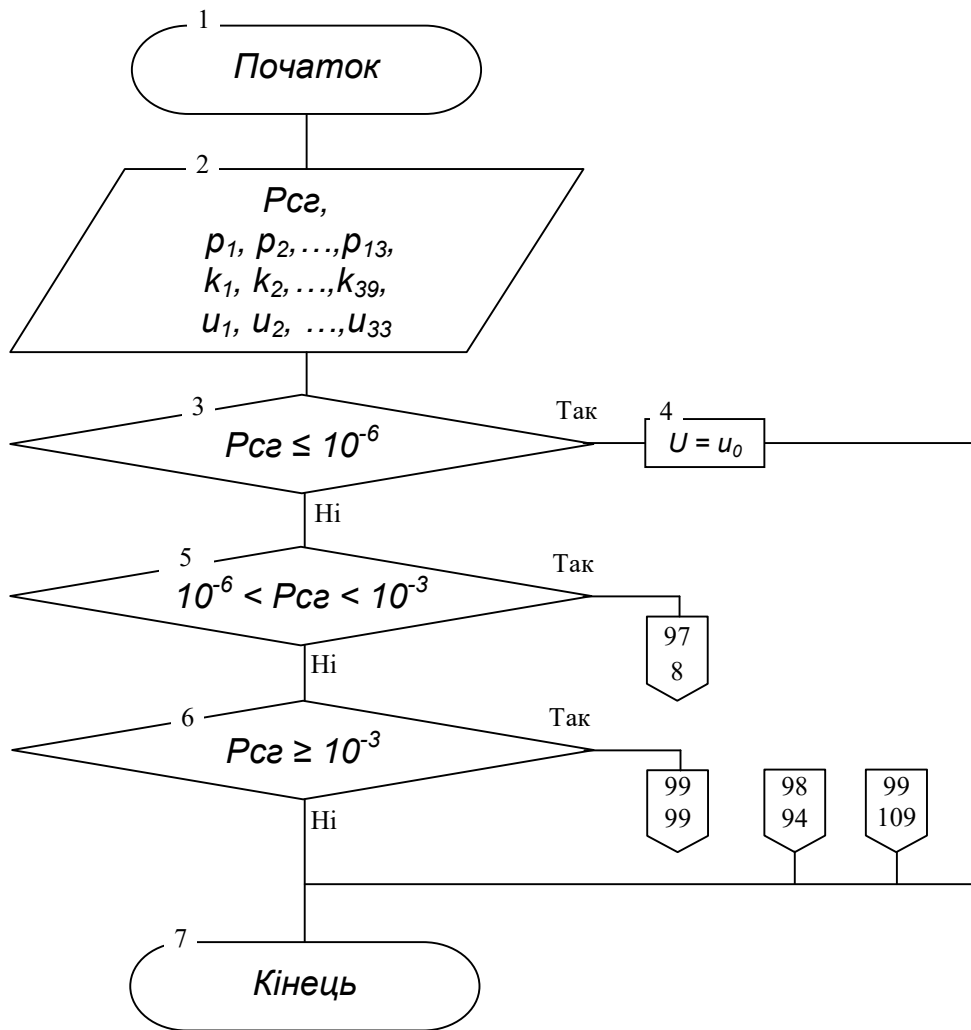


Рис. 3.2 – Процедура реалізації управляючих впливів на керовану систему

- k_5 – падіння на колію деталей вагона;
- k_6 – злам колісної пари або буксового вузла;
- k_7 – несправність візка;
- k_8 – несправність автозчепного обладнання;
- k_9 – несправність автогальмове обладнання;
- k_{10} – несправність кузову вагону;
- k_{11} – несправність рами вагону;
- k_{12} – знос або злам гостряка;
- k_{13} – знос або злам хрестовини;
- k_{14} – обрив стрілочних тяг;
- k_{15} – зниження тиску повітря в пневматичній мережі уповільнювача;

- k_{16} – несправність зворотного клапана в лінії демпферів;
- k_{17} – відмови керуючої апаратури;
- k_{18} – відмови механічної частини уповільнювача;
- k_{19} – порушення технології технічного обслуговування (через неправильне регулювання);
- k_{20} – зниження тиску повітря в пневматичній мережі уповільнювача;
- k_{21} – зниження коефіцієнта тертя внаслідок забруднення, або опадів;
- k_{22} – наявність накату на гальмових шинах вище припустимого;
- k_{23} – несправність уповільнювача;
- k_{24} – несправність вагонів відчепу;
- k_{25} – неправильно закріплений вантаж у вагонах відчепу;
- k_{26} – помилка оператора у визначенні вагової категорії вагона;
- k_{27} – помилка оператора в розрахунку заданої швидкості;
- k_{28} – погрішність реалізації розрахункової швидкості;
- k_{29} – перевищення відчепом припустимої вхідної швидкості;
- k_{30} – відмова швидкостеміра;
- k_{31} – неправильний вибір попередження при розгальмовуванні;
- k_{32} – невігальмовування відчепу на попередній гальмовій позиції;
- k_{33} – несправність уповільнювача попередньої гальмової позиції ;
- k_{34} – незакріплення состава на колії – відсутність або неправильне встановлення башмака під составом;
- k_{35} – помилка машиніста маневрового локомотива;
- k_{36} – помилка укладача;
- k_{37} – помилка чергового по гірці;
- k_{38} – помилки оперативного персоналу;
- k_{39} – помилки пристроїв гіркової автоматики;
- U – множина управляючих впливів на керовану систему $U = \{u_0, u_1, u_2, \dots, u_{32}\}$;
- u_0 – ризик є прийнятним, виконуються профілактичні заходи та подальший моніторинг стану сортувальної гірки та середовища функціонування;
- u_1, u_2 – заміна рейки;

u_3 – відновлення рейкової колії;
 u_4 – відновлення земляного полотна;
 u_5 – зовнішній огляд колії та видалення сторонніх предметів;
 u_6 – усунення несправностей колісних пар або буксових вузлів;
 u_7 – усунення несправностей ходових частин;
 u_8 – усунення несправностей автозчепного обладнання;
 u_9 – усунення несправностей автогальмового обладнання;
 u_{10} – усунення несправностей кузова вагону;
 u_{11} – усунення несправностей рами вагону;
 u_{12} – заміна або відновлення гостряка;
 u_{13} – заміна або відновлення хрестовини;
 u_{14} – заміна або відновлення стрілочних тяг;
 u_{15} – відновлення герметичності з'єднань в пневматичній мережі;
 u_{16} – заміна клапана;
 u_{17} – відновлення або заміна керуючої апаратури;
 u_{18} – відновлення або заміна механічної частини уповільнювача;
 u_{19} – виконання регулювання уповільнювача;
 u_{20} – відновлення тиску по ступенях гальмування;
 u_{21} – очищення верхньої поверхні гальмових шин уповільнювача;
 u_{22} – заміна гальмових шин;
 u_{23} – ремонт або заміна несправних частин уповільнювача;
 u_{24} – відновлення габаритів вантажу в вагоні;
 u_{25} – відновлення кріплення вантажу у вагонах відчепу;
 u_{26} – підвищення кваліфікації працівників;
 u_{27} – поліпшення умов праці працівників;
 u_{28} – заміна швидкостеміра;
 u_{29} – заміна стрілочного переводу;
 u_{30} – заміна уповільнювача;
 u_{31} – заміна працівника; u_{32} – залучення до відповідальності працівника;
 u_{33} – заміна рухомого складу.

4. УДОСКОНАЛЕННЯ ЕРГАТИЧНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ БЕЗПЕКОЮ ФУНКЦІОНУВАННЯ СОРТУВАЛЬНОЇ ГІРКИ

4.1. Дослідження надійності виконання оператором дії технологічного процесу

Як вказувалося вище, на надійність системи «людина-техніка-середовище-збурювання» впливають чотири фактори: надійність людини-оператора (імовірність, що оператор системи не допустить помилок), надійність техніки (імовірність безвідмовної роботи техніки), несприятливі впливи зовнішнього середовища та зовнішні заздалегідь не передбачені впливи. Складова «людина-оператор» має більшу вагу, оскільки за статистикою найбільша кількість аварій відбувається з вини людини. Дослідження показують, що при одноразовому резервуванні технічних пристроїв кваліфікованим оператором надійність системи виявляється вище, ніж при використанні чотириразового технічного резервування [119].

З іншого боку, відсутність в оператора належної підготовки може звести до нуля навіть найвищий рівень надійності технічних пристроїв [120]. Ця обставина, а також складна структура систем і комплексів, небезпека виконуваних дій, втрата працездатності оператора вимагають періодичного контролю готовності операторів до виконання поставлених задач. Для об'єктивної оцінки поточного стану готовності операторів до виконання дій технологічних процесів, попередження виникнення аварій і позаштатних ситуацій внаслідок невірних або несвоєчасних дій людини необхідні способи та засоби оцінки надійності роботи оператора.

Відомо, що надійність оператора в роботі характеризується такими показниками як безпомилковість, своєчасність, готовність та відновлюваність.

В розрахунку будемо визначати надійність виконання оператором дії технологічного процесу за цими чотирма факторами – безпомилковістю, своєчасністю, готовністю та відновлюваності, в реальних умовах роботи і при тестуванні

У реальних умовах імовірність безпомилкового виконання оператором дії технологічного процесу P_{bn}^{real} на основі статистики його роботи

$$P_{bn}^{real} = e^{-\frac{\sum_{i=1}^{n_r} N_i^r}{n_r}},$$

де n_r – число виконання дії в реальних процесах;

N_i^r – число допущених помилок при виконанні i -ої реальної дії.

Імовірність своєчасного виконання оператором дії технологічного процесу $P_{сч}^{real}$ на основі статистики його роботи в реальних умовах при нормальному законі розподілу часу виконання дії, однакових умовах виконання дії і фактичному часі виконання дії не залежному від часу попередніх виконань [121]

$$P_{сч}^{real} = \int_0^{\tau} \frac{1}{\sigma_r \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu_r)^2}{2\sigma_r^2}} dx,$$

$$\mu_r = \frac{1}{n_r} \sum_{i=1}^{n_r} t_i^r,$$

$$\sigma_r = \sqrt{\frac{1}{n_r} \sum_{i=1}^{n_r} (t_i^r - \mu_r)^2},$$

де τ – граничний (заданий) час виконання дії;

n_r – число виконання дії в реальних процесах;

t_i^r – час виконання дії при виконанні в i -ій реальній роботі.

Показником готовності оператора до виконання дії технологічного процесу є коефіцієнт готовності, тобто імовірність включення оператора в роботу $P_{гт}^{real}$ в будь-який момент часу [122]

$$P_{гт}^{real} = 1 - \frac{T_0}{T},$$

де T_0 – час, протягом якого оператор відсутній на робочому місці (не здатен приймати інформацію, що надходить);

T – загальний час роботи.

Основним показником відновлюваності є імовірність виправлення помилки

$P_{від}^{real}$ [122]

$$P_{від}^{real} = P_{\kappa} P_{вияв} P_{\nu}$$

де P_{κ} – імовірність видачі сигналу схемою контролю;

$P_{вияв}$ – імовірність виявлення оператором сигналу контролю;

P_{ν} – імовірність виправлення помилкових дій при повторному рішенні задачі протягом заданого часу.

Надійність виконання оператором дії технологічного процесу можна подати вектором \vec{p} в n -мірному просторі P за базисом $(\vec{p}_1, \vec{p}_2, \dots, \vec{p}_n)$. В цьому випадку надійність оператора буде уявляти собою вектор [123]

$$\vec{p} = a_1 \vec{p}_1 + a_2 \vec{p}_2 + \dots + a_n \vec{p}_n,$$

де a_1, a_2, \dots, a_n – координати вектора \vec{p} в просторі P .

В нашому випадку надійність виконання оператором дії технологічного процесу буде представлена як розкладання вектора \vec{p} за базисом $(\vec{p}_{\delta n}, \vec{p}_{сч}, \vec{p}_{гт}, \vec{p}_{від})$, що задає чотирьохвимірний простір P

$$\vec{p} = a_1 \vec{p}_{\delta n} + a_2 \vec{p}_{сч} + a_3 \vec{p}_{гт} + a_4 \vec{p}_{від}.$$

Значення координат вектора надійності оператора визначають безпомилковість a_1 , своєчасність a_2 , готовність a_3 , відновлюваність a_4 виконання дії оператором.

Чисельним виразом значення надійності виконання оператором дії приймемо нормовану довжину вектора \vec{p}

$$|\vec{p}| = \sqrt{\frac{a_1^2 + a_2^2 + a_3^2 + a_4^2}{4}}.$$

Таке подання надійності виконання оператором дії технологічного процесу у вигляді вектора в чотирьохвимірному просторі дозволяє розкласти узагальнений показник надійності виконання дії оператором на складові та оцінити кожен з них окремо; оцінити зміну надійності оператора в процесі підготовки, реальної роботи або очікування між реальними роботами; при необхідності розширити розмірність простору та ввести додаткові характеристики, що впливають на надійність оператора.

Таким чином, надійність виконання оператором дії технологічного процесу у заданий час τ $P^{реал}$ за даними його реальної роботи може бути визначена в такий спосіб

$$P^{реал} = \sqrt{\frac{P_{\text{бн}}^{реал^2} + P_{\text{сч}}^{реал^2} + P_{\text{зм}}^{реал^2} + P_{\text{від}}^{реал^2}}{4}}.$$

Імовірність безпомилкового $P_{\text{бн}}^{mcm}$, своєчасного $P_{\text{сч}}^{mcm}$ виконання дії, готовності оператора $P_{\text{зм}}^{mcm}$ та відновлюваність $P_{\text{від}}^{mcm}$ за даними, отриманим при тестуванні

$$P_{\text{бн}}^{mcm} = e^{-\frac{\sum_{i=1}^{n_m} N_i^m}{n_m}},$$

$$P_{\text{сч}}^{mcm} = \int_0^{\tau} \frac{1}{\sigma_m \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu_m)^2}{2\sigma_m^2}} dx,$$

$$\mu_m = \frac{1}{n_m} \sum_{i=1}^{n_m} t_i^m,$$

$$\sigma_m = \sqrt{\frac{1}{n_m} \sum_{i=1}^{n_m} (t_i^m - \mu_m)^2},$$

$$P_{\text{зм}}^{mcm} = 1 - \frac{T_0}{T},$$

$$P_{\text{від}}^{\text{mcm}} = P_{\text{к}} P_{\text{вияв}} P_{\text{в}},$$

де n_m – число виконання дій у тестуванні;

t_i^m – час виконання дії при виконанні i -ого тестування;

N_i^m – число допущених помилок при виконанні i -ого тестування.

Для подальших розрахунків будемо вважати $P_{\text{від}}^{\text{реал}}$ та $P_{\text{від}}^{\text{mcm}}$ рівними 0,8 [122].

Надійність виконання оператором дії за даними, отриманим при тестуванні

$$P^{\text{mcm}} = \sqrt{\frac{P_{\text{он}}^{\text{mcm}^2} + P_{\text{сч}}^{\text{mcm}^2} + P_{\text{зм}}^{\text{mcm}^2} + P_{\text{від}}^{\text{mcm}^2}}{4}}.$$

Загальна надійність P виконання оператором дії технологічного процесу за час τ з врахуванням того, що оцінки надійності виконання оператором дії технологічного процесу, що отримані за результатами реальної роботи та за результатами тестування, незалежні і рівнозначні

$$P = \frac{P^{\text{реал}} + P^{\text{mcm}}}{2}.$$

Для отримання числових значень розрахованих вище параметрів було проведено аналіз роботи десяти операторів сортувальної гірки та проведено тестування відібраної групи операторів з різним стажем роботи за допомогою розробленого програмного забезпечення на основі процедури реалізації способу професійного відбору операторів.

За отриманими даними імовірність безпомилкового виконання оператором дії технологічного процесу $P_{\text{он}}^{\text{реал}} = 0,867$, імовірність своєчасного виконання оператором дії технологічного процесу $P_{\text{сч}}^{\text{реал}} = 0,915$, коефіцієнт готовності $P_{\text{зм}}^{\text{реал}} = 0,875$. Тоді $P^{\text{реал}} = 0,865$.

За даними, що отримані в результаті тестування операторів $P_{\text{он}}^{\text{mcm}} = 0,984$, $P_{\text{сч}}^{\text{mcm}} = 0,985$, $P_{\text{зм}}^{\text{mcm}} = 0,95$. Тоді $P^{\text{mcm}} = 0,9329$.

Загальна надійність виконання оператором дії технологічного процесу за результатами реальної роботи та тестування $P = 0,899$.

З цього випливає, що надійність виконання оператором дії технологічного процесу при проведенні тестування оператора виявляється вище на 4%, ніж надійність оператора працюючого тільки в реальних умовах.

4.2. Удосконалення способу професійного відбору операторів

В основу способу професійного відбору операторів, що розробляється, поставлене завдання вдосконалення способів професійного відбору операторів шляхом підвищення достовірності інформації про роботу оператора та об'єктивності оцінювання придатності оператора до виконання заданої роботи за рахунок більшого обсягу інформації про роботу оператора.

Запропонований спосіб призначений для визначення психофізіологічних характеристик оператора і може бути використаний у різних галузях народного господарства, зокрема, на залізничному транспорті для професійного відбору операторів. Спосіб може бути реалізований або за допомогою спеціалізованого пристрою або за допомогою персональної ЕОМ програмним шляхом.

Поставлене завдання вирішується тим, що у відомому способі професійного відбору операторів, що включає цикл випробувань, що складається з N випробувань, у кожне з яких входить формування завдання, пред'явлення його оператору протягом заданого інтервалу часу, формування оператором відповіді після сприйняття завдання або після закінчення встановленого інтервалу часу видачі завдання, порівняння завдання з відповіддю та фіксацію помилки, якщо вони не відповідають один одному, тобто, якщо оператор припустився помилки при формуванні відповіді, визначення та запам'ятовування результатів випробування - тривалості відповіді й наявності помилки, виконують M циклів випробувань, при цьому пред'явлення оператору завдання роблять у першому циклі випробувань протягом максимального передбаченого часу, а в кожному з наступних циклів протягом часу, меншого часу пред'явлення в попередньому

циклі, на встановлену величину та у кожному циклі визначають число помилок з початку циклу, результати кожного випробування – тривалість відповіді, наявність помилки у випробуванні та число помилок у циклі з його початку запам'ятовують, а після закінчення M циклів за результатами всіх випробувань визначають психофізіологічні характеристики оператора, за якими оцінюють придатність оператора до виконання відповідної роботи.

Введення виконання M циклів випробувань, пред'явлення оператору завдання в першому циклі випробувань протягом максимального передбаченого часу, а в кожному з наступних циклів протягом часу, меншого часу пред'явлення в попередньому циклі, на встановлену величину, визначення в кожному циклі числа помилок з початку циклу, запам'ятовування результатів кожного випробування, а, після закінчення M циклів, визначення за результатами всіх випробувань психофізичних характеристик оператора, наприклад, залежності числа помилок оператора та тривалості часу відповіді від тривалості часу пред'явлення інформації оператору, оцінювання придатності оператора до виконання відповідної роботи відповідно до зазначених характеристик підвищує вірогідність інформації про роботу оператора та об'єктивність оцінювання придатності оператора до виконання заданої роботи, тому що забезпечується одержання та використання більшого обсягу інформації про роботу оператора - результатів $M \cdot N$ випробувань.

На рисунку 4.1 наведено процедуру реалізації способу професійного відбору операторів.

Розглянемо варіант реалізації способу за допомогою персональної ЕОМ, наприклад, при відборі операторів для залізничної станції.

При реалізації програмним шляхом попередньо підготовляють і запам'ятовують завдання, які можуть видаватися оператору у встановленому або у випадковому порядку.

Попередньо встановлюють число випробувань - N в одному циклі та число циклів – M для набору потрібного обсягу інформації.

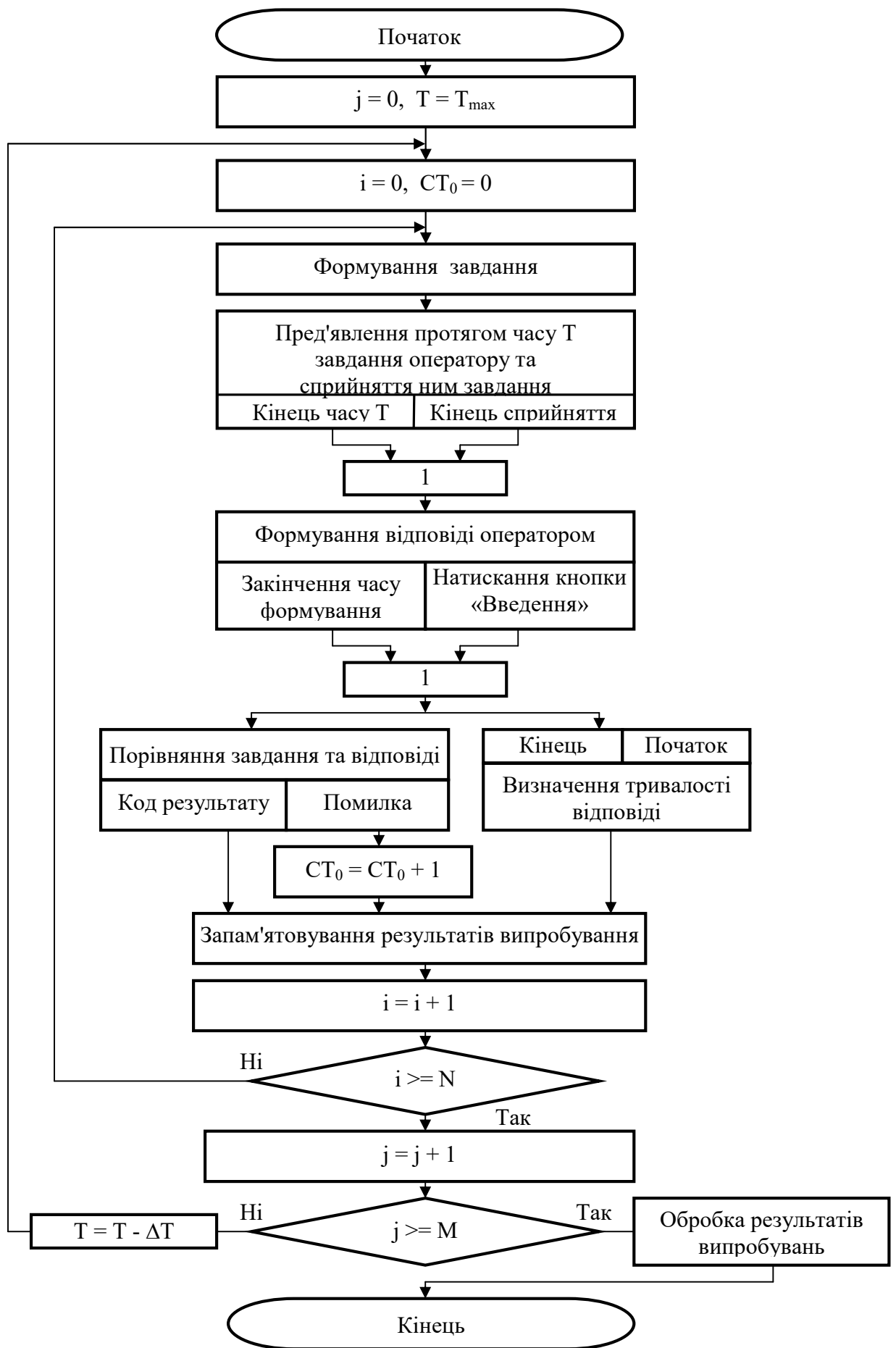


Рис. 4.1 – Процедура реалізації способу професійного відбору операторів

Далі складають завдання з установки маршрутів руху на залізничній станції та відповіді на кожне завдання у вигляді номерів кнопок шляхів, стрілок і світлофорів, які потрібно натиснути оператору, та порядку їхнього натискання, щоб установити заданий маршрут. Крім того, по нормах часу на установку маршруту на конкретній станції, визначають максимальний і мінімальний час завдання маршруту та зменшення часу пред'явлення завдання в наступних циклах. Оператор сідає перед монітором ЕОМ і за допомогою клавіатури вводить сигнал готовності. При одержанні сигналу готовності ЕОМ привласнює значення «0» номеру циклу – j і максимальне значення інтервалу часу - T ($T = T_{\max}$) видачі завдання оператору. Далі ЕОМ привласнює значення «0» номеру випробування – i , установлює в нульове положення лічильник помилок (CT_0), формує завдання – вибирає з раніше підготовлених одне із завдань, наприклад, у випадковому порядку, і пред'являє – видає його оператору на екран монітора протягом встановленого часу - T . Оператор, після сприйняття завдання або після закінчення часу T , починає формувати відповідь натисканням відповідних кнопок – підготовляє маршрут.

Одночасно з початком формування відповіді починається визначення тривалості відповіді. Натисканням кнопки «Введення» оператор імітує установку маршруту. Таким чином, моментом початку формування відповіді вважається або натискання першої кнопки при підготовці маршруту, або закінчення заданого інтервалу часу видачі завдання ЕОМ, а моментом закінчення формування відповіді вважається або натискання кнопки «Введення», або закінчення заданого інтервалу часу відповіді. Після закінчення формування відповіді ЕОМ порівнює видане завдання з уведеною оператором відповіддю та у випадку відповідності відповіді завданню формує код результату, рівний «0», а у випадку невідповідності – код результату, рівний «1», крім того, при розбіжності завдання та відповіді до вмісту лічильника помилок додається «1». Отримані коди – код тривалості відповіді, код помилки та число помилок з початку циклу записуються як результати даного випробування в пам'ять. Далі збільшується на «1» номер випробування – i , якщо він менше встановленого числа випробувань - N у циклі,

то виконується наступне випробування, тобто виконуються описані вище дії, починаючи з формування завдання. Якщо номер випробування не менше N , то збільшується на «1» номер циклу - j і, якщо він менше заданого числа циклів, то час пред'явлення завдання оператору на наступний цикл зменшується на задану величину (на ΔT) і починається наступний цикл випробувань із моменту, коли ЕОМ привласнює значення «0» номеру випробування – i , встановлює в нульове положення лічильник помилок, формує завдання та пред'являє його оператору на екран монітора протягом установленого часу і далі аналогічно описаному вище. Якщо ж номер циклу не менше M , то ЕОМ перемикають на обробку по заданій програмі результатів випробувань. При обробці результатів, наприклад, за допомогою статистичних методів визначають залежність зміни часу відповіді та залежність числа помилок від тривалості часу пред'явлення завдання оператору, а також визначають мінімальний час сприйняття завдання оператором, при якому він не допустив помилок або допустив не більше встановленого числа помилок. По зазначених залежностях і за мінімальним часом сприйняття завдання оператором, при якому він не допустив помилок або допустив не більше встановленого числа помилок, і по встановлених нормативних значеннях часу виконання операцій по установці маршруту судять про придатність оператора до виконання даного виду робіт.

4.3. Удосконалення пристрою для навчання та оцінювання роботи операторів

В основу пристрою для професійного відбору операторів, що розробляється, поставлене завдання вдосконалення пристрою для навчання та оцінювання операторів шляхом розширення його функціональних можливостей за рахунок можливості зміни тривалості інтервалу часу видачі оператору завдання, за рахунок надання можливості оператору побачити і проаналізувати свої помилки та за рахунок можливості оцінки роботи оператора по накопиченим протягом заданого часу результатам.

Поставлене завдання вирішується тим, що у відомий пристрій для навчання та оцінювання операторів, що містить формувач завдання, формувач відповіді, вхід якого з'єднаний із входом формувача завдання, блок порівняння, до перших і других входів якого підключені треті виходи формувача відповіді і другі виходи формувача завдання відповідно, блок керування, блок визначення тривалості відповіді, блок фіксації помилок, четвертий вхід якого з'єднаний з виходом блоку порівняння, індикатор завдання, до інформаційних входів якого підключені другі виходи формувача завдання, введений блок включення, блок завдання режимів, формувач часових інтервалів, блок пам'яті, індикатор відповіді, індикатор тривалості відповіді, індикатор помилки відповіді та індикатор помилок циклу, вхід дозволу якого з'єднаний з першим входом дозволу індикатора завдання та з входами дозволу індикаторів відповіді, тривалості відповіді, помилки відповіді та з шостим виходом блоку керування, перший вихід якого підключений до першого входу блоку включення, другий вхід якого з'єднаний з першим виходом блоку завдання режимів, другий і третій виходи якого підключені відповідно до першого і другого входів блоку керування, третій вхід якого з'єднаний з третім входом блоку фіксації помилок і з першим виходом формувача часових інтервалів, до другого, третього, четвертого та п'ятого входів якого підключені відповідно четвертий вихід блоку завдання режимів, перший і другий виходи формувача відповіді та перший вихід формувача завдання, вхід якого з'єднаний з першими входами блоку визначення тривалості відповіді і блоку фіксації помилок та з другим виходом блоку керування, треті виходи якого підключені до перших адресних входів блоку пам'яті, вхід запису інформації якого з'єднаний з п'ятим виходом блоку керування, четверті виходи якого підключені до других адресних входів блоку пам'яті та до перших входів формувача часових інтервалів, другий вихід якого з'єднаний з другим входом блоку визначення тривалості відповіді, виходи якого підключені до інформаційних входів індикатора тривалості відповіді та до перших інформаційних входів блоку пам'яті, другий інформаційний вхід якого з'єднаний з інформаційним входом індикатора помилки відповіді та з першим виходом блоку фіксації помилок, другі виходи якого

підключені до третіх інформаційних входів блоку пам'яті та до інформаційних входів індикатора помилок циклу, сьомий вихід блоку керування з'єднаний з другим входом блоку фіксації помилок, третій вихід формувача часових інтервалів підключений до другого входу дозволу індикатора завдання, треті виходи формувача відповіді з'єднані з інформаційними входами індикатора відповіді.

Введення у пристрій для навчання та оцінювання роботи операторів блоку включення, блоку завдання режимів, формувача часових інтервалів, блоку пам'яті, індикатора відповіді, індикатора тривалості відповіді, індикатора помилки відповіді та індикатора помилок циклу і нових зв'язків дозволяє істотно розширити функціональні можливості пристрою за рахунок зміни тривалості інтервалу часу видачі завдання оператору в режимах «Тренування» і «Залік», за рахунок запам'ятовування всіх результатів у режимі «Залік» і оцінювання роботи оператора по накопиченим протягом заданого часу результатам роботи оператора, що, крім того, дозволяє визначити граничні можливості оператора по сприйняттю завдань, і також за рахунок одержання можливості побачити і проаналізувати свої помилки в режимах «Навчання» і «Тренування».

На рисунку 4.2 зображено структурну схему пристрою для навчання та оцінювання роботи операторів.

Пристрій для навчання та оцінювання роботи операторів, містить блок включення (БВ) 1, вихід якого з'єднаний з виходом «Скид.» (Скидання) пристрою, блок завдання режимів (БЗР) 2, перший вихід якого підключений до другого входу блоку включення 1, формувач відповіді (ФВ) 3, формувач завдання (ФЗ) 4, блок керування (БК) 5, перший вихід якого з'єднаний з першим входом блоку включення 1, формувач часових інтервалів (ФЧІ) 6, до другого, третього, четвертого і п'ятого входів якого підключені відповідно четвертий вихід блоку завдання режиму 2, перший і другий виходи формувача відповіді 3 і перший вихід формувача завдання 4, блок порівняння (БПор) 7, блок визначення тривалості відповіді (БВТВ) 8, другий вхід якого з'єднаний з другим виходом формувача часових інтервалів 6.

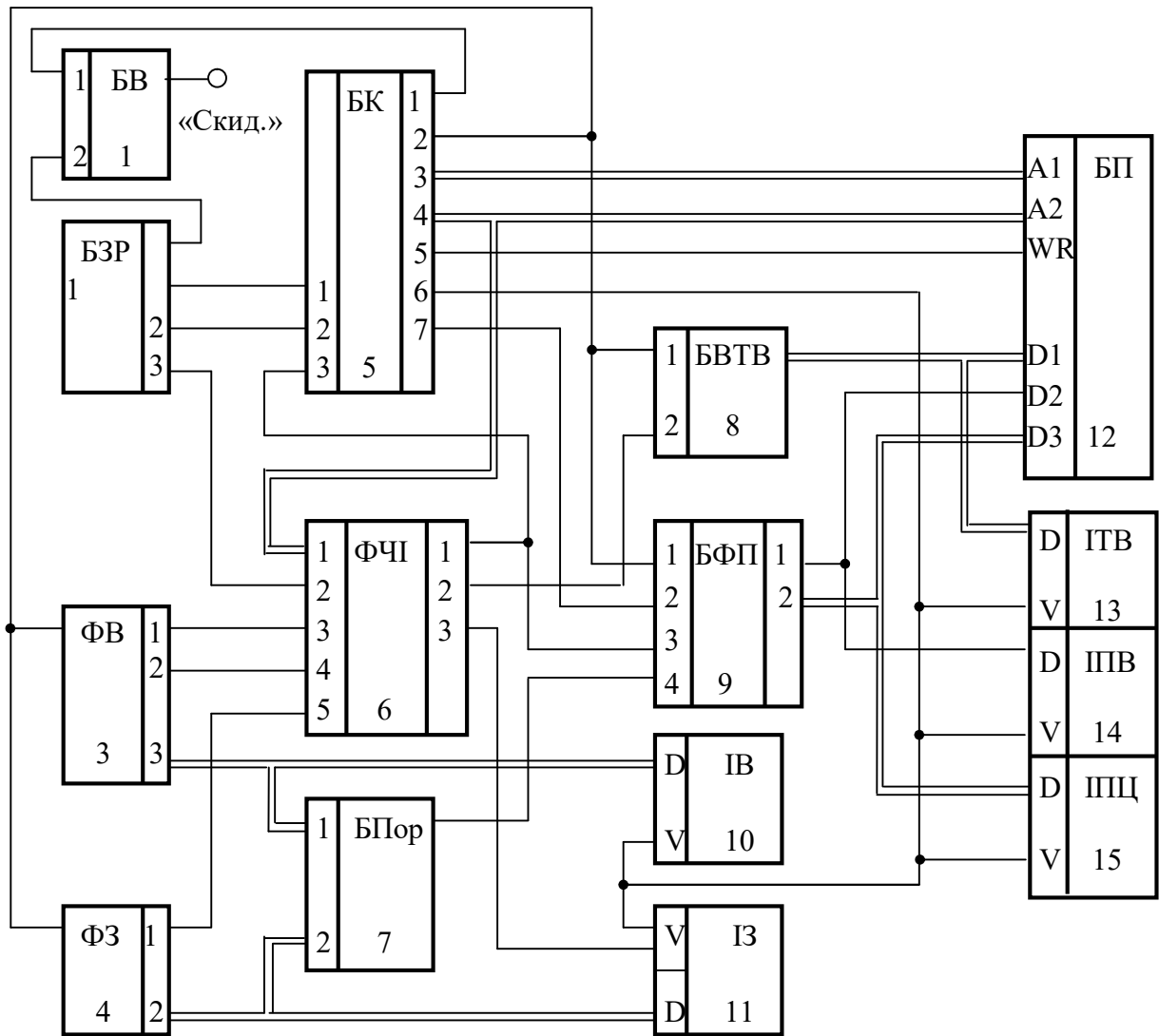


Рис. 4.2 – Структурна схема пристрою для навчання та оцінювання роботи операторів

блок фіксації помилок (БФП) 9, до другого входу якого підключений сьомий вихід блоку керування 5, перший і другий входи якого з'єднані відповідно з другим і третім виходами блоку завдання режиму 2, індикатор відповіді (ІВ) 10, інформаційні входи якого підключені до перших входів блоку порівняння 7 і до третіх виходів формувача відповіді 3, індикатор завдання (ІЗ) 11, інформаційні входи якого з'єднані з другими входами блоку порівняння 7 і з другими виходами формувача завдання 4, вхід якого з'єднаний з входом формувача відповіді 3, з першими входами блоку визначення тривалості відповіді 8 і блоку фіксації помилок 9 і з другим виходом блоку керування 5, третій вхід якого підключений

до першого виходу формувача часових інтервалів 6 і до третього входу блоку фіксації помилок 9, четвертий вхід якого з'єднаний з виходом блоку порівняння 7, блок пам'яті (БП) 12, другі адресні входи якого підключені до четвертих виходів блоку керування 5 і до перших входів формувача часових інтервалів 6, третій вихід якого з'єднаний з другим входом дозволу індикатора завдання 11, індикатор тривалості відповіді (ІТВ) 13, індикатор помилки відповіді (ІПВ) 14 та індикатор помилок циклу (ІПЦ) 15, вхід дозволу якого з'єднаний з першим входом дозволу індикатора завдання 11 і з входами дозволу індикатора відповіді 10, індикатора тривалості відповіді 13, індикатора помилки відповіді 14 і з шостим виходом блоку керування 5, треті виходи якого підключені до перших адресних входів блоку пам'яті 12, перші інформаційні входи якого з'єднані з виходами блоку визначення тривалості відповіді 8 і з інформаційними входами індикатора тривалості відповіді 13, другий інформаційний вхід блоку пам'яті 12 з'єднаний з інформаційним входом індикатора помилки відповіді 14 і з першим виходом блоку фіксації помилки відповіді 9, другі виходи якого підключені до інформаційних входів індикатора помилок циклу 15 і до третіх інформаційних входів блоку пам'яті 12, вхід запису інформації якого з'єднаний з п'ятим виходом блоку керування 5.

Індикатор відповіді 10 призначений для індикації (висвітлювання) оператору сформованого їм відповіді на отримане завдання.

Індикатор завдання 11 призначений для індикації завдання оператору.

Індикатор тривалості відповіді 13 призначений для індикації оператору значення часу формування їм відповіді.

Індикатор помилки відповіді 14 призначений для індикації оператору наявності помилки в сформованій відповіді в даному випробуванні.

Індикатор помилок циклу 15 призначений для індикації оператору сумарної кількості помилок у випробуваннях даного циклу.

На рисунку 4.3 зображено функціональну схему блоку включення.

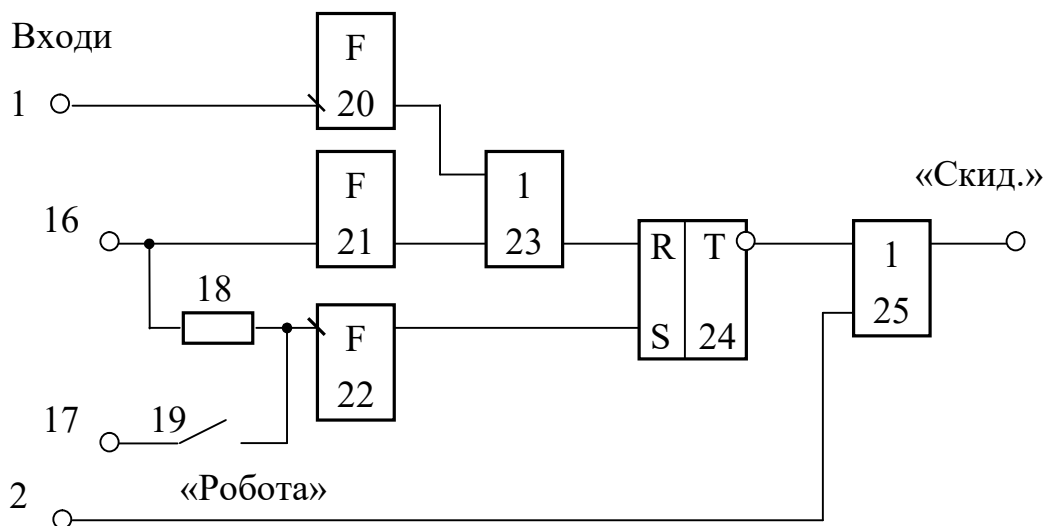


Рис. 4.3 – Функціональна схема блоку включення

Блок включення призначений для підготовки пристрою до роботи при включенні живлення і містить шину 16 полюса джерела живлення, шину 17 «земля» джерела живлення, резистор 18, кнопку 19 - «Робота», до першого виводу якої підключена шина 17, формувач імпульсів 20, вхід якого з'єднаний з першим входом блоку включення 1, формувач імпульсів 21, вхід якого підключений до шини 16 і до першого виводу резистора 18, формувач імпульсів 22, вхід якого з'єднаний із другими виводами резистора 18 і кнопки 19, елемент АБО 23, до входів якого підключені виходи формувачів 20 і 21, тригер 24, R-вхід якого з'єднаний з виходом елемента АБО 23, а до S-входу підключений вихід формувача імпульсів 22, елемент АБО 25, входи якого з'єднані з нульовим виходом тригера 24 і з другим входом блоку включення 1, вихід елемента АБО 25 є виходом блоку включення 1 і одночасно виходом «Скид.» - «Скидання» пристрою. Цей вихід підключений до входів установки у вихідний (нульовий) стан всіх елементів з пам'яттю пристрою - тригерів, регістра здвигу і лічильників імпульсів, але на схемі пристрою ці підключення не показані, щоб не ускладнювати читання схеми. До блоку пам'яті 12 вихід «Скид.» не підключений. Формувачі імпульсів 20 і 22 є формувачами імпульсів по перепаду 1-0 сигналу на їхньому вході. Формувач 21 видає один імпульс із появою живлення.

На рисунку 4.4 зображено функціональну схему блоку завдання режимів.

Блок завдання режимів, призначений для забезпечення відпрацьовування пристроєм режимів роботи - «Навчання», «Тренування» і «Залік» і містить кнопки 26 - «Навчання», 27 - «Кінець», 28 - «Залік» і 29 - «Тренування», перші виводи яких з'єднані між собою і з шиною 17, резистори 30-1, 30-2, 30-3, 30-4, перші виводи яких з'єднані між собою і з шиною 16, формувач імпульсів 31, вхід якого з'єднаний із другими виводами кнопки 26 і резистора 30-1, формувач імпульсів 32, вхід якого з'єднаний з другими виводами кнопки 27 і резистора 30-2, формувач імпульсів 33, вхід якого з'єднаний з другими виводами кнопки 28 і резистора 30-3, формувач імпульсів 34, вхід якого з'єднаний з другими виводами кнопки 29 і резистора

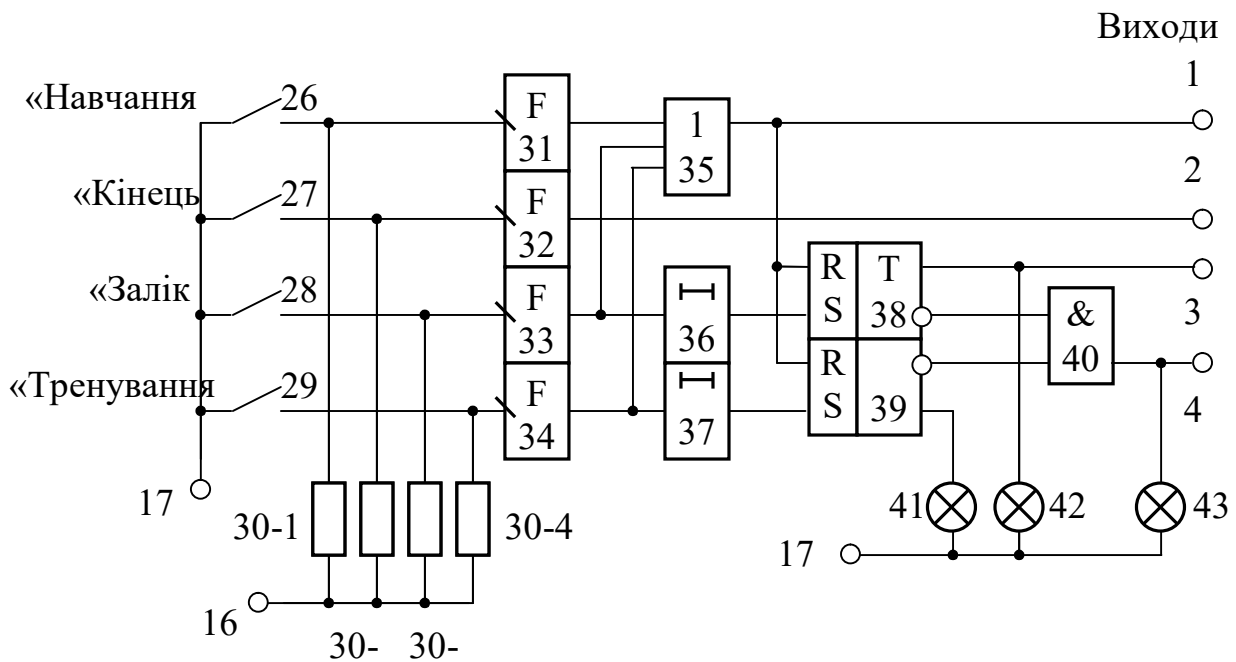


Рис. 4.4 – Функціональна схема блоку завдання режимів

30-4, елемент АБО 35, до входів якого підключені виходи формувачів імпульсів 31, 33 і 34, елементи затримки 36 і 37, вхід кожного з яких з'єднані відповідно з виходом формувача імпульсів 33 і формувача імпульсів 34, тригери 38 і 39, до S-входу кожного з яких підключений відповідно вихід елемента затримки 36 і вихід елемента затримки 37, а R-входи яких з'єднані між собою з виходом елемента АБО 35 і з першим виходом блоку завдання режимів 2, до другого виходу якого

підключений вихід формувача імпульсів 32, елемент І 40, входи якого з'єднані з нульовими виходами тригерів 38 і 39, табло 41 - «Тренування», 42 - «Залік» і 43 - «Навчання», перші виводи яких з'єднані між собою і з шиною 17, другий вивід табло 41 підключений до одиничного виходу тригера 39, другий вивід табло 42 підключений до одиничного виходу тригера 38 і до третього виходу блоку завдання режиму 2, четвертий вихід якого з'єднаний з виходом елемента І 40 і з другим виводом табло 43. Формувачі імпульсів 31, 32, 33 і 34 є формувачами імпульсів по перепаду 1-0 сигналу на їхньому вході. Тривалість затримки в елементів 36 і 37 однакова і повинна бути більше тривалості імпульсів, формованих формувачами 31, 33 і 34 на суму часів спрацьовування елементів АБО 35, АБО 25 і ланцюга підключення виходу «Скидання» блоку включення 1 до входів скидання тригерів 38 і 39, тобто до моменту появи імпульсу на виході елемента затримки 36 або 37 на входах скидання тригерів 38 або 39 не повинен діяти імпульс з виходу елемента АБО 35.

На рисунку 4.5 зображено функціональну схему блоку управління. Блок управління, призначений для координації роботи блоків пристрою і містить елементи І 44, І 45 та І 46, другий інверсний вхід якого з'єднаний з другим входом блоку 5, з першим інверсним входом елемента І 45 і з другим входом елемента І 44, елемент затримки 47, до входу якого підключений вихід елемента І 44, елемент затримки 48, вхід якого з'єднаний з виходом елемента затримки 47 і з п'ятим виходом блоку 5, тригер 49, до S-входу якого підключений вихід елемента І 46, елемент АБО 50, перший вхід якого з'єднаний з виходом елемента затримки 48, лічильник імпульсів 51, вхід, що підсумовує, якого з'єднаний з виходом елемента АБО 50 і з другим виходом блоку 5, до шостого виходу якого підключений одиничний вихід тригера 49, R-вхід якого з'єднаний з першим входом блоку 5 і з другим входом елемента І 45, вихід якого підключений до другого виходу елемента АБО 50, формувач імпульсів 52, вхід якого з'єднаний з виходом старшого розряду лічильника імпульсів 51, виходи всіх розрядів якого підключені до третіх виходів блоку 5, третій вхід якого з'єднаний з першим входом елемента І 44 і з першим входом елемента І 46, лічильник імпульсів 53,

виходи всіх розрядів якого підключені до четвертих виходів блоку 5, сьомий вихід якого з'єднаний з виходом формувача імпульсів 52 і з підсумовуючим входом лічильника імпульсів 53, вихід старшого розряду якого підключений до першого виходу блоку 5.

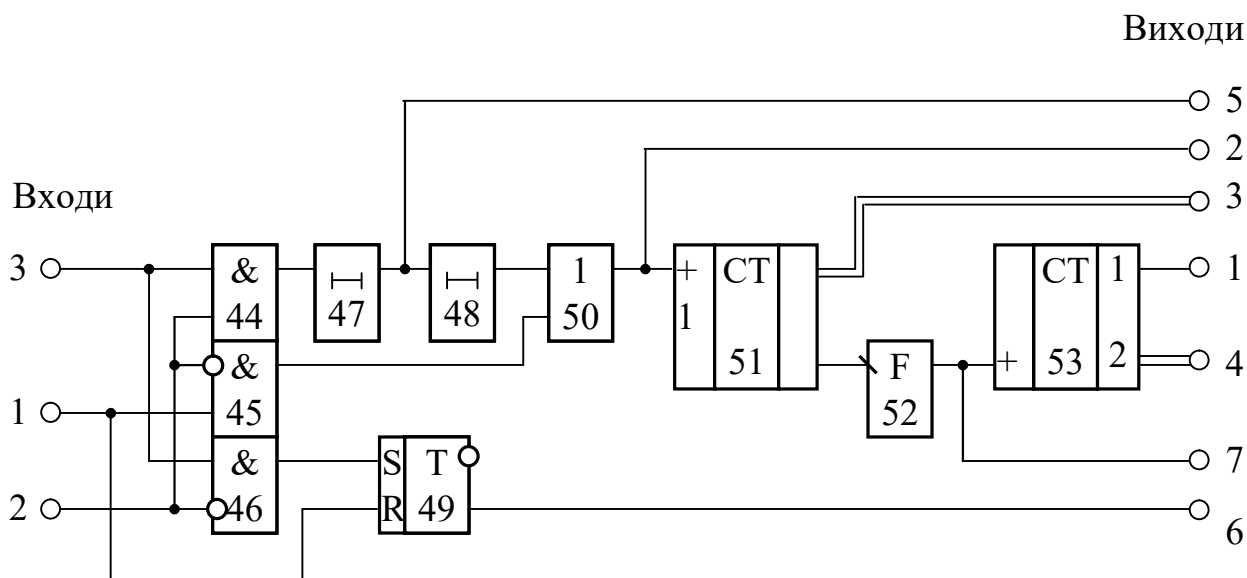


Рис. 4.5 – Функціональна схема блоку управління

Формувач імпульсів 52 є формувачем імпульсів по перепаду 1-0 сигналу на його вході, тобто він видає імпульс при установці старшого розряду лічильника імпульсів 51, а значить і всього лічильника 51, у нульове положення в процесі рахунку імпульсів, які поступають на його вхід. Лічильник імпульсів 51 призначений для підрахунку числа випробувань, що закінчились, в одному циклі, він виконаний кільцевим з коефіцієнтом перерахування N , тобто в момент закінчення N -го випробування він установлюється в нульове положення, де N - число випробувань у циклі. Лічильник імпульсів 53 призначений для підрахунку числа циклів випробувань, що закінчились, він також виконаний кільцевим з коефіцієнтом перерахування M , тобто в момент закінчення M -го циклу він установлюється в нульове положення, де M - число циклів випробувань, що відпрацьовуються пристроєм.

На рисунку 4.6 зображено функціональну схему формувача тимчасових інтервалів. Формувач тимчасових інтервалів, призначений для формування інтервалів часу видачі завдання і формування відповіді та містить формувач

імпульсів 54, елемент АБО 55, тригер 56, елемент І 57, до другого входу якого підключений одиничний вихід тригера 56, S-вхід якого з'єднаний з виходом формувача імпульсів 54, лічильник імпульсів 58, до інформаційних входів якого підключені перші входи формувача 6, п'ятий вхід якого з'єднаний з виходом формувача імпульсів 54 і з першим входом елемента АБО 55, вихід якого підключений до входу запису інформації лічильника імпульсів 58, елемент І 59, елемент І 60, входи якого з'єднані з другими виходами лічильника імпульсів 58, перші

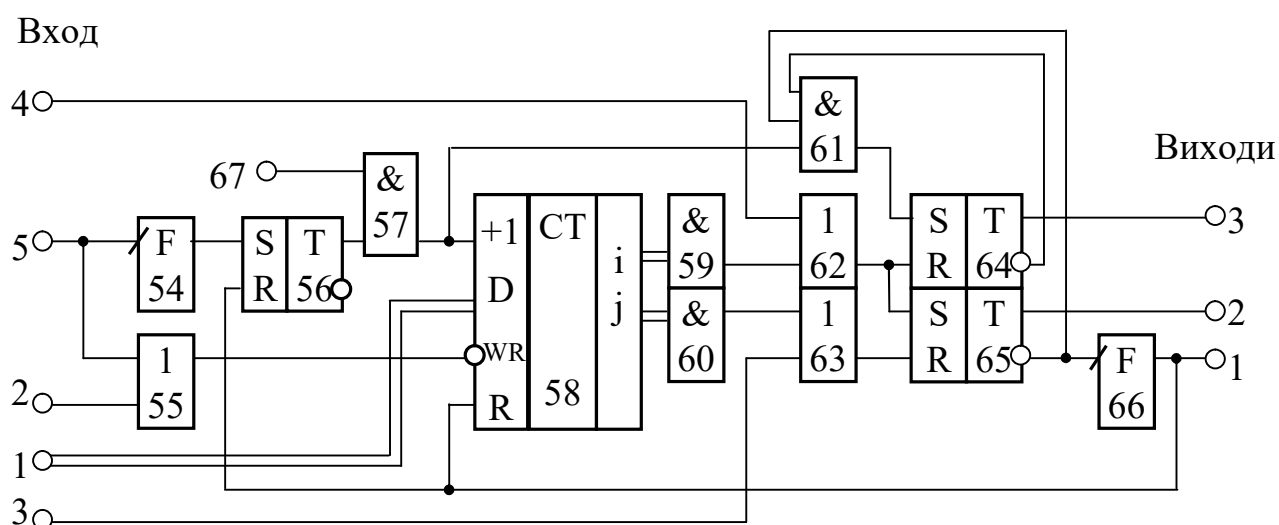


Рис. 4.6 – Функціональна схема формувача тимчасових інтервалів

виходи якого підключені до входів елемента І 59, елемент І 61, третій вхід якого з'єднаний з підсумовуючим входом лічильника імпульсів 58 і з виходом елемента І 57, елемент АБО 62, до другого входу якого підключений вихід елемента І 59, елемент АБО 63, до першого входу якого підключено вихід елемента І 60, тригер 64, нульовий вихід якого з'єднаний з першим входом елемента І 61, вихід якого підключений до S-входу тригера 64, одиничний вихід якого з'єднаний із третім виходом формувача 6, третій вхід якого підключений до другого входу елемента АБО 63, тригер 65, S-вхід якого з'єднаний з R-входом тригера 64 і з виходом елемента АБО 62, формувач імпульсів 66, вхід якого підключений до другого входу елемента І 61 і до нульового виходу тригера 65, одиничний вихід якого з'єднаний з другим виходом формувача 6, другий вхід якого підключений до

другого входу елемента АБО 55, вихід формувача імпульсів 66 з'єднаний з входами скидання тригера 56, і лічильника імпульсів 58, і з першим виходом формувача 6, четвертий вхід якого підключений до першого входу елемента АБО 62, шину часових міток 67, що з'єднана з першим входом елемента І 57, вихід елемента АБО 63 підключений до R-входу тригера 65. Формувачі імпульсів 54 і 66 є формувачами імпульсів по перепаду 0-1 сигналу на вході. Елемент І 59 спрацьовує при записі в лічильник імпульсів 58 двійкового коду числа «i», елемент І 60 спрацьовує при записі в лічильник імпульсів 58 двійкового коду числа «j». На рисунку 4.7 зображено функціональну схему блоку визначення тривалості відповіді. Блок визначення тривалості відповіді, призначений для визначення тривалості відповіді оператора і містить елемент І 68, другий вхід якого з'єднаний з шиною часових міток 67, лічильник імпульсів 69, виходи якого підключені до виходів блоку 8, другий вхід якого з'єднаний з першим входом елемента І 68, вихід якого підключений до підсумовуючого входу лічильника імпульсів 69, вхід скидання якого з'єднаний з першим входом блоку 8.

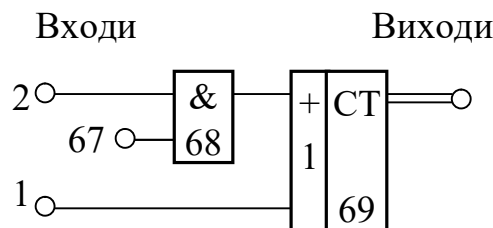


Рис. 4.7 – Функціональна схема блоку визначення тривалості відповіді

На рисунку 4.8 зображено функціональну схему блоку фіксації помилок.

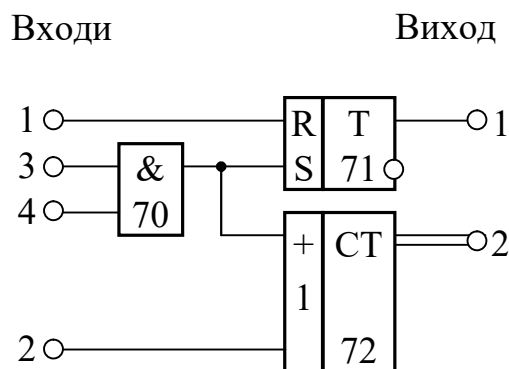


Рис. 4.8 – Функціональна схема блоку фіксації помилок

Блок фіксації помилок, призначений для фіксації в кожному випробуванні помилки, якщо вона допущена оператором у відповіді, і визначення числа помилок у циклі випробувань і містить елемент І 70, до першого і другого входів якого підключені третій і четвертий входи блоку 9, тригер 71, лічильник імпульсів 72, підсумовуючий вхід якого з'єднаний з виходом елемента І 70 і з S-входом тригера 71, до входу скидання якого підключений перший вхід блоку 9, перший вихід якого з'єднаний з одиничним виходом тригера 71, виходи розрядів лічильника імпульсів 72 підключені до других виходів блоку 9, другий вхід якого з'єднаний з входом скидання лічильника імпульсів 72.

Величина затримки τ_1 елемента 47 блоку керування 5 повинна бути більше часу спрацьовування ланцюжка запису результату порівняння завдання і відповіді в тригер 71 і лічильник імпульсів 72, тобто ланцюжка: вихід формувача імпульсів 66, елемент І 70 і більшого із часів спрацьовування тригера 71 або лічильника імпульсів 72, тобто до моменту появи імпульсу на вході запису блоку пам'яті 12 з виходу елемента затримки 47 процес запису результату порівняння завдання і відповіді в тригер 71 і лічильник імпульсів 72 повинен бути закінчений. Сумарна величина τ_2 затримки елемента 48 і спрацьовування елемента АБО 50 у блоці керування 5 повинна бути більше тривалості імпульсу запису інформації в блок пам'яті 12 з виходу елемента затримки 47, тобто до моменту появи імпульсу на виході елемента АБО 50 на вході запису блоку пам'яті 12 повинен закінчитися імпульс, тобто процес запису стану тригера 71 і вмісту лічильника імпульсів 72 у блок пам'яті 12 повинен бути закінчений.

Робота в режимі «Залік». Режим встановлюється:

- натисканням кнопки 28 «Залік», якщо пристрій перебуває в робочому положенні;
- натисканням кнопки 19 «Робота», а потім кнопки 28 «Залік», якщо пристрій перебуває в неробочому положенні.

При натисканні кнопки 28 «Залік» формувач імпульсів 33 видає імпульс, що запускає елемент затримки 36, встановлює в нульове положення тригери 38 і 39

через елемент АБО 35 і далі проходить через елемент АБО 25 на вихід «Скидання», при цьому пристрій установлюється у вихідне положення. Після закінчення дії на входах скидання елементів з пам'яттю імпульсу з виходу «Скидання» блоку включення 1 починається робота пристрою. Формувач завдання 4 починає формувати завдання, на виході елемента затримки 36 з'являється затриманий імпульс, що встановлює в одиничне положення тригер 38, включається табло 42 «Залік». У цьому режимі на третьому виході блоку завдання режимів 2 є одиничний сигнал з одиничного виходу тригера 38, що надходить у блок керування 5 через його другий вхід, цей сигнал у блоці 5 закриває елементи І 45 та І 46 і відкриває елемент І 44. На четвертому виході блоку завдання режимів 2 є нульовий сигнал з виходу елемента І 40, на вході якого діє нульовий сигнал з нульового виходу тригера 38. Нульовий сигнал з виходу елемента І 40 надходить через четвертий вихід блоку 2 і через другий вхід блоку формування часових інтервалів 6 на другий вхід елемента АБО 55.

Далі, до моменту установки в нульове положення тригера 65 і появи імпульсу на виході формувача 66, пристрій працює аналогічно тому, як він працює в режимі «Тренування». Імпульс із виходу формувача 66 установлює в нульове положення тригер 56 і лічильник імпульсів 58 і через перший вихід формувача тимчасових інтервалів 6 проходить на третій вхід блоку керування 5 і на третій вхід блоку фіксації помилок 9, у якому він установлює в одиничне положення тригер 71 і додає до вмісту лічильника 72 «одиницю», якщо відповідь не відповідає завданню або не змінює положення тригера 71 і лічильника імпульсів 72, якщо відповідь відповідає завданню. Імпульс з третього входу блоку керування 5 проходить через елемент І 44 на вхід елемента затримки 47. Через час τ_1 імпульс із виходу елемента затримки 47 надходить на вхід елемента затримки 48 і проходить через п'ятий вихід блоку керування 5 на вхід запису блоку пам'яті 12 і записує в нього результати випробування – тривалість відповіді з лічильника 69 блоку визначення тривалості відповіді 8, відповідність або невідповідність відповіді завданню – стан тригера 71 блоку фіксації помилок 9 і число помилок у циклі з лічильника імпульсів 72. Через час τ_2 імпульс із виходу елемента АБО 50

фіксується лічильником імпульсів 51 і проходить на другий вихід блоку керування 5, на перші входи блоку визначення тривалості відповіді 8 і блоку фіксації помилок 9 і встановлює в них у нульове положення тригери 69 і 71, крім цього, імпульс з другого виходу блоку керування 5 проходить на входи формувача відповіді 3 і формувачі завдання 4 і встановлює в них у нульове положення тригери 80-1, 80-2, ...,80-к і реєстр здвигу 79. Після закінчення імпульсу з другого виходу блоку керування 5 починається наступне випробування. Після закінчення кожного N-го випробування – закінчення циклу по перепаду 1-0 на виході старшого розряду лічильника імпульсів 51 формувач імпульсів 52 видає імпульс, що фіксується лічильником імпульсів 53, і проходить через сьомий вихід блоку керування 5 і четвертий вхід блоку фіксації помилок 9 на вхід скидання лічильника імпульсів 72 і встановлює його в нульове положення, підготовляючи його до підрахунку числа помилок у наступному циклі. При закінченні M-го циклу випробувань на виході старшого розряду лічильника імпульсів 53 утвориться перепад 1-0, по якому в блоці включення 1 спрацьовує формувач імпульсів 20 та імпульс з його виходу встановлює в нульове положення тригер 24, переводячи пристрій у неробоче положення.

ВИСНОВКИ

У роботі отримано нові рішення питань підвищення ефективності експлуатації сортувальних гірок з урахуванням безпеки їх використання. Запропоновані підходи дають змогу підвищити ефективність експлуатації сортувальних гірок, рівень безпеки та якість сортувального процесу.

Основні наукові результати :

Аналіз теорії безпеки транспортних систем, існуючих методів управління та оцінки рівня безпеки руху та управління ризиками на сортувальній гірці довів, що:

- Запропонована інформаційно-логічна структура управління ризиками на сортувальній гірці, що забезпечує підтримку та виконання основних дій, спрямованих на виявлення, оцінку й управління ризиками. Вказана структура може бути покладена в основу розроблення перспективної системи управління ризиками на сортувальній гірці.

- Сформовано підхід, який дає змогу підійти до рішення завдання підвищення ефективності експлуатації сортувальної гірки з урахуванням управління безпекою розформування составів та впливу людського фактору. Вказаний підхід дає можливість корегування параметрів керування в процесі експлуатації сортувальної гірки. При цьому:

– розроблено математичну модель управління безпекою розформування составів на гірках, яка дає змогу мінімізувати ризики, що можуть бути на сортувальній гірці з урахуванням впливу людського фактора на сортувальний процес;

– розроблено метод визначення рекомендованих параметрів керування вагонними уповільнювачами на основі критеріїв ефективного управління безпекою розформування составів на гірці і підгіркових коліях, який значною мірою дає змогу управляти безпекою технологічного процесу сортувальної гірки.

Розроблено процедуру вироблення управляючих впливів на керовану систему на основі сценарної логіко-ймовірнісної моделі ризику виникнення порушень безпеки функціонування сортувальної гірки, яка дає змогу оцінювати та

прогнозувати ризик виникнення порушень безпеки при реалізації технологічного процесу розформування–формування составів на сортувальних гірках. На основі отриманих імовірностей порушень безпеки функціонування сортувальної гірки визначаються необхідні цілеспрямовані управляючі впливи на керовану систему. Перевірка на адекватність отриманої логіко-ймовірнісної моделі показала розбіжність 13 % у порівнянні з традиційними методами розрахунку ймовірності виникнення порушень безпеки.

Удосконалено ергатичну систему управління безпекою функціонування сортувальної гірки, що дає змогу підвищити ефективність та надійність роботи операторів за рахунок підвищення достовірності інформації про якість роботи оператора та об'єктивність оцінювання його придатності до виконання заданої роботи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Концепція Державної програми реформування залізничного транспорту України [Електронний ресурс] : розпорядження КМУ від 27 грудня 2006 р. № 651-р. – Режим доступу : \www/ URL : <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/651-2006-%D1%80>.
2. Ветошкин, А. Г. Надежность технических систем и техногенный риск [Текст] / А. Г. Ветошкин. – Пенза: Изд-во ПГУАиС, 2003. – 248 с.
3. Радаев, Н. Н. Элементы теории риска эксплуатации потенциально опасных объектов [Текст] / Н. Н. Радаев. – М.: РВСН, 2000. – 323 с.
4. Управление эксплуатационной работой и качеством перевозок на железнодорожном транспорте [Текст] : учебн. для вузов / П.С. Грунтов, Ю. В. Дьяков, А. М. Макаровичкин. – М. : Транспорт, 1994. – 543 с.
5. Державна цільова програма реформування залізничного транспорту на 2010–2019 роки [Електронний ресурс] : постанова КМУ від 16 груд. 2009 р. № 1390. – Режим доступу : \www/ URL : <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/1390-2009-%D0%BF>.
6. Транспортна стратегія України на період до 2020 року [Електронний ресурс] : розпорядження КМУ від 20 жовт. 2010 р. № 2174-р. – Режим доступу : \www/ URL : <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/2174-2010-%D1%80>.
7. Стратегії розвитку залізничного транспорту на період до 2020 року [Електронний ресурс] : розпорядження КМУ від 16 груд. 2009 р. № 1555-р. – Режим доступу : \www/ URL : <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/1555-009-%D1%80>.
8. Концепції розвитку транспортно-дорожнього комплексу України на середньостроковий період та до 2020 року [Електронний ресурс]. – Режим доступу : \www/URL : <http://libtomcat.knteu.kiev.ua/library/DocDescription?doc>.
9. Огар, О. М. Методи оцінки рівня безпеки руху в транспортних системах [Текст] / О. М. Огар, С. О. Бантюкова // Коммунальное хозяйство городов : науч.-техн. сб. – К. : Техника, 2006. – Вып. 72. – С. 307–313.

10. Огар, О. М. Управління ризиками в системі «сортувальна гірка» [Текст] / О. М. Огар, С. О. Бантюкова // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2008. – № 4. – С. 41–46.

11. Системний підхід до управління безпекою розформування составів на гірках [Текст] / О. М. Огар, І. В. Берестов, С. О. Бантюкова, В. О. Амосов // Зб. наук. праць. – Харків : УкрДАЗТ, 2012. – Вип. 134. – С. 14–22.

12. Огар, О. М. Представлення параметрів метеорологічних умов при розрахунках гірки і моделюванні сортувального процесу [Текст] / О. М. Огар, С. О. Бантюкова, О. С. Губачова // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2010. – № 4/3 (46). – С. 4–7.

13. Бантюков, С. Є. Логіко-імовірнісне моделювання ризику виникнення порушень безпеки функціонування сортувальної гірки [Текст] / С. Є. Бантюков, С. О. Бантюкова // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2014. – № 1/3 (67). – С. 30–37.

14. Пат. 40353 Україна, МПК G09B 9/00. Спосіб професійного відбору операторів [Текст] / Астахов В. М., Бантюков С. Є., Бантюкова С. О., Огар О. М.; заявники і патентовласники Астахов В. М., Бантюков С. Є., Бантюкова С. О., Огар О. М. – № u 2008 09765 ; заявл. 25.07.08 ; опубл. 10.04.09, Бюл. № 7. – 4 с.

15. Пат. 35699 Україна, МПК G09B 9/00, A61B 5/00. Пристрій для навчання та оцінювання роботи операторів [Текст] / Астахов В. М., Бантюкова С. О., Огар О. М. ; заявники і патентовласники Астахов В. М., Бантюкова С. О., Огар О. М. – № u 2008 09764 ; заявл. 25.07.08 ; опубл. 25.09.08, Бюл. № 18. – 14 с.

16. Грунтов, П. С. Эксплуатационная надежность станций [Текст] / П. С. Грунтов. – М.: Транспорт, 1986. – 247 с.

17. Хохлов, А. А. Технические средства обеспечения безопасности движения на железных дорогах [Текст] / А. А. Хохлов, В. И. Жуков. – М.: УМЦ ЖДТ, 2009. – 553 с.

18. Александровская, Л. Н. Современные методы обеспечения безотказности сложных технических систем [Текст]: учебник / Л. Н. Александровская, А. П. Афанасьев, А. А. Лисов. – М.: Логос, 2003. – 208 с.

19. Бойнік, А. Б. Вплив відмов технічних засобів СЦБ на загальний рівень безпеки руху поїздів і транспортний ризик втрат при небезпечних подіях [Текст] / А. Б. Бойнік, О. А. Абакумов // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2008. – № 4. – С. 21–25.
20. Мойсеєнко, В. И. Основы системного подхода к безопасности железнодорожного транспорта [Текст] / В. И. Мойсеєнко // Сб. науч. тр. – Донецк: ДонИЖТ, 2005. – № 7. – С. 5–14.
21. Котенко, А. Н. Повышение безопасности и сохранности перевозимых грузов [Текст] / А. Н. Котенко // Залізничний транспорт України. – 2002. – № 2. – С. 31–34.
22. Положення про систему управління безпекою руху поїздів у державній адміністрації залізничного транспорту України [Електронний ресурс] : наказ Міністерства інфраструктури України від 01.04.2011 р. № 27. – Режим доступу: \www/ URL : <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/z0729-11>.
23. Лисенков, В. М. Статистическая теория безопасности движения поездов [Текст] : учебн. для вузов / В.М. Лисенков. – М. : ВИНТИ РАН, 1999. – 332 с.
24. Лисенков, В. М. Безопасность ответственных технологических процессов и технологических средств на транспорте [Текст] / В. М. Лисенков // Автоматика, телемеханика и связь. – 1992. – № 1. – С. 8 – 11.
25. О транспортной безопасности [Электронный ресурс] : федер. закон Российской Федерации от 9 февраля 2007 г. № 16-ФЗ. – Режим доступа : \www/ URL : <http://rasp.yandex.ua/info/15?ncmd=9201>.
26. Государственная концепция обеспечения транспортной безопасности России [Электронный ресурс]. – Режим доступа : \www/ URL : <http://iv.garant.ru/SESSION/PILOT/main.htm>.
27. О железнодорожном транспорте в Российской Федерации [Электронный ресурс] : федер. закон Российской Федерации от 10 января 2003 г. № 17-ФЗ. – Режим доступа : \www/ URL : http://www.consultant.ru/document/cons_doc_law_148958/.

28. Petersen, D. Techniques of Safety Management : A Systems Approach [Текст] / D. Petersen. – USA : ASSE, 2003. – 364 p.
29. Бантюкова, С. О. Використання основних принципів теорії безпеки транспортних систем для підвищення рівня безпеки перевезень [Текст] / С. О. Бантюкова // Коммунальное хозяйство городов: науч.-техн. сб. – К. : Техника, 2005. – Вып. 63. – С. 306–311.
30. Безопасность движения – основа обеспечения бесперебойности перевозочного процесса [Текст] // Ж.-д. транспорт. Сер. Безопасность движения. ЭИ. – ЦНИИТЭИ, 2001. – Вып. 1. – С. 4 – 7.
31. Крупина, Е. М. Методы оценки состояния безопасности движения и исследования причин аварийности на зарубежных железных дорогах [Текст] // Е. М. Крупина, Ю. М. Некрасова // Ж.-д. транспорт. Сер. Безопасность движения. ЭИ. – ЦНИИТЭИ, 1999. – Вып. 2. – С. 12 – 15.
32. Безопасность движения на железнодорожном транспорте [Текст]: Методические указания для студентов и слушателей курсов повышения квалификации. – Новосибирск, 2002. – 50 с.
33. Грунтов, П. С. Безопасность движения на железнодорожном транспорте [Текст] : учеб. пособие / П. С. Грунтов, Ф. П. Пищик. – Гомель : БелИИЖТ, 2001. – 122 с.
34. Балалаев, С. В. Безопасность движения на железных дорогах. Ч.1. Основы безопасности [Текст] / С. В. Балалаев. – Хабаровск : Изд. ДВГУПС, 2008. – 125 с.
35. Петров, С. В. Совершенствование методов оценки и управления аварийным риском в чрезвычайных ситуациях при перевозке нефтепродуктов на железнодорожном транспорте [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.26.02 / Петров Сергей Викторович – М., 2009. – 24 с.
36. Козаченко, Д. М. Розвиток теоретичних основ оцінки техніко-експлуатаційної ефективності та безпеки функціонування сортувальних гірок [Текст] : дис. ... д-ра. техн. наук: 05.22.20: «Експлуатація та ремонт засобів транспорту» / Козаченко Дмитро Миколайович – Дніпропетровськ : ДНУЗТ, 2011. – 297 с.

37. Соколов, О. Й. Розробка методики оцінки рівня безпеки руху на залізничному транспорті [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.20 / Соколов Олександр Йосипович. – Харків: ХарДАЗТ, 2000. – 21 с.
38. Мойсеенко, В. И. Влияние нарушений безопасности на техническую эффективность использования средств транспорта [Текст] / А. А. Сосунов, В. И. Мойсеенко // 36. наук. праць. – Донецьк : ДонІЗТ, 2009. – Вип.17. – С.61–67.
39. Мойсеенко, В. И. Актуальные вопросы сохранности и безопасной эксплуатации тягового подвижного состава [Текст] / В. И. Мойсеенко, А. Ф. Майборода, И. Е. Батюшин // Локомотив информ. – 2007. – № 9. – С. 14–15.
40. Мойсеенко, В. И. Совершенствование систем обеспечения безопасности движения поездов [Текст] / В. И. Мойсеенко // Залізничний транспорт України. – 2003. – № 4. – С. 20–23.
41. Бойнік, А. Б. Шляхи підвищення безпеки функціонування станційних мікропроцесорних систем залізничної автоматики [Текст] / А. Б. Бойнік, В. І. Мойсеенко // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2010. – № 4. – С. 42–46.
42. Starowich, W. Modelowanie symulacyjne ruchu wagonow na I gorce rozrzadowej / W. Starowich, Z. Avramovic // Autom. Kolej.– 1988. – 11, № 1. – С. 3 – 10.
43. Bowles J.B., Chi Wan. Software failure modes and effects analysis for a small embedded control system / Proc. of annureliability and maintainability symp. – Philadelphia, 2001. – P. 137–155.
44. BrummerJ., Kersken M., MarlzJ. Tools for software safety analysis, reliability engineering and System I Safety, Elsevier 46, 1994. – P. 123–138.
45. David Brown. Systems analysis and Design for Safety. Prenlice Hatt Incorporation, Engteewood Gtiffs, New Jercey. 2003. – 85 p.
46. Бантюкова, С. О. Імовірнісна модель управління безпекою руху на залізничному транспорті [Текст] / С. О Бантюкова // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2008. – № 3. – С. 28–31.

47. Бантюкова, С. О. Математична модель безпеки функціонування сортувальної гірки [Текст] / С. О Бантюкова // Зб. наук. праць. – Харків : УкрДАЗТ, 2007. – Вип. 80. – С. 89–95.

48. Самсонкин, В. Н. Метод статистической закономерности в управлении безопасностью движения на железнодорожном транспорте [Текст] / В. Н. Самсонкин, В. А. Друзь. – Донецк : Дон ИЖТ, 2005. – 159 с.

49. Самсонкин, В. Н. Управление безопасностью движения на железнодорожном транспорте Украины [Текст] / В. Н. Самсонкин, В. А. Соколов // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 1997. – № 4. – С. 27.

50. Лябах Н.Н. Мониторинг и прогнозирование показателей работы горок [Текст] / Н. Н. Лябах, В. А. Тартынский, А. В. Денисов // Железнодорожный транспорт. – 2010. – № 8. – С. 39–40.

51. Огар, О. М. Інтелектуальна підтримка процесів прийняття рішень при регулюванні швидкості скочування відчепів з гірки [Текст] / О. М. Огар // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2010. – № 5–6. – С. 39 – 44.

52. Рябинин, И. А. Логико-вероятностные методы исследования надежности структурно-сложных систем [Текст] / И. А. Рябинин, Г. Н. Черкесов. – М.: Радио и связь, 1981. – 264 с.

53. Рябинин, И. А. Надежность и безопасность структурно-сложных систем [Текст] / И. А. Рябинин. – СПб. : Изд. С.-Петербур. ун., 2007. – 278 с.

54. Можаяев, А. С. Общий логико-вероятностный метод анализа надежности структурно-сложных систем : учеб. пособие [Текст] / А. С. Можаяев. – Л.: ВМА, 1988. – 68 с.

55. Marshall, A. Principles of Economics [Текст] / A. Marshall. – London: Macmillan and Co., Ltd., 1920. – 71 p.

56. Keynes, J. The Economic Consequences of the Peace [Текст] / J. Keynes. – London: Macmillan, 1920. – 279 p.

57. Knight, F. Risk, Uncertainty, and Profit [Текст] / Frank H. Knight. – Boston, MA: Hart, Schaffner & Marx; Houghton Mifflin Co., 1921. – 381 p.

58. Нейман, Д. Теория игр и экономическое поведение [Текст] / Дж. фон Нейман, О. Morgenstern. – М.: Наука, 1970. – 708 с.
59. Черкасов, В. В. Проблемы риска в управленческой деятельности [Текст] / В. В. Черкасов. – Москва : Изд-во Рефл-бук, 2002. – 320 с.
60. Henley, E. Reliability engineering and risk assessment [Текст] / E. J. Henley, H. Kumamoto // Prentice-Hall, 1981. – 568 p.
61. Юргенс, И. Ю. Риск-менеджмент [Текст]: учебник / И. Ю. Юргенс. – М. : Дашков и К, 2003. – 512 с.
62. Евстафьев, И. Тотальный риск-менеджмент [Текст] / И. Евстафьев. – М. : Эксмо, 2008. – 208 с.
63. Психологический словарь [Электронный ресурс]. – Режим доступа : \www/
URL : <http://glossword.info/index.php/term/,6ea3ac6f59585492707154a55ea9a65c596155b062a2a45656936aa95e9fac71959c7158a45e5b926e576aa2.xhtml>.
64. Кузьминова, Н. В. Курс лекций по дисциплине «Управление рисками» [Текст] / Н. В. Кузьминова, Н. В. Моргунова, Н. М. Филимонова. – Владимир : Изд-во Владим. гос. ун-та, 2007. – 76 с.
65. Костиков, В. А. Надежность технических систем и техногенные риски [Текст] : учеб. пособие для студ. спец. 280102 / В. А. Костиков. – М. : МГТУ ГА, 2008. – 136 с.
66. Ветошкин, А. Г. Техногенный риск и безопасность [Текст] / А. Г. Ветошкин, К. Р. Таранцева. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2001. – 171 с.
67. Про основні засади державного нагляду (контролю) у сфері господарської діяльності [Текст] : закон України від 5 квіт. 2007 р. № 877-V // Відомості Верховної Ради України. – 2007. – № 29. – Ст. 389.
68. Мямлин, С. В. Динамика вагонов в отцепе при скатывании с сортировочной горки [Текст] / С. В. Мямлин, Д. Н. Козаченко // Зб. наук. праць Донецький інститут залізничного транспорту Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Донецьк: – Вид-во ДонІЗТ, 2009. – Вип. 17 С. 150–155.

69. Бессоненко, С. А. Теория расчета сортировочных горок для различных климатических зон: автореф. дис. ... д-ра техн. Наук [Текст]: 05.22.08 / Бессоненко Сергей Анатольевич – М., 2010. – 37 с.

70. Муха, Ю. А. Автоматизация и механизация переработки вагонов на станциях [Текст] / Ю. А. Муха, И. В. Харланович, В. П. Шейкин и др. – М. : Транспорт, 1985. – 248 с.

71. Иванченко, В. И. Новый подход к управлению процессом роспуска составов на сортировочной горке [Текст] / В. И. Иванченко, Н. Н. Лябах, А. А. Сепетый // Труды РИИЖТа. – Ростов-на-Дону, 1984. – С. 34 – 41.

72. Разработка адаптивной автоматической системы управления работой сортировочной горки [Текст] / Е. Н. Лебединская, Н. Н. Новгородов, Л. В. Пальчик и др. // Вестник ВНИИЖТ. – 1999. – № 3. – С. 32 – 34.

73. Оптимизация режимов торможения отцепов на сортировочных горках [Текст] : монография / В. И. Бобровский, Д. Н. Козаченко, Н. П. Божко и др. – Днепропетровск : Изд-во Маковецкий, 2010. – 260 с.

74. Муха, Ю. А. Оптимизация режимов торможения скатывающихся отцепов при расформировании состава на сортировочной горке [Текст] / Ю. А. Муха // Вопросы механизации и автоматизации сортировочного процесса на станциях: труды ДИИТа. – Днепропетровск, 1976. – Вып. 181/10. – С. 17 – 23.

75. Муха, Ю. А. Имитационное моделирование процесса скатывания отцепов при выполнении горочных расчетов [Текст] / Ю. А. Муха, А. А. Муратов // Механизация и автоматизация сортировочного процесса на станциях : межвуз. сб. науч. тр. – Днепропетровск : ДИИТ, 1990. – С. 11 – 20.

76. Божко, Н. П. Методика определения режимов торможения отцепов при анализе конструкций сортировочных горок [Текст] / Н. П. Божко // Вопросы механизации и автоматизации сортировочного процесса на станциях: межвуз. сб. науч. тр. – Днепропетровск: ДИИТ, 1983. – Вып. 229/15. – С. 30 – 36.

77. Бобровский, В. И. Исследование влияния длины измерительного участка на скорость роспуска составов [Текст] / В. И. Бобровский // Совершенствование технических устройств и технологии управления процессом расформирования

составов на сортировочных горках : межвуз. сб. науч. тр. – Днепропетровск : ДИИТ, 1986. – С. 50 – 59.

78. Бобровский, В. И. Поиск оптимальных режимов торможения на проектируемых сортировочных горках [Текст] / В. И. Бобровский // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. – 1999. – № 5. – С. 50 – 54.

79. Бобровский, В. И. Оптимизация режимов торможения отцепов на сортировочных горках [Текст] / В. И. Бобровский // Транспорт: сб. науч. праць. – Днепропетровск : Арт-Пресс, 2000. – С. 43 – 47.

80. Бобровский, В. И. Многошаговый двухэтапный метод оптимизации режимов роспуска составов на горках [Текст] / В. И. Бобровский // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. – 2004. – № 2. – С. 8 – 14.

81. Бобровский, В. И. Моделирование управляемого скатывания отцепов на автоматизированных сортировочных горках [Текст] / В. И. Бобровский, И. А. Горбачева, А. А. Муратов // Вопросы механизации и автоматизации сортировочного процесса на станциях: межвуз. сб. научн. тр. – Днепропетровск : ДИИТ, 1983. – Вып. 229/15. – С. 22 – 29.

82. Бобровский, В. И. Моделирование управляемого скатывания отцепов на автоматизированных сортировочных горках [Текст] / В. И. Бобровский, И. А. Горбачева, А. А. Муратов // Проблемы наращивания мощности станций и узлов: межвуз. сб. науч. тр. – М.: МИИТ, 1985. – Вып. 765. – С. 55 – 56.

83. Бобровский, В. И. Моделирование автоматизированных сортировочных горок [Текст] / В. И. Бобровский // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. – 1996. – № 3,4. – С. 83 – 84.

84. Либерман, А. Н. Техногенная безопасность: человеческий фактор [Текст] / А. Н. Либерман. – СПб. : ВИС, 2006 – 103 с.

85. Пономарев, В. Е. Человек и безопасность движения [Текст] / В. Е. Пономарев. – М. : Транспорт, 1986. – 272 с.

86. Акимов, В. А. Надежность технических систем и техногенный риск [Текст] : учеб. пособие / В. А. Акимов, В. Л. Лапин, В. М. Попов, В. А. Пучков, В. И. Томаков, М. И. Фалеев. – М. : ЗАО ФИД «Деловой экспресс», 2002. – 368 с.

87. Бантюкова, С. О. Оцінка надійності діяльності оператора у системі «людина-техніка» [Текст] / С. О Бантюкова // Зб. наук. праць. – Харків : УкрДАЗТ, 2010. – Вип. 113. – С. 51–56.

88. Шеридан, Т. Б. Системы человек – машина. Модели обработки информации, управления и принятия решения человеком-оператором [Текст] / Т. Б. Шеридан, У. Р. Феррел. – М. : Машиностроение, 1980. – 248 с.

89. Психологическое обеспечение трудовой деятельности [Текст] / под ред. А. А. Крылова. – Л. : Ленинградский университет, 1987. – 159 с.

90. Дружинин, Г. В. Человек в моделях технологии [Текст] : учеб. пособие. В 3 ч. Ч.1.:Свойства человека в технологических системах / Г. В. Дружинин. – М.: МИИТ, 1996. – 124 с.

91. Безопасность жизнедеятельности [Текст] / под ред. С. В. Белова. – М. : Высшая школа, 2001. – 312 с.

92. Буралев, Ю. В. Безопасность жизнедеятельности на транспорте [Текст] : учебн. для вузов / Ю. В. Буралев. – М. : Академия, 2004. – 288 с.

93. Мойсеенко, В. И. Использование тренажеров для обучения операторов систем управления на железнодорожном транспорте [Текст] / В. И. Мойсеенко, А. В. Шандриков // Зб. Наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2005. – № 68. – С. 100–108.

94. Самсонкин, В. Н. Системный подход к оценке функционального состояния человека-оператора в человеко-машинной системе [Текст] / В. Н. Самсонкин, В. А. Друзь, С. В. Глушков // Проблемы бионики. – 2004. – № 51. – С. 18–24.

95. Пат. 2023421 Российская Федерация, МКИ А 61 В 5/16. Способ ранжирования операторов по уровню развития профессиональных качеств [Текст] / Васильев Е. В. (LV), Пономарев Ю. П. (LV) ; заявители и патентообладатели Васильев Е. В. (LV), Пономарев Ю. П. (LV) – № 4936709/14 ; заявл. 04.03.91 ; опубл. 30.11.94, Бюл. № 22. – 3 с.

96. Пат. 2038043 Российская Федерация, МКИ А 61 В 5/16. Способ оценки уровня подготовки оператора [Текст] / Голикова О. Г., Городецкий И. Г., Садов В. А. (РФ) ; заявители и патентообладатели Голикова О. Г., Городецкий И. Г., Садов В. А. (РФ). – № 4927103 ; заявл. 11.04.91 ; опубл. 27.06.95, Бюл. № 18. – 3 с.

97. Пат. 2020605 Российская Федерация, МКИ G 09 В 9/00. Устройство для профессионального отбора операторов [Текст] / Кудряшов Н. И., Кирюхин В. А., Мухортов В. В., Карпов А. В. (РФ) ; заявители и патентообладатели Кудряшов Н. И., Кирюхин В. А., Мухортов В. В., Карпов А. В. (РФ). – № 4939782/24 ; заявл. 28.05.91 ; опубл. 30.09.94, Бюл. № 18. – 9 с.

98. Пат. 2013998 Российская Федерация, МКИ А61В 5/16. Способ диагностики утомления [Текст] / Цебетаха В. Я., Дубровина З. В. (РФ) ; заявители и патентообладатели Цебетаха В. Я., Дубровина З. В. (РФ). – № 4481472/14 ; заявл. 12.09.88 ; опубл. 15.06.94, Бюл. № 11. – 2 с.

99. Пат. 22184 Україна, МКИ А61В 5/16. Способ оценки функционального состояния организма человека [Текст] / Матвиенко М. Т., Матвиенко І. М., Олейник Я. Г. (Україна) ; заявители и патентообладатели Матвиенко М. Т., Матвиенко І. М., Олейник Я. Г. (Україна). – № 96052077 ; заявл. 28.05.96 ; опубл. 30.06.98, Бюл. № 3. – 4 с.

100. Деклар. пат. на корисну модель 10407 Україна, МКИ А61В 5/16, G09В 7/02. Спосіб оцінки сприйняття інформації [Текст] / Бездольний В. В., Романов Г. С., Гончаров Є. І., Вільський Г. Б., Стариков І. М. (Україна) ; заявники і патентовласники Бездольний В. В., Романов Г. С., Гончаров Є. І., Вільський Г. Б., Стариков І. М. (Україна). – № u 200503850 ; заявл. 22.04.05 ; опубл. 15.11.05, Бюл. № 11. – 3 с.

101. А. с. 1259325 СССР, МКИ G 09 В 9/00. Устройство для оценки сенсомоторной деятельности обучаемого [Текст] / Чижов А. Ю. (СССР) ; заявитель Ставропольское высшее военное инженерное училище связи им. 60-летия Великого Октября. – № 3820354/24-24 ; заявл. 03.12.84 ; опубл. 23.09.86, Бюл. № 35. – 5 с.

102. Пат. 2024067 Российская Федерация, МКИ G09B 9/00. Устройство для контроля профессиональных навыков оператора [Текст] / Кудряшов Н. И., Кирюхин В. А., Карпов А. В., Мухортов В. В. (РФ) ; заявители и патентообладатели Кудряшов Н. И., Кирюхин В. А., Карпов А. В., Мухортов В. В. (РФ). – №4914728/24 ; заявл. 25.02.91 ; опубл. 30.11.94, Бюл. № 22. – 6 с.

103. Пат. 2037207 Российская Федерация, МКИ G09B 9/00. Устройство для обучения операторов [Текст] / Кочетков А. А., Чернышев М. М., Баландин В. И., Нерсесян Л. С., Брусенцов В. Г., Кривной А. М., Иваний Б. Т.; заявитель и патентообладатель Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт средств автоматизации на железнодорожном транспорте. – № 4395654/24 ; заявл. 25.02.88 ; опубл. 09.06.95, Бюл. № 16. – 5 с.

104. Пат. 2068236 Российская Федерация, МКИ А61В 5/16. Устройство для определения работоспособности оператора [Текст] / Чернышев А. П., Киселев А. И., Сотникова Г. П., Бубнов М. В.; заявитель МВТУ им. Н. Э. Баумана, патентовладельцы Бубнов М. В., Сотникова Г. П. – № 4603550 ; заявл. 04.11.88 ; опубл. 27.10.96, Бюл. № 30. – 5 с.

105. Пат. на винахід 23902 Україна, МКВ А61В 5/16. Пристрій для психологічних досліджень [Текст] / Самсонкін В. М., Панарін С. В., Піхуля С. О., Фисько І. М.; заявники і патентовласники Самсонкін В. М., Панарін С. В., Піхуля С. О., Фисько І. М. – № 96072686 ; заявл. 08.07.96 ; опубл. 31.08.98, Бюл. № 4. – 5 с.

106. Деклар. пат. на полезную модель 9820 Украина, МКИ G06F 7/06. Устройство для управления процессом компьютерного обучения и контроля знаний [Текст] / Ткаченко В. П., Макаренко М. Б., Лехциер Л. Р., Велигура А. В.; заявители и патентообладатели Ткаченко В. П., Макаренко М. Б., Лехциер Л. Р., Велигура А. В. - № u 200503179 ; заявл. 05.04.05 ; опубл. 17.10.05, Бюл.№ 10.– 3 с.

107. Попов, Г. В. Выбор решений и безопасность [Текст]: навч. посібник / Г. В. Попов. – Иваново : Иван. гос. энерг. ун-т, 2003. – 92 с.

108. Тихонов, А. П. Профессиональный отбор горючего операторского звена с точки зрения теории информационного метаболизма [Текст] / А. П. Тихонов,

М. О. Павлухина // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. – 1997. – №5–6.

109. Жуковицкий, И. В. Управление замедлителями тормозной позиции сортировочной горки. Часть 1. Модель системы [Текст] / И. В. Жуковицкий, Г.И. Загарий, Н. И. Луханин // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. – 2000. – № 5. – С. 10–15.

110. Литвиненко, А. Е. Метод направленного перебора в системах управления и диагностирования [Текст] : монография / А. Е. Литвиненко. – К., 2007. – 328 с.

111. Соложенцев, Е. Д. Сценарное логико-вероятностное управление риском в бизнесе и технике [Текст] / Е. Д. Соложенцев. – СПб. : ИД «Бизнес-пресса», 2004. – 432 с.

112. Бройтман, Э. З. Железнодорожные станции и узлы [Текст]: учебник / Э. З. Бройтман . – М., 2004. – 369 с.

113. Савченко, И. Е. Железнодорожные станции и узлы [Текст] : учебн. для вузов ж.-д. трансп. / И. Е. Савченко, С. В. Земблинов, И. И. Страховский. – М. : Транспорт, 1980. – 479 с.

114. Модин, Н. К. Механизация и автоматизация станционных процессов [Текст] / Н. К. Модин. – М. : Транспорт, 1985. – 224 с.

115. Модин, Н. К. Безопасность функционирования горочных устройств [Текст] / Н. К. Модин. – М. : Транспорт, 1994. – 173 с.

116. Сагайтис, В. С. Устройства механизированных и автоматизированных сортировочных горок [Текст] : справочник / В. С. Сагайтис, В. Н. Соколов. – М. : Транспорт, 1988. – 208 с.

117. Яблонский, С. В. Введение в дискретную математику [Текст] : учебн. для вузов / С. В. Яблонский. – М. : Наука, 1986. – 384 с.

118. Тевяшев, А. Д. Основы дискретной математики в примерах и задачах [Текст] : учеб. пособие / А. Д. Тевяшев, И. Г. Гусарова. – Харьков : ХНУРЭ, 2003. – 272 с.

119. Мунипов, В. М. Эргономика: человеко-ориентированное проектирование техники, программных средств и среды [Текст] : учебник / В. М. Мунипов, В. Л. Зинченко. – М. : Логос, 2001. – 356 с.

120. [Романенко, Ю. В.](#) Построение автоматизированной системы комплексной подготовки и аттестации операторов сложных технических комплексов [Текст] / Ю. В. Романенко // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». – 2010. – № 10. – С. 108–112.

121. Павлов, И. В. Статистические методы оценки надежности сложных систем по результатам испытаний [Текст] / И. В. Павлов. – М. : Радио и связь, 1982. – 168 с.

122. Смирнов, Б. А. Инженерная психология: Экономические проблемы [Текст] / Б. А. Смирнов, Б. А. Душков, Ф. П. Космолинский. – М.: Экономика, 1983. – 223 с.

123. Воеводин, В. В. Энциклопедия линейной алгебры. Электронная система ЛИНЕАЛ [Текст] / В. В. Воеводин, Вл. В. Воеводин. – СПб. : БХВ-Петербург, 2006. – 545 с.

124. Пособие по применению правил и норм проектирования сортировочных устройств [Текст] / Ю. А. Муха, Л. Б. Тишков, В. П. Шейкин и др. – М. : Транспорт, 1994. – 220 с.