

Міністерство освіти і науки України  
Державний університет інфраструктури та технологій

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

НЕВЕДРОВ ОЛЕКСАНДР ВІКТОРОВИЧ

УДК 629.4.053

**ДИСЕРТАЦІЯ**

**РОЗВИТОК ТЕОРЕТИЧНИХ ОСНОВ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ  
КЕРУВАННЯ ЛОКОМОТИВОМ**

273 – Залізничний транспорт

27 – Транспорт

Подається на здобуття ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,  
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

\_\_\_\_\_ Олександр НЕВЕДРОВ

Науковий керівник

Олександр ГОРОБЧЕНКО  
доктор технічних наук, професор

Київ – 2023

## АНОТАЦІЯ

Неведров О. В. Розвиток теоретичних основ інтелектуальних систем керування локомотивом. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 273 – Залізничний транспорт. Державний університет інфраструктури та технологій МОН України, Київ, 2023.

Дисертація присвячена вирішенню актуальної наукової задачі розвитку теоретичних основ систем керування локомотивом шляхом використання методів теорії штучного інтелекту, що дозволило підвищити рівень безпеки руху при експлуатації тягового рухомого складу за рахунок поліпшення процесу управління поїздом.

Встановлено вплив людського фактору на якість управління поїздом. Із загальної кількості транспортних пригод до 80% пов'язані з впливом людського фактору. Це дає підстави стверджувати про необхідність подальшої роботи по усуненню шкідливого впливу людського фактору на безпеку руху та вдосконаленню систем керування локомотивами.

Наукова новизна дисертаційної роботи полягає у вирішенні наукової задачі розвитку теоретичних основ систем керування локомотивом шляхом використання методів теорії штучного інтелекту.

*Вперше:*

- розроблено адитивний критерій оцінки керуючих дій при веденні поїзда у вигляді співвідношення формалізованих показників якості роботи системи «поїзд-машиніст», таких як безпека руху, витрати енергоресурсів на тягу та виконання графіку руху. Це дозволило об'єктивно порівнювати та прогнозувати результати керуючих дій та наслідків прийняття невірної рішення. Таким чином розроблено комплексну оцінку керуючих дій і використання різних стратегій керування рухом, що дозволяє реалізувати подальше удосконалення системи керування рухом;

- формалізовано параметр «напруженості роботи машиніста» в процесі керування локомотивом, який, на відміну від існуючих підходів до оцінки роботи машиніста, враховує типи поточних поїзних ситуацій і їх взаємний вплив на роботу локомотивної бригади. Це дозволило реалізувати постійний моніторинг обставин ведення поїзду з метою визначення найбільш небезпечних періодів в роботі, під час яких значно падає імовірність безпомилкового виконання операції.

*Доопрацьовано:*

- метод визначення величини вагових коефіцієнтів для поїзних ситуацій шляхом використання методу Сааті для різних режимів руху поїзду. Використання такого підходу зробило можливим провести об'єктивне оцінювання поїзних ситуацій та класифікувати їх за режимами руху як небезпечні, які потребують додаткової уваги, такі, що потребують невідкладних дій та безпечні.

Практичне значення одержаних результатів роботи полягаю у тому, що на підставі отриманих результатів теоретичних досліджень запропоновано удосконалені алгоритми роботи системи підтримки прийняття рішень для машиністів локомотивів. Розроблено нові алгоритми та запропоновано розширення режимів моделювання для удосконалення роботи тренажерного комплексу з підготовки машиністів локомотивів в ДУІТ. Завдяки цьому був значно розширений спектр ситуацій, що моделюються на тренажері, та вдосконалено систему обробки результатів тренувальних поїздок. Основні результати роботи впроваджено у навчальний процес ДУІТ при підготовці та підвищенні кваліфікації фахівців спеціальності 273 «Залізничний транспорт».

За темою дисертації опубліковано 10 наукових праць, у тому числі 5 основних праць (2 статті у періодичних наукових виданнях, проіндексованих у базі даних Scopus та виданих в країнах ЄС, 3 статті у наукових фахових виданнях України), 4 праці апробаційного характеру та 1 патент на корисну модель.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційного дослідження, наведено його мету, завдання, зв'язок із науковими програмами, планами і темами університету. Представлено наукову новизну, практичну значущість дисертації та наведено її загальну характеристику.

*В першому розділі* в результаті дослідження впливу людського фактору на якість керування поїздом встановлено, що основними причинами транспортних подій у локомотивному господарстві є людський фактор. Таким чином можна стверджувати, що зменшення впливу людського фактору на безпеку руху є значним резервом її підвищення. Від рівня дисципліни, відповідальності та вимогливості до себе машиніста та його помічника завжди залежить безпека пасажирів та вантажу, безперебійна робота залізничного транспорту. Ефективність всієї діяльності оператора з управління системою багато в чому залежить від тієї ланки, яка здійснює прийом інформації від індикаційних пристроїв системи. В теперішній час не достатньо уваги приділяється інтелектуалізації процесів прийняття рішень системою керування локомотивами. Водночас з розробкою все більш сучасних програмних комплексів, допускаються спроби побудови систем, характер функціонування яких все більше наближений до інтелектуальної діяльності людини.

*В другому розділі* визначено основні причини помилок машиніста локомотива, а саме незадовільна підготовка або низький рівень кваліфікації; недотримання передбачених процедур експлуатаційної роботи; незадовільні умови праці, пов'язані з такими негативними явищами як надмірний шум, вібрація, температурні коливання у кабіні машиніста (особливо на тепловозах); відсутність привабливих стимулюючих факторів для досягнення оптимального рівня якості роботи. Запропоновано критерій якості роботи ергатичної системи «машиніст-локомотив» в процесі експлуатації, що представлений у вигляді співвідношення різних показників якості, що відображають різні властивості системи. Комплексний критерій якості системи представлено у вигляді адитивного показника. Пропонується

визначити основні стратегії керування поїздом, що можуть бути застосовані в різних поїзних ситуаціях. Виходячи з основних завдань, що виконуються локомотивним господарством, в роботі визначено такі стратегії керування: дотримання графіку руху, максимальна безпека руху, мінімальна витрата енергії на тягу, максимальний рівень надійності рухомого складу. Стратегію керування представлено як множину, що містить свої характерні показники. Отримано абсолютні показники впливу кожного критерію якості керування на реалізацію окремих стратегій керування. Визначено коло факторів, що впливають її якість. Для цього виконано проектування нечіткої ієрархічної системи впливів цих факторів.

*В третьому розділі* для підвищення якості аналізу керуючої діяльності та наочного зображення співвідношень між підмножинами універсальної множини «поїзна ситуація» використано діаграми Ейлера-Венна. Це дозволяє визначити та формалізувати критерій, за яким оцінюється поточна поїзна обстановка. В випадку керування поїздом всі об'єкти класифікації (поїзні ситуації) розбиті на кінцеве число класів. Для кожного класу відомо і вивчено кінцеве число об'єктів – прецедентів. Завдання розпізнавання образів полягає в тому, щоб віднести нову розпізнавану ситуацію до якого-небудь класу. На основі методу Сааті розроблено підхід до визначення вагових коефіцієнтів поїзних ситуацій. Для цього наведено ієрархію ситуацій за режимами руху (безпечний режим; режим, що потребує підвищеної уваги; небезпечний режим). Якість розпізнавання тієї або іншої поїзної ситуації, в якій знаходиться локомотивна бригада, залежить від якості ознак, що використовуються системою класифікації. Вирішальним критерієм інформативності ознак в задачі розпізнавання образів пропонується величина втрат від помилок. Для визначення кола найбільш інформативних ознак поїзних ситуацій використано метод випадкового пошуку з адаптацією. Результатом використання цього методу є отримання найбільш інформативних ознак поїзної ситуації, а саме швидкість руху, вільність колії

попереду, відстань до сигналу, загальна оцінка стану гальм поїзду (за даними пробних гальмувань), відхилення витрати енергоресурсів на тягу від норми.

*В четвертому розділі* проведено оцінку перспективності систем підтримки прийняття рішень для локомотивних бригад, що обумовлена кількома причинами. Перша з них полягає в тому, що управління локомотивом на основі традиційних технологій не може забезпечити істотне підвищення ефективності експлуатації. Удосконалення алгоритмів адаптивного керування призводить до їх значного ускладнення і труднощі реалізації безпосередньо на борту локомотива. Основними причинами розвитку інтелектуальних технологій управління тяговим рухомим складом є рівень інформатизації всіх сфер залізничного транспорту, наявність якісної елементної бази, широко поширені системи бездротової передачі даних, наявність спеціального програмного забезпечення. Загальна задача прийняття рішення на залізничному транспорті з урахуванням дотримання графіка руху і технічних норм, економії паливо-енергетичних ресурсів, з урахуванням виконання кількісних і якісних планових показників комплексності обслуговування та економічної ефективності перевезень є неструктурованим завданням. Ця задача ускладнена завданням унікального вибору, тобто кожен варіант перевезення має нову особливість перед відомим раніше перевезенням чи є взагалі новою задачею. Також на момент вирішення задачі є невизначеність в оцінках альтернативних варіантів її вирішення. Структура витрат на впровадження систем підтримки прийняття рішень для машиністів складається з витрат на закупку бортової ЕОМ, інтерфейсної частини, низки датчиків, на розробку програмного забезпечення та на монтаж системи на локомотиві. Окупність досягається за рахунок зниження впливу людського фактору на безпеку руху у вигляді зменшення транспортних подій, економії електроенергії на тягу поїздів та зменшення витрат на обслуговування і ремонт локомотивів за рахунок удосконалення керування.

*Ключові слова:* рухомий склад, машиніст поїзда, управління, підтримка прийняття рішень, ергатична система, людський фактор, безпека руху.

## ABSTRACT

*Nevedrov O. V.* Development of theoretical foundations of intelligent locomotive control systems. – Qualifying scientific work on manuscript rights.

Dissertation for obtaining the scientific degree of Doctor of Philosophy in specialty 273 - Railway transport. State University of Infrastructure and Technologies of the Ministry of Education and Culture of Ukraine, Kyiv, 2023.

The dissertation is devoted to solving the current scientific problem of developing the theoretical foundations of locomotive control systems by using methods of the theory of artificial intelligence, which made it possible to increase the level of traffic safety during the operation of traction rolling stock due to the improvement of the train control process.

The impact of the human factor on the quality of train management has been established. Of the total number of traffic accidents, 74% are related to the influence of the human factor. This gives grounds for asserting the need for further work on eliminating the harmful influence of the human factor on traffic safety and improving locomotive control systems.

The scientific novelty of the dissertation consists in solving the scientific problem of developing the theoretical foundations of locomotive control systems by using the methods of the theory of artificial intelligence.

For the first time:

- an additive criterion for evaluating control actions when driving a train was developed in the form of a ratio of formalized performance indicators of the "train-driver" system, such as traffic safety, consumption of energy resources for traction and execution of the traffic schedule. This made it possible to objectively compare and predict the results of management actions and the consequences of making the wrong decision. In this way, it is possible to improve the traffic control system by implementing a comprehensive assessment of control actions and using traffic control strategies;

- the "driver's work intensity" parameter in the process of driving a locomotive is formalized, which, unlike existing approaches to the driver's work assessment, takes into account the types of current train situations and their mutual influence on the work of the locomotive crew. This made it possible to implement constant monitoring of the circumstances of train driving in order to determine the most dangerous periods in work, during which the probability of error-free performance of the operation drops significantly.

Refined:

- the method of determining the value of the weighting factors for train situations by using the Saati method for different modes of train movement. The use of such an approach made it possible to conduct an objective assessment of train situations and classify them by traffic modes as dangerous, requiring additional attention, those requiring immediate action, and safe.

The practical significance of the obtained work results is that, on the basis of the obtained results of theoretical studies, improved algorithms of the decision support system for locomotive drivers are proposed. Algorithms were developed and software was implemented to improve the operation of the training complex for training locomotive drivers at DUIT. Thanks to this, the range of situations simulated on the simulator was significantly expanded, and the system for processing the results of training trips was improved. The main results of the work were implemented in the educational process of DUIT during the training and upgrading of the qualifications of specialists in the specialty "Locomotives and locomotive management".

10 scientific works were published on the topic of the dissertation, including 5 main works (2 articles in periodical scientific publications indexed in the Scopus database and published in EU countries, 3 articles in scientific specialized publications of Ukraine), 4 works of an approbation nature and 1 patent for useful model.

In the introduction, the relevance of the topic of the dissertation research is substantiated, its purpose, tasks, connection with the scientific programs, plans and



topics of the university are given. The scientific novelty, practical significance of the dissertation is presented, and its general characteristics are given.

*In the first chapter*, as a result of the study of the influence of the human factor on the quality of train management, it was established that the main causes of transport events in the locomotive industry are the human factor. Thus, it can be argued that reducing the influence of the human factor on traffic safety is a significant reserve for its improvement. The safety of passengers and cargo, as well as the uninterrupted operation of railway transport, always depend on the level of discipline, responsibility and demandingness of the driver and his assistant. The effectiveness of the operator's entire system management activity largely depends on the link that receives information from the system's display devices. Currently, not enough attention is paid to the intellectualization of the decision-making processes of the locomotive control system. At the same time, with the development of increasingly modern software complexes, attempts to build systems are allowed, the nature of functioning of which is increasingly close to the intellectual activity of a person.

*In the second chapter*, the main causes of the locomotive driver's mistakes are determined, namely, unsatisfactory training or low level of qualification; non-compliance with the prescribed operational work procedures; unsatisfactory working conditions associated with such negative phenomena as excessive noise, vibration, temperature fluctuations in the driver's cabin (especially on diesel locomotives); lack of attractive stimulating factors to achieve the optimal level of work quality. A criterion of the quality of the work of the "engine driver-locomotive" energy system during operation is proposed, which is presented in the form of a ratio of various quality indicators that reflect various properties of the system. The complex system quality criterion is presented in the form of an additive indicator. It is proposed to define the main train management strategies that can be applied in various train situations. Based on the main tasks performed by the locomotive industry, the following management strategies are defined in the work: compliance with the traffic schedule, maximum traffic safety, minimum power consumption for

traction, maximum level of rolling stock reliability. The management strategy is presented as a set containing its characteristic indicators. Absolute indicators of the impact of each management quality criterion on the implementation of individual management strategies were obtained. The range of factors affecting its quality has been determined. For this purpose, a fuzzy hierarchical system of the effects of these factors was designed.

*In the third chapter*, Euler-Venn diagrams are used to improve the quality of management activity analysis and visual representation of relationships between subsets of the universal set "train situation". This makes it possible to define and formalize the criterion by which the current train situation is evaluated. In the case of train control, all classification objects (train situations) are divided into a finite number of classes. For each class, a finite number of objects - precedents - is known and studied. The task of pattern recognition is to assign a new recognized situation to some class. Based on the Saati method, an approach to determining the weighting factors of train situations has been developed. For this purpose, a hierarchy of situations by traffic modes is given (safe mode; mode requiring increased attention; dangerous mode). The quality of recognizing one or another train situation in which the locomotive crew is located depends on the quality of the signs used by the classification system. The decisive criterion for the informativeness of features in the problem of pattern recognition is the amount of losses due to errors. To determine the circle of the most informative signs of train situations, the method of random search with adaptation was used. The result of using this method is obtaining the most informative signs of the train situation, namely the speed of movement, the clearance of the track ahead, the distance to the signal, the general assessment of the condition of the train's brakes (according to test braking data), the deviation of energy consumption for traction from the norm.

*In the fourth chapter*, an assessment of the prospects of decision support systems for locomotive crews is carried out, which is due to several reasons. The first of them is that locomotive management based on traditional technologies cannot provide a significant increase in operational efficiency. Improvement of adaptive

control algorithms leads to their significant complication and difficulty of implementation directly on board the locomotive. The main reasons for the development of intelligent technologies for the management of traction rolling stock are the level of informatization of all areas of railway transport, the availability of a high-quality element base, widespread wireless data transmission systems, and the availability of special software. The general task of making a decision on railway transport, taking into account compliance with the traffic schedule and technical standards, saving fuel and energy resources, taking into account the implementation of quantitative and qualitative planned indicators of service complexity and economic efficiency of transportation is an unstructured task. This task is complicated by the task of a unique choice, that is, each transportation option has a new feature compared to the previously known transportation or is a completely new task. Also, at the time of solving the problem, there is uncertainty in the evaluation of alternative options for its solution. The structure of costs for the implementation of decision support systems for drivers consists of costs for the purchase of an on-board computer, an interface part, a number of sensors, software development and installation of the system on the locomotive. Payback is achieved by reducing the impact of the human factor on traffic safety in the form of a reduction in traffic incidents, saving electricity for train traction, and reducing the cost of servicing and repairing locomotives due to improved control.

*Key words:* rolling stock, train driver, management, decision support, energy system, human factor, traffic safety.

### **Список публікацій здобувача.**

#### ***Основні наукові праці:***

*Наукові праці у фахових виданнях інших держав (індексовані в базі Scopus):*

1. Gorobchenko, O., Nevedrov, O. (2020). Development of the structure of an intelligent locomotive DSS and assessment of its effectiveness. Archives of Transport, 56(4), 47-58. doi:10.5604/01.3001.0014.5517

2. Goolak, S., Gubarevych, O., Gorobchenko, O., Nevedrov, O., & Kamchatna-Stepanova, K. (2022). Investigation of the influence of the quality of the power supply system on the characteristics of an asynchronous motor with a squirrel-cage rotor. Przegląd Elektrotechniczny, 98(6), 142-148. doi:10.15199/48.2022.06.26

#### ***Наукові праці у фахових виданнях України:***

3. Неvedров, О. (2020). Розвиток теоретичних основ оптимізації та оцінки якості управління тяговим рухомим складом. Транспортні системи і технології, (36), 24-32. <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2020-36-3>.

4. Горобченко, О., Слободянюк, М., Неvedров, О. (2019). Формалізація поїзних ситуацій при керуванні локомотивом на основі методів нечіткої логіки. Транспортні системи і технології, (34), 65-70. <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2019-34-1-5>.

5. Горобченко, О., Неvedров, О., Незліна, О., Ткаченко, В. (2021). Розробка методу кластеризації поїзних ситуацій. Транспортні системи і технології, (37), 187-195. <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2021-37-18>

#### ***Праці апробаційного характеру:***

6. Горобченко О.М., Черняк Ю.В., Неvedров О.В. Удосконалення методології оцінки дій локомотивних бригад при виникненні нештатних ситуацій. Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування. 11-а Міжнародна науково-практична конференція, 08-10 вересня 2020 р. Херсон: Херсонська державна морська академія. с. 273-274.

7. Горобченко О. М, Неведров О. В. (2020). Аналіз та шляхи вдосконалення робочого місця машиніста локомотива. Сучасні інформаційні та комунікаційні технології на транспорті, в промисловості і освіті: Тези XIV Міжнародної науково-практичної конференції (Дніпро, 15-16 грудня 2020 р.). ДПТ, с. 50.

8. Горобченко О.М, Неведров О.В. Постановка завдання визначення стану транспортного засобу за допомогою методів нечіткої математики. Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування. 10-а Міжнародна науково-практична конференція, 12-13 вересня 2019 р. Херсон: Херсонська державна морська академія. с. 19-20.

9. Неведров О. В. Горобченко О.М Використання методу випадкового пошуку з адаптацією для визначення кола найбільш інформативних ознак поїзних ситуацій. Міжнародна мультидисциплінарна науково-практична інтернет-конференція молодих дослідників, здобувачів вищої освіти та науковців «Сучасна наука: інновації та перспективи», 6-7 квітня 2023 р. Київ. Державний університет інфраструктури та технологій. 2023.

***Праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:***

10. Неведров О. В. та ін. (2022) Пристрій автоматизованого діагностування кіл керування електровозів ЧС-4: пат. 151531 Україна. G05B 23/00 G05B 23/02. № u202103250. Заявл. 10.06.2021; опубл. 10.08.2022, бюл. № 32.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	16
РОЗДІЛ 1 ДОСЛІДЖЕННЯ УМОВ ТА ШЛЯХІВ УДОСКОНАЛЕННЯ КЕРУВАННЯ ПОЇЗДОМ	22
1.1 Вплив людського фактору на безпеку руху на залізничному транспорті. ....	22
1.2 Сучасні засоби контролю поїзної ситуації для локомотивних бригад.	26
1.3 Огляд методів класифікації та визначення основних підходів до розпізнавання поїзних ситуацій.	31
1.3.1 Методи класифікації.	31
1.3.2 Алгоритми кластерного аналізу	34
1.4 Аналіз робочого місця машиніста локомотива	37
1.5 Шляхи підвищення якості підготовки локомотивних бригад	41
Висновки по розділу 1.	45
РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ОЦІНКИ КЕРУЮЧИХ ДІЙ ПРИ ВЕДЕННІ ПОЇЗДА	47
2.1 Визначення факторів, що впливають на виникнення помилок машиністів локомотивів	47
2.2 Вибір критерію оптимальності керуючої діяльності машиніста.	51
2.3 Якість роботи ергатичної системи «машиніст-локомотив».	59
2.4 Ієрархічна класифікація факторів якості функціонування ергатичної системи «поїзд-машиніст»	63
Висновки по розділу 2	64
РОЗДІЛ 3 МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ КЕРУВАННЯ ЛОКОМОТИВОМ ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ ТЕОРІЇ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБРАЗІВ.	67
3.1 Формалізація параметру «напруженості роботи машиніста» в процесі керування локомотивом.	67
3.2 Розробка теоретичних основ визначення образів поїзних ситуацій.	71
3.2.1 Формальна постановка задачі класифікації.	71

3.3 Використання кластерного аналізу для визначення поточної поїзної ситуації.	73
3.3.1 Постановка завдання диференціювання поїзних ситуацій за допомогою кластерного аналізу.	73
3.3.2 Розробка алгоритму кластеризації поїзних ситуацій.	76
3.3.3 Метод визначення поїзної ситуації на основі кластерного аналізу	80
3.3.4 Обґрунтування величини вагового коефіцієнта для ситуацій.	82
3.4 Вибір інформативного набору ознак для розпізнавання поїзних ситуацій.	90
3.4.1 Постановка завдання вибору ознак.	90
3.4.2. Визначення інформативності окремих ознак	92
3.4.3 Використання методу випадкового пошуку з адаптацією для визначення кола найбільш інформативних ознак поїзних ситуацій.	97
Висновки по розділу 3	100
РОЗДІЛ 4 ШЛЯХИ РЕАЛІЗАЦІЇ ЗАПРОПОНОВАНИХ ЗАХОДІВ В ЛОКОМОТИВНОМУ ГОСПОДАРСТВІ.	103
4.1 Основні вимоги до програмного забезпечення локомотивних систем підтримки прийняття рішень.	103
4.1.1 Рівні повноти безпеки програмного забезпечення.	106
4.2 Формулювання основних завдань локомотивних СППР.	109
4.3 Програмна реалізація алгоритму випадкового пошуку з адаптацією ознак поїзної ситуації.	111
4.4 Експериментальне дослідження ефективності запропонованої моделі визначення напруженості роботи машиніста.	112
4.5 Економічна доцільність впровадження локомотивних СППР.	120
Висновки по розділу 4.	126
ВИСНОВКИ	128
Список використаних джерел	130

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Покращення стану безпеки руху на залізничному транспорті є одним з пріоритетних завдань, що потребує постійної уваги. Локомотивне господарство один з найвідповідальніших підрозділів залізниці, від якого в значній мірі залежить ефективність та безпека експлуатації засобів транспорту. За статистичними даними у 2016-2021 рр. доля порушень безпеки руху в локомотивному господарстві становить 32,2% від загальної кількості по Укрзалізниці. Причому людський фактор при аналізі причин виникнення небезпечних ситуацій складає до 80%.

Аналізуючи світовий досвід, можна сказати, що порушення безпеки руху з боку локомотивних бригад є найбільш загрозливими за своїми наслідками. Так в результаті невірних дій машиністів та інших працівників залізниць у березні 2023 р. у Греції загинуло 36 осіб, у 2015 р. у США загинуло 8 людей, травмовано близько 200, у 2014 р. у Конго загинуло 63 людини, травмовано більше 160, у 2013 р. в Іспанії загинуло 80 осіб. В червні 2023 року в Індії в штаті Одіша сталася масштабна залізнична катастрофа, наслідками якої стала загибель 288 людей. За даними European Railway Agency за останні 5 років на європейських залізницях в результаті помилок машиністів загинуло більше 250 людей.

Ці показники свідчать про наявність значного резерву покращення безпеки руху за рахунок мінімізації шкідливого впливу людини на процеси керування. Досягти цього можливо шляхом розробки та впровадження автоматизованих інтелектуальних систем керування, що здатні не тільки енергооптимально виконувати ведення поїзду, але і забезпечувати прийняття складних рішень, моделюючи дії локомотивних бригад в нестандартних ситуаціях. Перше завдання практично можна вважати виконаним (впроваджено багато систем автоведення поїздів як в пасажирському, так і в вантажному русі). Але над реалізацією моделі керування поїздом, яка б повністю замінила машиніста в сфері забезпечення та контролю безпеки все



ще ведеться інтенсивна робота: по-перше науковці розробляють для цього теоретичне підґрунтя, по-друге конструктори підвищують якість та швидкодію елементної бази та програмного забезпечення.

Одним зі шляхів вирішення поставленого завдання може бути використання інтелектуальних систем в керуванні поїздом. Вони забезпечать вироблення управляючих рішень в складних, суперечливих умовах, та при обмеженості вхідної інформації. Таким чином, поставлене в роботі завдання є актуальним з точки зору сучасного розвитку залізничного транспорту.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційну роботу виконано у відповідності до «Національна транспортна стратегія України на період до 2030 року», яку введено в дію наказом (розпорядження КМУ від 30.05.10 р. № 430-р); «Концепції державної програми реформування залізничного транспорту України», затвердженої розпорядженням Кабміну України від 27.12.2006 р №651р. Наукові результати отримані при виконанні науково-дослідних робіт, зокрема: «Модернізація маневрових тепловозів типу ЧМЕЗ шляхом впровадження системи дистанційного управління і контролю» (№ДР0121U107991) та «Розробка наукових засад комплексного підвищення безпеки, ефективності експлуатації та управління критичними об'єктами залізничного транспорту в умовах післявоєнного розвитку України» (проект за грантової підтримки Національного фонду досліджень України, реєстраційний номер проекту 2022.01/0224), у яких автор дисертації є виконавцем і автором звітів.

**Мета і задачі дослідження.** Мета дисертаційної роботи полягає у вирішенні наукового завдання розвитку теоретичних основ систем керування локомотивом шляхом використання методів теорії штучного інтелекту.

Для досягнення вказаної мети у роботі поставлені такі наукові задачі:

- дослідити вплив людського фактору на якість та безпеку керування поїздом;

- виконати аналіз методів класифікації та визначення основних підходів до розпізнавання поїзних ситуацій та визначити шляхи підвищення якості прийнятих машиністом рішень;
- розробити критерій оцінки керуючих дій при веденні поїзда;
- формалізувати параметр «напруженості роботи машиніста» в процесі керування локомотивом;
- обґрунтувати величини вагових коефіцієнтів для поїзних ситуацій за методом Сааті для реалізації рішень з керування поїздом;
- провести експериментальні дослідження з оцінки напруженості роботи машиніста локомотива;
- визначити шляхи практичної реалізації запропонованих заходів.

*Об'єкт дослідження* – автоматизований процес керування локомотивом.

*Предмет дослідження* – методи та моделі прийняття рішень при керуванні локомотивом.

**Методи дослідження.** За допомогою методів теорії нечітких множин описані та формалізовані вихідні дані для моделювання керуючої діяльності машиніста локомотива. Методи теорії експертних оцінок використані при визначенні впливу показника реалізації на стратегію керування поїздом та при розробці процедури представлення діагностичного параметру у вигляді нечіткої змінної. Для обґрунтування величини вагових коефіцієнтів для визначення якості керування поїздом використані методи послідовного та парного порівняння критеріїв. На основі кластерного аналізу реалізоване визначення поїзної ситуації під час руху. Обґрунтування величини вагових коефіцієнтів для поїзних ситуацій виконано за допомогою метода Сааті. Метод випадкового пошуку з адаптацією використано для визначення кола найбільш інформативних ознак поїзних ситуацій.

**Наукова новизна одержаних результатів.** Вирішено наукову задачу розвитку теоретичних основ систем керування локомотивом шляхом використання методів теорії штучного інтелекту.

Вперше:

- розроблено адитивний критерій оцінки керуючих дій при веденні поїзда у вигляді співвідношення формалізованих показників якості роботи системи «поїзд-машиніст», таких як безпека руху, витрати енергоресурсів на тягу та виконання графіку руху. Це дозволило об'єктивно порівнювати та прогнозувати результати керуючих дій та наслідків прийняття невірної рішення. Таким чином розроблено комплексну оцінку керуючих дій і використання різних стратегій керування рухом, що дозволяє реалізувати подальше удосконалення системи керування рухом;

- формалізовано параметр «напруженості роботи машиніста» в процесі керування локомотивом, який, на відміну від існуючих підходів до оцінки роботи машиніста, враховує типи поточних поїзних ситуацій і їх взаємний вплив на роботу локомотивної бригади. Це дозволило реалізувати постійний моніторинг обставин ведення поїзду з метою визначення найбільш небезпечних періодів в роботі, під час яких значно падає імовірність безпомилкового виконання операції.

Доопрацьовано:

- метод визначення величини вагових коефіцієнтів для поїзних ситуацій шляхом використання методу Сааті для різних режимів руху поїзду. Використання такого підходу зробило можливим провести об'єктивне оцінювання поїзних ситуацій та класифікувати їх за режимами руху як небезпечні, які потребують додаткової уваги, такі, що потребують невідкладних дій та безпечні.

**Практичне значення одержаних результатів роботи.** На підставі отриманих результатів теоретичних досліджень запропоновано удосконалені алгоритми роботи системи підтримки прийняття рішень для машиністів.

Розроблено нові алгоритми та запропоновано розширення режимів моделювання для удосконалення роботи тренажерного комплексу з підготовки машиністів локомотивів в ДУІТ. Завдяки цьому був значно

розширений спектр ситуацій, що моделюються на тренажері, та вдосконалено систему обробки результатів тренувальних поїздок.

Основні результати роботи впроваджено у технологічні процеси модернізації систем керування локомотивів на Науково-виробничому підприємстві «Локомотив транс сервіс» та у навчальний процес ДУІТ при підготовці та підвищенні кваліфікації фахівців спеціальності 273 – Залізничний транспорт.

**Особистий внесок здобувача.** Всі наукові положення, розробки і результати, що виносяться на захист, отримані автором самостійно і виконані в ДУІТ.

У основних наукових працях, які опубліковані у співавторстві, особистий внесок здобувача визначається таким: в роботі [1] розроблено структуру та визначено основні характеристики локомотивних інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень; в роботі [2] проведено експеримент з визначення впливу якості електроенергії, що подається до тягового електродвигуна, на тягові властивості з метою урахування цих впливів при реалізації систем керування локомотивом; в роботі [4] розроблено метод оцінки та визначення стану поїзної обстановки під час керування локомотивом; в роботі [5] запропоновано підхід до класифікації поїзних ситуацій та метод їх кластеризації.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення і результати дисертаційної роботи доповідалися, обговорювалися та ухвалені на таких конференціях: 10-а Міжнародна науково-практична конференція, (м. Херсон, 2019 р.), XIV Міжнародна науково-практична конференція (м. Дніпро, 2020 р.), 11-а Міжнародна науково-практична конференція, (м. Херсон, 2020 р.), Міжнародна мультидисциплінарна науково-практична інтернет-конференція молодих дослідників, здобувачів вищої освіти та науковців «Сучасна наука: інновації та перспективи» (м. Київ, 2023 р.). Повністю дисертація доповідалася, обговорювалася і була схвалена на засіданні кафедри електромеханіки та рухомого складу залізниць, а також на фаховому

міжкафедеральному семінарі в Київському інституті залізничного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій за участю рецензентів.

**Публікації.** Матеріали дисертації опубліковані у 5 основних наукових працях, що відповідають п. 8 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» затвердженого постановою КМУ № 44 від 12.01.2022 р., з яких 2 праці у закордонних виданнях (індексовані в наукометричній базі Scopus), 3 праці у фахових виданнях затверджених МОН України. Також опубліковано 5 додаткових праць (1 патент України на корисну модель та 4 праці апробаційного характеру).

**Структура та обсяг роботи.** Дисертація складається зі вступу, 4 розділів, висновків та додатків. Повний обсяг складає 147 сторінок, у тому числі 118 сторінок основного тексту, 4 сторінки додатків, 27 таблиць, 84 рисунка. Розташовані на окремих сторінках таблиці та рисунки займають 7 сторінок. Список використаних джерел включає 115 найменувань на 13 сторінках.

## РОЗДІЛ 1

### ДОСЛІДЖЕННЯ УМОВ ТА ШЛЯХІВ УДОСКОНАЛЕННЯ КЕРУВАННЯ ПОЇЗДОМ.

1.1 Вплив людського фактору на безпеку руху на залізничному транспорті.

Важливим напрямком подальшого розвитку залізничного транспорту, що закріплені в документах [6,7], є підвищення ефективності та безпеки експлуатації тягового рухомого складу залізниць та впровадження сучасних систем керування і контролю на транспорті.

Значна роль удосконалення систем керування у подальшому розвитку залізничних перевезень вимагає розробки нових наукових підходів до проектування та експлуатації транспортних ергатичних систем. Питання підвищення ефективності функціонування ергатичних систем на залізничному транспорті висвітлені в дослідженнях В. М. Самсонкіна, В. В. Скалозуба, О. М. Горобченка. Підвищенню безпеки руху та ефективності функціонування транспортних засобів присвятили свої дослідження вчені О. В. Бажинов, Б. Є. Боднар, А. Б. Бойник, О. Л. Голубенко, І. В. Жуковицький, В. Г. Козубенко, І. К. Колесник, В. І. Мойсеєнко, С. В. Мямлін, Є. В. Нагорний, О. Б. Очкасов, В. Г. Пузир, Е. Д. Тартаковський, F. Ardeshir, O. Bilenne, E. Druet, K. Hartwig, J. Winter та ін. На розвинення теоретичних основ інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень спрямовані праці G. A. Forgionne, Б. М. Герасимова, С. Д. Штовби, C.A. Ntuen, E.H. Park.

Аналізуючи існуючі джерела статистичної інформації країн ЄС, США, Канади [8 – 11] можна сказати, що в останні роки не відбувається суттєвого зниження кількості інцидентів на залізницях світу. В 2019 році допущено 1081 транспортну подію, з них 561 аварія, у т.ч. 57 випадків сходження рухомого складу, 6 випадків зіткнення рухомого складу, 3 випадки пожежі на рухомому складі, 495 випадків травмування осіб рухомих складом (315 зі смертельним

наслідком), у т.ч. 7 робітників залізничного транспорту та 520 інцидентів, проти 1282 транспортних подій, з них 1 катастрофа, 626 аварій, у т.ч. 80 випадків сходження рухомого складу, 7 випадків зіткнення рухомого складу, 1 випадок пожежі на рухомому складі, 538 випадків травмування осіб рухомих складом, у т.ч. 4 працівника залізничного транспорту (317 зі смертельним наслідком) та 655 інцидентів за аналогічний період 2018 року [12].

За інформацією, яка надходила до Укртрансбезпеки, упродовж 9 місяців 2022 року на залізничному транспорті України сталося 408 транспортних подій, у яких 100 осіб загинули та 63 особи отримали травми, з них:

236 аварій, з яких: 1) 168 аварій з особами, завдані рухомих складом залізничного транспорту, що переміщався, у яких 100 осіб загинули та 63 отримали травми; 2) 68 аварій за участю залізничного транспорту (зіткнення, сходження з рейок рухомого складу залізничного транспорту, тощо), без постраждалих;

172 інциденти, без постраждалих.

У порівняння з аналогічним періодом 2021 року на залізничному транспорті України, сталося 869 транспортних подій, у яких 182 особи загинули та 134 особи отримала травми, з них:

1 катастрофа, без постраждалих;

480 аварій, з яких: 1) 316 аварій з особами, завдані рухомих складом залізничного транспорту, що переміщався, у яких 182 особи загинули та 134 отримала травми; 2) 164 аварії за участю залізничного транспорту (зіткнення, сходження з рейок рухомого складу залізничного транспорту, тощо), без постраждалих; 388 інцидентів, без постраждалих.

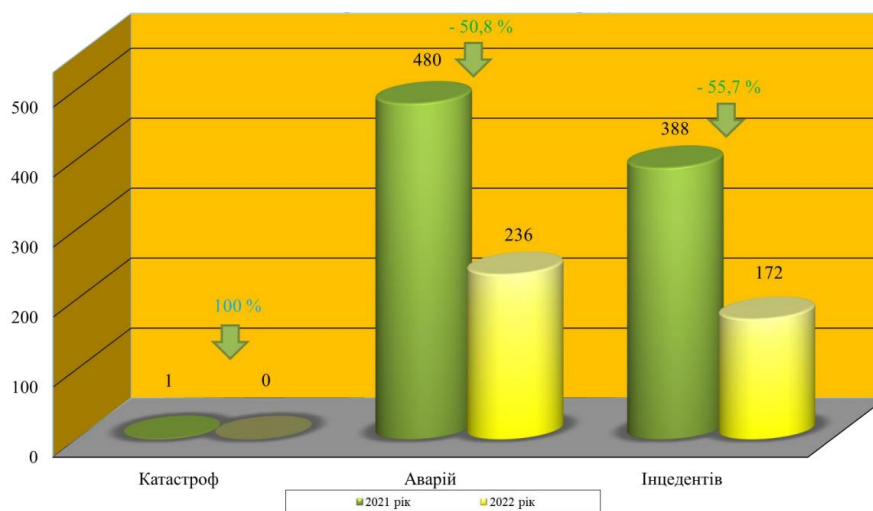


Рисунок 1.1 – Кількість транспортних подій на залізничному транспорті за 9 місяців 2022 року, у порівнянні з 9 місяцями 2021 року

Розподіл транспортних подій за регіональними філіями за 9 місяців 2022 року наведено на рис. 1.2.

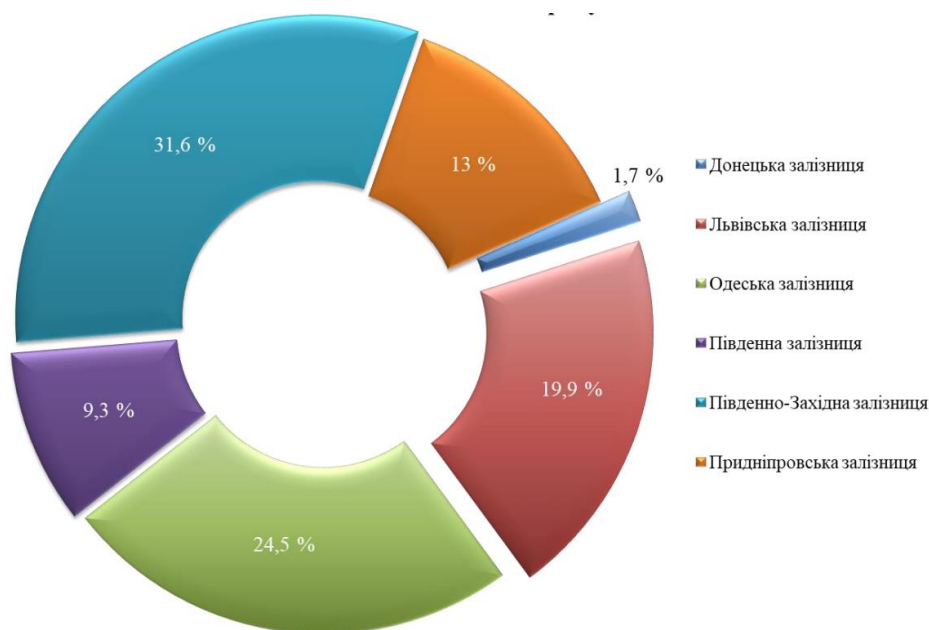
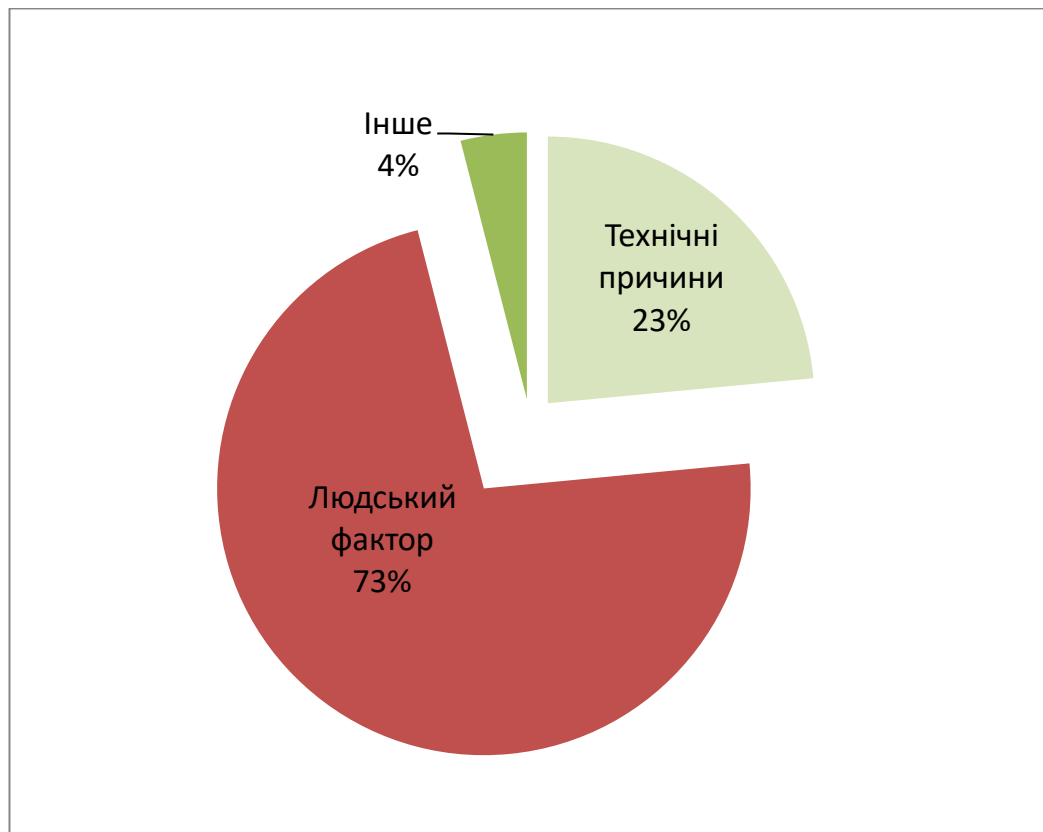


Рисунок 1.2 – Розподіл транспортних подій за регіональними філіями за 9 місяців 2022 року.

Кількість проїздів заборонних сигналів світлофорів за останні роки залишається на одному рівні, що свідчить про недостатність рівня профілактичної роботи у господарстві.



Основними причинами транспортних подій у локомотивному господарстві є: 23,5% транспортних подій скоїлося з технічних причин, на людський фактор припадає 72,5%. Неякісний деповський ремонт став причиною більше ніж у 52% випадків, неякісний заводський ремонт майже у 8% подій, невірні дії локомотивних бригад були причиною транспортних подій більш ніж у 25%. Несправності основного обладнання тягового рухомого складу у більше ніж 84% спричинені технічними причинами й майже у 16% - людським фактором.



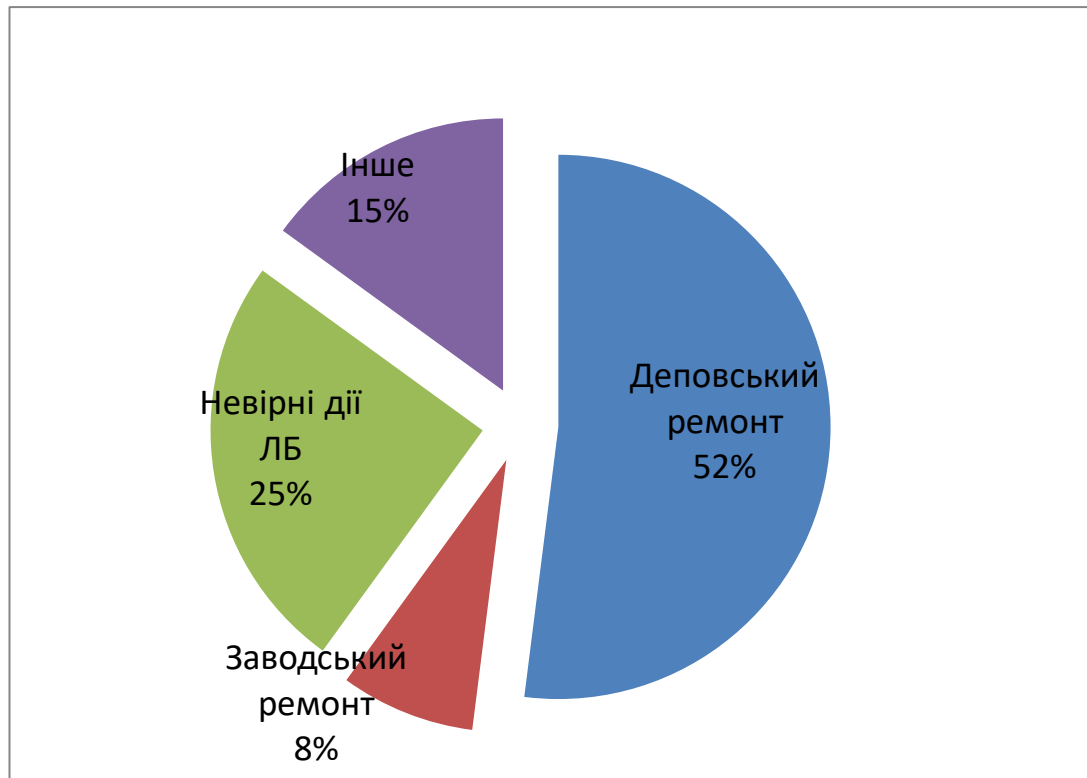


Рисунок 1.3 – Розподіл транспортних подій в локомотивному господарстві за причинами

Таким чином можна стверджувати, що зменшення впливу людського фактору на безпеку руху є значним резервом її підвищення.

## 1.2 Сучасні засоби контролю поїзної ситуації для локомотивних бригад.

В теперішній час впроваджено багато систем автоматизованого керування тяговим рухом складом залізниць [13 – 17]. Загальний вигляд кабіни сучасного локомотива в теперішній час наближається до деякої уніфікації [18, 19]. Пульти всіх локомотивів представляють собою загальний об'єм, з площиною, маючою невеликий нахил, де розташовано основні елементи керування, кнопки, рукоятки, тумблери. А також є площа з майже вертикальним нахилом, де розташовані прибори контролю, індикації, монітори і ін. Загальні види пультів деяких локомотивів наведено на наступних рисунках.



Рисунок 1.4 – Пульт електровозу постійного струму ЕП2К



Рисунок 1.5 – Пульт електровозу постійного струму 2ЕС6



Рисунок 1.6 – Пульт электровозу змінного струму ЕП1М



Рисунок 1.7 – Пульт электровозу змінного струму Е5К





Рисунок 1.8 – Пульт електропоїзду Інтерсіті.



Рисунок 1.9 – Пульт високошвидкісного електропоїзду AGV.

Ступінь автоматизації сучасних локомотивів та електропоїздів достатньо висока. Система майже автономно керує рухом поїзду, враховуючи такі показники, як виконання розкладу, економія енергоресурсів на тягу,

контроль сигналів попереду. Людина в цій ситуації перетворюється на спостерігача [20 – 23].

Але коли відбувається ситуація, що не передбачена автоматизованими системами, роль людини стає головною. Саме машиніст приймає рішення по керуванню поїздом в нештатних ситуаціях, коли система не має доступу до низки необхідних параметрів.

Для ефективного виконання своїх обов'язків машиністу необхідна оперативна інформація, що характеризує поточну поїзну ситуацію. Для цього пульт машиніста містить від одного до трьох моніторів, що відображають стан поїзду та його основних агрегатів і вузлів, поточний режим руху (швидкість, прискорення), стан сигналів попереду, параметри контактної мережі і багато іншого.

Не зважаючи на те, що пульти машиніста в достатній мірі відповідають вимогам ергономіки, охорони та гігієни праці, на отримання якої-небудь інформації машиніст може витратити певний час, що в умовах нештатної ситуації призведе до браку в роботі або аварії. Це пов'язано з тим, що на моніторі можливо відобразити за умовами нормального сприйняття тільки частину інформації. Для виведення іншого інформаційного блоку машиністу потрібно провести деякі дії з переключенням екрану. В більшості випадків машиніст в напружених і нештатних ситуаціях не витрачає час на пошук необхідної інформації а діє згідно свого досвіду та кваліфікації. І тут виникають певні ризики, по'язані з впливом людського фактору на якість керування поїздом.

Навіть найсучасніші технічні системи і пристрої не в змозі в теперішній час виключити участь локомотивної бригади в забезпеченні безаварійної роботи. Від рівня дисципліни, відповідальності та вимогливості до себе машиніста та його помічника завжди залежить безпека пасажирів та вантажу, безперебійна робота залізничного транспорту.

Найбільш серйозне порушення, що допускають машиністи, проїзд заборонного сигналу і це часто є причиною аварії. Для недопущення цього

важливо виробити чіткі та стійкі навички роботи, особливо коли бригада опиняється в ситуації нестандартній, такій що відрізняється від повсякденних і потребує прийняття швидких рішень. З точки зору психології такі стани називають «складними» [24]. Прикладами складних ситуацій можуть бути наїзди на людей і перешкоди, спогади і інше. Одним зі станів, що виникає при порушенні режиму праці та відпочинку є стан сонливості. Готовність до дій буде полягати у тому, що суб'єкт перебуває в різних станах не вперше, він вже переживав ці стани і може їх здолати.

Локомотивна бригада стикається з багатьма задачами, які прагне виконати на рівні свідомості. По мірі придбання позитивного досвіду рішення таких завдань, процес рішення відбувається «автоматично» [25, 26]. Зі свідомості зникають процеси збирання інформації і встановлення її відповідності задачі, моменти сумнівів, коливань. Замість усвідомленого вибору автоматично виконується ланцюг розумових і рухових операцій. Період коливань і сумнівів виникає не тільки у новачка, а і у досвідченого фахівця, при ускладненні умов виконання завдання під дією зовнішніх подій або стану суб'єкта [27, 28]. У міру формування готовності періоди сумнівів і коливань виникають тільки в абсолютно нових, несподіваних ситуаціях.

Таким чином, можна зробити висновок, що в теперішній час, не зважаючи на розвиток систем автоматичного керування та контролю ведення поїздів, не вдалося повністю уникнути шкідливих впливів людського фактору на процес керування поїздом.

### 1.3 Огляд методів класифікації та визначення основних підходів до розпізнавання поїзних ситуацій.

#### 1.3.1 Методи класифікації.

Методи класифікації можна розділити на кілька груп. За способом завдання показника якості класифікації методи поділяються на евристичні та

оптимізаційні. За способом об'єднання – на дивизимні, агломеративні і ітеративні [29, 30].

Евристичні алгоритми засновані на досвіді та інтуїції людини. Показник якості класифікації, який необхідно звернути на екстремум, в цих алгоритмах в явному вигляді не заданий. Евристичні алгоритми реалізують процедури, які мають раціональним змістом з точки зору логіки людини і призводять у багатьох випадках до гарних результатів на практиці. До таких алгоритмів відносяться, наприклад, алгоритми «Граф», «Спектр», «Форель».

До оптимізаційних алгоритмів відносяться методи класифікації, в яких в явному вигляді заданий показник якості, який необхідно звернути на екстремум (максимум чи мінімум) по множині допустимих розбиток. На відміну від алгоритмів першої групи, розбиття, одержувані оптимізаційними алгоритмами класифікації, є найкращими з точки зору обраного показника якості. Вибір конкретного показника залежить від специфіки і обмежень задачі, а також прийнятих пропозицій. Слід зазначити, що у багатьох випадках в евристичних алгоритмах показник якості задано в неявному вигляді і вони можуть стати оптимізаційними, якщо вдасться його формалізувати і сформулювати в явному вигляді.

У загальному випадку в будь-якому оптимізаційному алгоритмі класифікації можна виділити наступні елементи [31]:

- показник якості класифікації;
- обмеження;
- механізм пошуку результуючого розбиття.

Обмеження в методах класифікації в основному стосуються типу вихідних даних – множини допустимих розбиття, на якому шукається результуюче розбиття, та виду самого результуючого розбиття. Пошук результуючого розбиття здійснюється у відповідності з деяким механізмом оптимізації. Це може бути механізм повного або часткового перебору, випадкового перебору і т. д. Якщо механізм не забезпечує точного досягнення екстремуму показника якості, він є наближеним, а помилка оцінюється



величиною відхилення досягнутого значення показника якості від оптимуму. Якщо величина помилки незначна, алгоритм є субоптимальним (близьким до оптимального).

Конкретизація перерахованих елементів призводить до того або іншого методу класифікації. Оптимізаційні методи класифікації можуть бути засновані на кластерному аналізі.

Кластерний аналіз – це сукупність методів, що дозволяють класифікувати багатовимірні спостереження, кожне з яких описується набором вихідних змінних  $x_1, x_2, \dots, x_m$ . На відміну від комбінаційних угруповань кластерний аналіз призводить до розбиття на групи з урахуванням всіх групувальних ознак одночасно [32, 33].

Наприклад, якщо кожний досліджуваний об'єкт характеризується двома ознаками  $p_1$  і  $p_2$ , то при виконанні комбінаційного угруповання вся сукупність об'єктів буде розбита на групи за  $p_1$ , а потім усередині кожної виділеної групи будуть утворені підгрупи за  $p_2$ . Такий підхід отримав назву монотетичного. Визначити приналежність кожного об'єкта до тієї чи іншої групи можна, послідовно порівнюючи його значення  $p_1$  і  $p_2$  з межами виділених груп. Утворення групи в цьому випадку завжди пов'язане із зазначенням її меж за кожною групувальною ознакою окремо.

В методах класифікації, заснованих на кластерному аналізі, використовується інший принцип утворення груп, так званий політетичний підхід. Всі групувальні ознаки одночасно беруть участь в угрупованні, тобто вони враховуються всі відразу при віднесенні спостереження в ту чи іншу групу. При цьому, як правило, не вказані чіткі межі кожної групи, а також заздалегідь невідомо, скільки ж груп доцільно виділити в досліджуваній сукупності.

Методи кластерного аналізу дозволяють вирішувати наступні завдання: проведення класифікації об'єктів з урахуванням ознак, які відображають сутність, природу об'єктів. Рішення такої задачі, як правило, призводить до поглиблення знань про сукупність об'єктів, що ідентифікуються;

перевірка висунутих припущень про наявність певної структури досліджуваної сукупності об'єктів, тобто пошук існуючої структури;

побудова нових класифікацій для маловивчених явищ, коли необхідно встановити наявність зв'язків усередині сукупності і спробувати привнести в неї структуру;

стиснення даних – якщо вихідна вибірка надмірно велика, то можна скоротити її, залишивши по одному, найбільш типовому представнику від кожного кластера.

Агломеративні методи послідовно об'єднують окремі об'єкти в групи (кластери), а дивизимні методи розчленовують групи на окремі об'єкти. У свою чергу кожен метод класифікації як об'єднуючого, так і розділяючого типу може бути реалізований за допомогою різних алгоритмів. Слід зауважити, що як агломеративні, так і дивизимні алгоритми трудомісткі і їх складно використовувати для великих сукупностей. Крім того, результати роботи таких алгоритмів (їх графічне зображення) важко піддаються візуальному аналізу.

У кластерному аналізі існують також методи класифікації, які важко віднести до першої або до другої групи – ітеративні методи – кластери формуються виходячи з умов розбиття, які можуть бути змінені користувачем для досягнення бажаної якості. До ітеративних методів належать, наприклад, метод k-середніх, метод пошуку згущень і інші. Ітеративні методи відносяться до швидкодіючих, що дозволяє використовувати їх для обробки великих масивів вихідної інформації.

На відміну від агломеративних і дивизимних методів класифікації ітераційні алгоритми можуть призвести до утворення пересічних кластерів, коли один об'єкт може одночасно належати декільком кластерам.

Якщо алгоритм кластеризації заснований на вимірюванні подібності між змінними, то в якості мір подібності можуть бути використані:

лінійні коефіцієнти кореляції;

коефіцієнти рангової кореляції;

коефіцієнти контингенції і т. д.

Найбільш коректним методом для вирішення задачі класифікації поїзних ситуацій представляється метод кластерного аналізу. Кластерний аналіз, в першу чергу складається з роботи над даними. Потрібно вибрати характеристики, що цікавлять нас, нормалізувати їх і вибрати відповідну міру відстаней. І лише після цього можна переходити до алгоритмів кластерного аналізу [34].

### 1.3.2 Алгоритми кластерного аналізу

Відомо багато алгоритмів кластерного аналізу. Приблизна класифікація представлена на рисунку нижче.

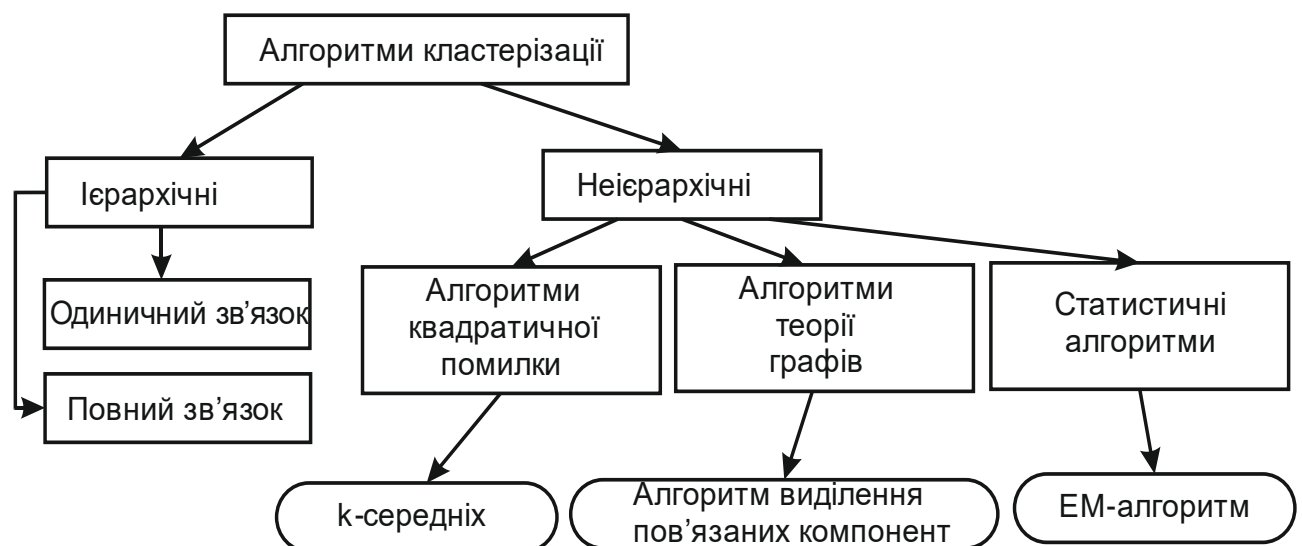


Рисунок 1.10 – Класифікація алгоритмів кластерного аналізу.

Всі алгоритми кластерного аналізу діляться на дві групи: ієрархічні та неієрархічні [35]. Перші будують не просто розподіл на класи, а ієрархію розбиття. Результатом їх роботи, як правило, є дендрограма, на основі якої, користувач може сам вибрати бажане розбиття. Неієрархічні алгоритми, навпаки, в результаті роботи видають деяке конкретне розбиття і мають ряд параметрів, що дозволяють налаштовувати алгоритм для наявних даних. Природно, другі працюють швидше, ніж перші.

Всі методи кластеризації працюють з даними у вигляді векторів у багатовимірному просторі. Кожен вектор визначається значеннями кількох напрямків, а напрямки є відомі характеристики (відстань до світлофора, профіль колії, поточна швидкість, маса поїзда та ін.). Характеристики можуть бути як кількісні, так і якісні і завдання спеціаліста з data mining полягає в тому, щоб правильно відібрати і нормалізувати ці характеристики, а потім вибрати відповідну міру відстаней. І тільки після цього застосовуються алгоритми кластеризації.

До числа найбільш популярних, неієрархічних алгоритмів відноситься алгоритм k-середніх [36, 37]. Він особливо популярний в силу простоти реалізації і швидкості роботи. Головним його недоліком є збіжність до локального мінімуму і залежність результату від початкового розподілу. Крім того, потрібно заздалегідь знати передбачуване число кластерів  $k$ .

Отже, сам алгоритм:

- 1) Вибрати  $k$  випадкових центрів у просторі, що містить вихідні дані
- 2) Приписати кожен об'єкт з множини вихідних даних кластеру виходячи з того, який до нього ближче центр
- 3) Перерахувати центри кластерів використовуючи отриманий розподіл об'єктів
- 4) Якщо алгоритм не зійшовся, то перейти до п. 2. Типові критерії сходження алгоритму це або середньоквадратична помилка, або відсутність переміщень об'єктів з кластера в кластер.

Існує безліч варіацій цього алгоритму, деякі з них намагаються вибрати найкращий початковий розподіл, інші дозволяють кластерам розбиватися на частини і об'єднуватися. Прикладом такої модифікації є алгоритм ISODATA, реалізований в Маткаді і багатьох інших математичних бібліотеках [38, 39].

#### 1.4 Аналіз робочого місця машиніста локомотива

Ефективність всієї діяльності оператора з управління системою багато в чому залежить від тієї ланки, яка здійснює прийом інформації від індикаційних пристроїв системи [40].

Загальне число візуальних індикаційних пристроїв, якими користується машиніст, досить велика. Для тепловозу серії 2ТЕ116 кількість індикаційних пристроїв в полі зору становить 16 одиниць зі шкалами. Для сучасних локомотивів, таких як 2ТЕП70, або електровоз 2ЕЛ4, ця кількість знижена до 5-7 засобів індикації. Але тут з'являються такі елементи, як LCD-монітори, які видають достатньо широкий спектр інформації щодо стану локомотива та поїзної ситуації. Тому поки що неможливо говорити про значне зниження інформаційного навантаження на локомотивну бригаду.

Точне сприйняття показань необхідно для управління (особливо в тих випадках, коли потрібні дуже швидкі дії), тому машиніст повинен мати можливість максимально швидко і точно сприйняти необхідну інформацію, що йде від приладів [41]. Стосовно до діяльності машиніста така вимога виступає досить категорично.

Одним з основних, що використовуються інженерної психологією, шляхів досягнення швидкого і точного прийому візуальної "приладової" інформації, є конструювання лицьових частин приладів з урахуванням тих психофізіологічних особливостей людини, які відіграють вирішальну роль у цих процесах.

Як і в багатьох інших технічних системах, на пультах сучасних магістральних локомотивів є два види індикаторів: шкальні індикатори, що використовуються для подання інформації про кількісні параметри регульованого процесу та напрями його змін та контрольні - для сигналізації про якісні зміни в регульованій системі.

На локомотивах вітчизняних марок шкальні індикатори зазвичай мають круглу або напівкруглу нерухому і рухому шкалу стрілку, на зарубіжних

зразках, зокрема, на електровозах широко застосовуються індикатори з нерухомою вертикальною шкалою і з рухомою горизонтальною стрілкою (для приладів режиму електроструму). Для оцінки порівняльної ефективності шкал різної форми необхідно врахувати результати низки інженерно-психологічних робіт.

Як показали дослідження [42 – 44], прилади з нерухомою круглою шкалою більш ефективні, ніж з вертикальною нерухомою шкалою, так як перші належать до категорії двовимірних, другі - до категорії одновимірних стимулів. Крім того, маршрут очей при зчитуванні показань з круглої шкали більш економічний.

З іншого боку, відомо, що в умовах гострого дефіциту часу (який при тенденції до підвищення швидкостей неухильно зростає) перевага у швидкості читання переходить до приладів з рухомою шкалою і нерухомою стрілкою за рахунок зменшення часу зорового пошуку. Тому є підстава припускати, що для електровимірювальних приладів, які є індикаторами постійного користування, було б доцільніше застосувати горизонтальні, розташовані одна під одною рухливі шкали з нерухомою вертикальною стрілкою. Це дозволить забезпечити достатню точність зчитування показань в умовах дефіциту часу і скоротити зону сприйняття при компонуванні приладів.

Дослідження не підтверджують думки про те, що при збільшенні розміру приладу точність зчитування зростає. В роботі [45] вказується, що при збільшенні діаметра точність читання спочатку зростає, а потім падає. На сучасних електровозах це враховано, але досі експлуатуються електровози типу ВЛ11, ВЛ60, ВЛ80 та інші, в яких встановлено прилади збільшеного діаметра. Це призводить до невиправданого збільшення поля сприйняття і, як наслідок, до підвищення напруженості при роботі в умовах дефіциту часу.

Оформлення шкал приладів, що випускаються промисловістю і встановлюваних на локомотивах, не завжди відповідає специфіці діяльності машиніста. До таких недоліків слід віднести відсутність уніфікованої системи колірного оформлення, ціни поділок, характеру оцифрування і т. п.

Необхідно згадати про застосування допоміжних заходів для кращої ідентифікації показань приладів. Це в першу чергу колірне кодування різних зон на шкалі, що відповідають різним режимам роботи. Воно майже не використовується на сучасних локомотивах, хоча дуже просто реалізації. Лише на небагатьох приладах дано позначення граничного значення деяких параметрів (граничне значення тиску в гальмівній магістралі, 100 км/год на швидкостемірі, діапазон сили струму на амперметре і ін.). Ці граничні значення вказані ризикою червоного кольору; між тим більш ефективним засобом слід вважати суцільне кругове забарвлення в сигнальні кольори різних секторів шкали.

Аналізуючи питання, пов'язані з оптимізацією читання показань приладів, слід зупинитися на можливості використання вже сформованих у житті кожної людини навичок читання найбільш поширених типів шкал, таких, наприклад, як годинна шкала. Застосування на локомотивах часової шкали з 24 поділками, поєднаної зі шкалою швидкостеміру, очевидно, не виправдано. Тут створюється можливість негативного впливу навичок читання звичайної часової шкали. Це небажано, враховуючи важливість і частоту використання показань поточного часу в роботі машиніста. Застосування шкали з 24 поділками вносить також відомі труднощі у процес навчання.

Крім індикаторів кількісного читання, в кабіні машиніста локомотива розташовується від 4 до 16 контрольних індикаторів. З їх допомогою машиніст отримує інформацію про режим роботи контрольованої системи і про виникнення в ній аварійного стану.

Найбільш істотним в читанні контрольних індикаторів є правильне пізнання значення сигналу. Це звичайно досягається збільшенням числа відмінних ознак, притаманних даного сигналу. Найбільш ефективним з цих ознак, безперечно, слід вважати колір, що не завжди враховується проектувальниками. Широке використання написів для позначення індикаторів не сприяє їх розпізнання, оскільки зазвичай вони виконуються

недостатньо чітко. Відсутність уніфікованої схеми розташування індикаторів контрольного читання ще більш ускладнює зчитування їх показань. В цьому напрямку залізниці зробили крок, встановивши вимоги уніфікації кабін для різних типів локомотивів.

У Швеції проведено ергономічний аналіз кабін локомотивів. З цією метою організовано опитування 150 машиністів та здійснено їх антропометричні вимірювання, вивчалися також їх скарги, пов'язані з больовими відчуттями. Порівнювалися антропометричні дані машиністів, які скаржилися на больові відчуття, і машиністів, їх не відчували. Виявилось невідповідність розмірів кабін (розраховані на операторів високого зросту) антропометричними даними більшості машиністів. Проектні пропозиції з оптимізації умов праці машиністів стосувалися: зміни розмірів обладнання робочого місця, забезпечення можливості регулювання висоти пульта і крісла, забезпечення оптимального простору для ніг та ін. Аналогічна робота виконувалася ергономістами інших країн [46, 47]

Для сучасних локомотивів постійно розробляються та впроваджуються нові заходи зниження психофізіологічного навантаження. В роботі [48] результатом є підвищення комфортних умов роботи машиніста, підвищення в положенні сидячи, умов для вибору раціональної пози, що розширює можливості пересування, збільшує зони досяжності, а так само підвищує силові можливості, зниження стомлюваності, підвищення працездатності, підвищення продуктивності праці та безпеки руху.

Спеціалістами Дніпропетровського науково-виробничого комплексу «Електровозобудування» запропоновано новий пульт машиніста, в якому враховані питання ергономіки [49]. Також закордонними спеціалістами розроблено багато підходів до компонування та оснащення робочого місця локомотивних бригад [50 – 53]. Але впровадження наведених розробок іде не достатньо інтенсивно.

Таким чином можна зробити висновок, що розташування приборів контролю та керування на більшості локомотивів, що експлуатується



Укрзалізницею, не оптимальне з точки зору сучасного уявлення про психофізіологічне навантаження машиніста локомотива.

### 1.5 Шляхи підвищення якості підготовки локомотивних бригад

Аналізуючи стан безпеки руху на залізницях України, можна зробити висновок, що основними причинами аварій та браків в роботі є не тільки недостатня надійність техніки. Також велику роль відіграє так званий «людський фактор». Тобто в центрі системи безпеки знаходиться людина. Дуже важлива якість професійної підготовки, на підвищення якої і спрямовано створення тренажерних комплексів. Але вміння реагувати і взаємодіяти з технічним засобом не є показником підготовки до керування локомотивом. Також важливе вміння роботи в організованій системі «технічний пристрій – ЛЮДИНА – ЛЮДИНА - технічний пристрій». «...ЛЮДИНА...» тут є ключовою ланкою.

В теперішній час вдосконалення професійної підготовки локомотивних бригад вміщує два напрямки: відпрацювання професійних навичок в нормальних умовах експлуатації і в небезпечних ситуаціях і режимах роботи. Перш за все підготовка повинна бути спрямована на покращення навиків керування локомотивом і вміння прогнозувати та завчасно виявляти нештатні ситуації. Для цього найбільш доцільно використовувати тренажерні комплекси, що дозволяють моделювати аварійні ситуації без загрози безпеки руху в реальних умовах [54 – 57].

Основними перевагами використання тренажерів є [58 – 60]: тренажер дозволяє імітувати ситуацію в реальному масштабі часу; моделювання на тренажерах дозволяє створювати широкий спектр ситуацій аж до небезпечних, створення яких в реальних умовах неможливе; тренажер сприяє появі у машиніста навичок та відпрацювання алгоритму дій в різних ситуаціях до автоматизму.

Основними об'єктами навчання є:

правила технічної експлуатації та інші керівні документи;  
структура, принцип роботи, технічної експлуатації, обслуговування і ремонту рухомого складу;  
системи сигналізації, зв'язку і керування рухом поїздів;  
інфраструктура лінії.

Професійні знання і навички по походженню мають спеціальний характер. Професійне навчання можна розглядати як навчання в професійному середовищі. Саме так передаються навички системі «машиніст – помічник машиніста». В останній час з'явилась нова професійна область, доступ до якої відкритий усім бажаючим – область інформаційних технологій [61]. Що стосується техніки, в тому числі і залізничної, то вона все більше автоматизується і комп'ютеризується. Створенню пристрою звичайно передують його моделювання. Програми автоматичного проектування, програмного керування можуть стати основою комп'ютерного середовища професійного навчання.

Підготовка машиніста локомотива та помічника машиніста є достатньо тривалим в часі і складним процесом. Його можна розділити на два великих етапи: здобуття базових загально технічних знань та здобуття практичних професійних навичок. Перший етап в більшості випадків здійснюється в навчальних закладах: училищах, ліцелях, технікумах, коледжах, інститутах. Тут перед особою, що навчається, стоять цілі максимального отримання теоретичних знань у відповідності до рівня навчальної установи з таких напрямів, як електротехніка, теорія роботи двигунів внутрішнього згоряння, теорія локомотивної тяги, основи технології ремонту, основи економіки і багато інших.

Другий етап частково починається ще до закінчення особою навчального закладу і представляється у вигляді різних виробничих, експлуатаційних, технологічних практик. Але в повному обсязі професійні навички і прийоми отримуються після того, як людина поступила на роботу під час стажування.

Процес використання ЕОМ в навчанні почався з дисциплін загальної освіти. Тільки з 80-х років XX століття комп'ютерне навчання поступово почало впроваджуватися в професійну освіту. Потрібно сказати, що впровадження комп'ютерів в процес підготовки спеціалістів залізничного транспорту відбулося одним з перших в сфері профпідготовки.

Перші системи навчання з використанням комп'ютера (АНС - автоматизовані навчальні системи), що з'явилися в 60-х роках, пов'язані з ідеєю програмованого навчання, яка в ті роки розглядалася як основна модель процесу навчання [62].

До теперішнього часу накопичений великий банк комп'ютерних навчальних програм для підготовки локомотивних бригад. Але більшість з них є закордонними розробками.

Одна з компаній-перевізників Великобританії Virgin Trains проводить навчання персоналу на тренажерах, що здатні імітувати рух локомотива зі швидкістю більше 220 км/год [63]. Таким чином реалізується підготовка машиністів для потягів Voyager та Pendolino. Для підвищення рівня безпеки розроблена річна програма навчання, впродовж якої машиністи освоюють ведення таких поїздів в різних погодних умовах.

Одне з лідируючих місць серед вітчизняних виробників програмного забезпечення для навчання локомотивних бригад займає Український державний університет науки і технологій. Тут розроблений учбово-тестуючий комп'ютерний комплекс, впроваджений на Одеській, Придніпровській і Донецькій залізницях [64].

Окремим напрямком підготовки локомотивних бригад є використання тренажерних комплексів. На залізницях США тренажери, що імітують процес ведення поїзда, застосовуються вже більше 30 років як для навчання, так і для контролю знань і навичок машиністів при їхній атестації. У Європі тренажери вперше з'явилися на залізницях Франції в 80-х роках після ряду серйозних аварій. Однак тут вони застосовуються переважно як технічний засіб навчання.

Тренажери машиніста повинні виконувати такі основні функції:

- надання машиністу, що проходить навчання або тренування інформації, аналогічної тій, яка характерна для імітованого реального локомотива або МВРС і полягає у збереженні, обробці і відображенні інформації про функціональні характеристики локомотива або МВРС, вплив відповідних зовнішніх умов і управляючих дій машиніста.

- навчання і тренування машиністів за рахунок оснащення спеціальними засобами і програмами, які розширюють і поліпшують їх професійні можливості при роботі на реальному локомотиві або МВРС.

До тренажерів висуваються такі основні вимоги [65]:

вони повинні бути оснащені відповідним контрольно-керуючим устаткуванням і апаратурою, вартість яких, однак, досить велика;

вони повинні мати модульну конструкцію, щоб при переході даної залізниці від одних технологій до інших можна було з відносно невисокими витратами замінити ті або інші елементи тренажера, підтримуючи його відповідність рівню дороги;

інтерфейси між основними модулями тренажера повинні забезпечувати просту, швидко й недорого зміну його компонування;

безумовно, сучасні тренажери повинні бути комп'ютеризовані.

Ускладнення взаємодії між модулями тренажерних комплексів викликає необхідність загальної системи керування, що здатна адекватно реагувати на дії особи, що навчається. В теперішній час не достатньо уваги приділяється інтелектуалізації процесів прийняття рішень системою керування комплексом. Це дозволить значно покращити якість процесу підготовки локомотивних бригад. Водночас з розробкою все більш сучасних програмних комплексів, допускаються спроби побудови систем, характер функціонування яких все більше наближений до інтелектуальної діяльності людини. Найбільш перспективним напрямом є розробка комплексних систем, що спираються на розгалужене інформаційне оточення і використовують інтелектуальні алгоритми. Завдяки цьому можливе повне усунення інструктора від процесу

навчання. Інтелектуальна система сама в змозі виконувати такі функції, як завдання режиму поточних процесів, введення змінних складових ситуацій, контроль процесу навчання та оцінки реакцій машиніста.

Таким чином, можна зробити висновки, що процес інтелектуалізації тренажерних комплексів є невідворотнім, тому що це значно підвищить якість підготовки локомотивних бригад, а це неодмінно позначиться на стані безпеки руху в локомотивному господарстві.

### Висновки по розділу 1.

1. В результаті дослідження впливу людського фактору на якість керування поїздом встановлено наступне. Основними причинами транспортних подій у локомотивному господарстві є: 23,5% транспортних подій скоїлося з технічних причин, на людський фактор припадає 72,5%. Неякісний деповський ремонт став причиною більше ніж у 52% випадків, неякісний заводський ремонт майже у 8% подій, невірні дії локомотивних бригад були причиною транспортних подій більш ніж у 25%. Несправності основного обладнання тягового рухомого складу у більше ніж 84% спричинені технічними причинами й майже у 16% - людським фактором. Таким чином можна стверджувати, що зменшення впливу людського фактору на безпеку руху є значним резервом її підвищення.

3. Загальний вигляд кабіни сучасного локомотива в теперішній час наближається до деякої уніфікації. Пульти всіх локомотивів представляють собою загальний об'єм, з площиною, маючою невеликий нахил, де розташовано основні елементи керування, кнопки, рукоятки, тумблери. Велика кількість операцій автоматизована, але навіть найсучасніші технічні системи і пристрої не в змозі в теперішній час виключити участь локомотивної бригади в забезпеченні безаварійної роботи. Від рівня дисципліни, відповідальності та вимогливості до себе машиніста та його помічника завжди

залежить безпека пасажирів та вантажу, безперебійна робота залізничного транспорту.

4. Ефективність всієї діяльності оператора з управління системою багато в чому залежить від тієї ланки, яка здійснює прийом інформації від індикаційних пристроїв системи. Загальне число візуальних індикаційних пристроїв, якими користується машиніст, досить велика. Для тепловозу серії 2ТЕ116 кількість індикаційних пристроїв в полі зору становить 16 одиниць зі шкалами. Для сучасних локомотивів, таких як 2ТЕП70, або електровоз 2ЕЛ4, ця кількість знижена до 5-7 засобів індикації. Але тут з'являються такі елементи, як LCD-монітори, які видають достатньо широкий спектр інформації щодо стану локомотива та поїзної ситуації. Тому поки що неможливо говорити про значне зниження інформаційного навантаження на локомотивну бригаду.

5. Дослідження не підтверджують думки про те, що при збільшенні розміру приладу точність зчитування зростає. На сучасних електровозах це враховано, але досі експлуатуються електровози типу ВЛ11, ВЛ60, ВЛ80 та інші, в яких встановлено прилади збільшеного діаметра. Це призводить до невиправданого збільшення поля сприйняття і, як наслідок, до підвищення напруженості при роботі в умовах дефіциту часу. Оформлення шкал приладів, що випускаються промисловістю і встановлюваних на локомотивах, не завжди відповідає специфіці діяльності машиніста. До таких недоліків слід віднести відсутність уніфікованої системи колірного оформлення, ціни поділки, характеру оцифрування і т. п. Таким чином можна зробити висновок, що розташування приборів контролю та керування на більшості локомотивів, що експлуатується Укрзалізницею, не оптимальне з точки зору сучасного уявлення про психофізіологічне навантаження машиніста локомотива.

6. В теперішній час не достатньо уваги приділяється інтелектуалізації процесів прийняття рішень системою керування локомотивами. Це дозволить значно покращити якість процесу ведення поїздів локомотивними бригадами. Водночас з розробкою все більш сучасних програмних комплексів,

допускаються спроби побудови систем, характер функціонування яких все більше наближений до інтелектуальної діяльності людини.

## 2. РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ОЦІНКИ КЕРУЮЧИХ ДІЙ ПРИ ВЕДЕННІ ПОЇЗДА

### 2.1 Визначення факторів, що впливають на виникнення помилок машиністів локомотивів.

Як показує аналіз, машиніст локомотива виявляється регулятором двох самостійних систем, кожна з яких має свої канали зворотного зв'язку і свої специфічні керовані об'єкти.

В одній системі керованим об'єктом служить локомотив. За допомогою зору машиніст сприймає повідомляючу інформацію про стан шляху, сигналів, простору поряд з колією і т. д. Обсяг інформації такого роду досить великий. Підрахунок подразників, що діють на машиніста за період одного рейсу, показав, що загальна сума їх становить 18-20 тис., з яких лише 10% виявляються виробничо важливими (світлофори, переїзди, обмежувачі швидкості, покажчики профілю колії і т. д.) [66, 67]. Інші, не будучи виробничо важливими, в будь-який момент можуть стати ними.

Необхідна для діяльності машиніста безперервна зорова оцінка різних ділянок шляху часто здійснюється у вкрай несприятливих умовах, вночі, в туманну або дощову погоду і т. д. Така оцінка залежить насамперед від того, наскільки правильно вміє машиніст порівнювати різні просторові величини в нормальних умовах. Сформована в ході виробничого навчання інформаційно-моторна система дозволяє машиністові сприймати величину відрізка шляху в кожен даний момент поїздки. Особливу значимість така безперервна оцінка набуває у випадках необхідності екстреного гальмування.

Відомо, що одним з основних понять, пов'язаних з безпекою руху поїздів, є гальмівний шлях. При розрахунку гальмівного шляху в тих чи інших конкретних умовах приймаються до уваги лише такі об'єктивні критерії, які пов'язані зі станом гальмівних механізмів і довжиною ділянки шляху в його відношенні до ваги і швидкості поїзда [68, 69]. Психологічний аналіз



поведінки машиніста у випадках запобігання аварій показує, що суттєвим компонентом, що визначає довжину гальмівного шляху, є стан машиніста, рівень готовності його інформаційно-моторних систем [70 – 72]. Тому час, що визначає гальмівний шлях, складається з часу технічної готовності гальмівного механізму, латентного часу робочої реакції машиніста і часу гальмування, тобто мінімального відрізка часу, протягом якого поїзд зупиняється.

Іншим об'єктом управління в діяльності машиніста є енергосистема локомотива. Повідомляюча інформація про роботу її блоків сприймається машиністом за допомогою зору (показання приладів) і слуху (шум працюючої машини). Крім того, про роботу агрегатів машиніст судить по вібрації корпусу локомотива, яку він сприймає за допомогою спеціальних органів почуттів - віброрецепторів. Регулюючі впливи в цьому контурі управління передаються прямо - через відповідні важелі - й опосередковано - через помічника машиніста.

Ця друга функція дозволяє розглядати машиніста як оператора полуавтоматизованої системи. Так, професійно важливою інформаційною моделлю для машиніста електровоза стає модель електросхеми локомотива, в особливості - схеми високовольтної камери. Модель положення основних реле і контактів цієї схеми (як, втім, і інших агрегатів) стає основою для контролю за роботою машин.

Тут відбувається уявне відтворення об'єкта, робота з моделями тих предметів, яких в даний момент немає перед очима. І ці інформаційні моделі виявляються необхідними при виникненні різного роду проблем і несправностей. Оскільки без усунення таких несправностей не могло б здійснюватися саме водіння, то така діагностична операторська діяльність при управлінні складними об'єктами стає компонентом процесу водіння.

Розглянемо природу помилок людини, які вона може здійснити під час трудової діяльності. В роботах [73, 74] сформульовано, що надійність роботи людини визначається як імовірність успішного виконання нею роботи або

поставленої задачі на заданому етапі функціонування системи протягом заданого інтервалу часу при певних вимогах до тривалості виконання роботи. Помилка людини визначається як невиконання поставленої задачі (або виконання забороненої дії), яке може призвести до пошкодження обладнання або порушення нормального протікання запланованих операцій.

Основні транспортні події, що трапляються з вини машиніста локомотива можна охарактеризувати такими ознаками:

- машиніст прагне досягти помилкової мети. Практично такі події відбуваються найчастіше тоді, коли машиніст неправильно сприймає команди диспетчера, сигнали світлофора, тощо і прагне виконати дії, що призводять до небезпечних наслідків;

- мета не може бути досягнута з причини помилкових дій машиніста. Як правило ці дії обумовлені недостатньою кваліфікацією, втомою, відволіканням від управління локомотивом;

- машиніст залишається бездіяльним у ситуаціях, що загрожують безпеці руху. Тривале відволікання від керування та сон є такими факторами під час ведення поїзда.

Виходячи з вищенаведеного цілком можливо застосувати таку класифікацію помилок з вини людини:

1. Помилки управління - виникають у тих випадках, коли людина неправильно виконує встановлені процедури.

2. Помилки технічного обслуговування – виникають у процесі експлуатації і, як правило, з-за неякісного ремонту обладнання або недбалості при проведенні передрейсового контролю.

3. Помилки проектування – обумовлені незадовільним проектуванням, наприклад розташування засобів управління та індикації у кабіні локомотива відпрацьовується конструкторами протягом значного часу, однак у процесі подальших модернізацій можуть вноситися зміни, які впливають на рівень зручності управління, і тим самим збільшують імовірність помилкових дій.

4. Помилки контролю – пов’язані з помилковим прийманням несправного вузла чи пристрою за справні і навпаки.

5. Привнесені помилки – помилки для яких неможливо визначити – виникли вони з вини людини чи пов’язані з обладнанням.

Серед основних причин помилок людини-оператора можливо виділити такі [75, 76]:

незадовільна підготовка або низький рівень кваліфікації;

недотримання передбачених процедур експлуатаційної роботи;

незадовільні умови праці, пов’язані з такими негативними явищами як надмірний шум, вібрація, температурні коливання у кабіні машиніста (особливо на тепловозах);

відсутність привабливих стимулюючих факторів для досягнення оптимального рівня якості роботи.

Залежність між якістю роботи людини-оператора і діючими навантаженнями відображена на рис 2.1.

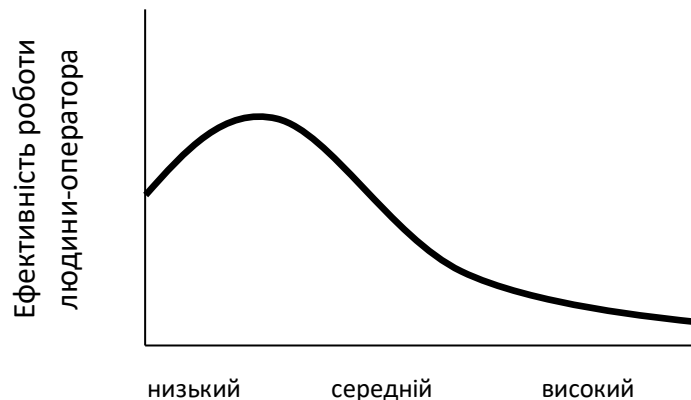


Рисунок 2.1 – Залежність ефективної роботи людини – оператора від рівня навантаження

При дуже низькому рівні навантаження більшість операторів діють неефективно через те, що робота не викликає зацікавлення. При середньому рівні навантаження якість роботи оператора підвищується, однак

подальше збільшення навантаження призводить до погіршення ефективності роботи, що пояснюється збільшенням стресових ситуацій: страх, втома і т.п.

## 2.2 Вибір критерію оптимальності керуючої діяльності машиніста.

На різних етапах управління поїздом постає завдання вибору найкращого варіанту з множини допустимих керуючих рішень, що задовольняють висунутим вимогам.

Процес прийняття рішення при оптимальному управлінні характеризують такі основні риси [77, 78]: наявність мети (критеріїв оптимальності) і альтернативних варіантів проектного об'єкта, і врахування суттєвих факторів при проектуванні.

Поняття «оптимальне рішення» при управлінні має цілком певне тлумачення — краще в тому чи іншому сенсі керуюче рішення, яке допускається обставинами. У переважній більшості випадків одна і та ж технічна задача може бути вирішена декількома способами, що призводять не тільки до різних вихідних характеристик, схем і конструкцій, але навіть і до фізичним принципам, покладеним в основу побудови об'єкта. При цьому одне з рішень може перевершувати іншого за одним властивостями і поступатися йому з іншим. В цих умовах годину-то надзвичайно важко сказати, не тільки яка з систем оптимальна, але навіть яка з них краще.

Якщо виділяють один параметр, який характеризує властивості, то цей параметр приймається за цільову функцію [79]. При цьому інші параметри підпадають під категорію обмежень. При вирішенні однокритеріальних задач застосовується математичний апарат дослідження операцій. При створенні обчислювальної мережі в більшості випадків однокритеріальні завдання не задовольняють отриманим рішенням. Складні обчислювальні мережі характеризуються багатьма параметрами (ємність пам'яті, час рахунку, пропускна здатність каналів тощо), що визначають її якість. Серед цих параметрів є такі, значення яких бажано всіляко збільшувати, але є й такі, які

бажано мінімізувати.

Таким чином, обмеження і зв'язки між окремими параметрами обчислювальної системи призводять до необхідності йти на компроміс вибирати для кожної характеристики не максимально можливе в принципі значення, а менше, але таке, при якому і інші важливі характеристики теж будуть мати прийнятні значення. Тому необхідно брати до уваги всю сукупність характеристик. Завдання проектування, що проводяться за кількома критеріями оптимізації, носять назву багатокритеріальних, або задач векторної оптимізації.

Відомі методи векторної оптимізації [80 – 82] прямо або побічно зводять розв'язувані задачі до задач скалярної оптимізації, тобто часткові критерії тим чи іншим способом об'єднуються в складний критерій, який потім максимізується (або мінімізується). Якщо складний критерій відображає фізичну суть розрахунку і розкриває об'єктивний зв'язок між частковими критеріями і складним критерієм, то оптимальне рішення є об'єктивним [83].

На практиці із-за складності зазвичай складний критерій об'єднує часткові, що веде до суб'єктивності рішення; такий критерій є узагальненим, або інтегральним. В залежності від того, яким чином часткові критерії об'єднуються в узагальнений критерій, розрізняють критерії адитивні, мультиплікативні та мінімаксні (максимін).

Якщо оптимізація ведеться без урахування статистичного розкиду характеристик, то відповідний критерій оптимальності називають детермінованим критерієм; якщо розкид параметрів враховується, то маємо статистичний критерій. Статистичний критерій оптимальності найбільш повно відображає якість розрахунку, але його використання вимагає великих витрат машинного часу.

Часткові критерії.

При проектуванні за частковими критеріям якості цільової функції  $F(X)$  приймається найбільш важливий вихідний параметр проектованої обчислювальної системи, всі інші параметри у вигляді відповідних умов

працездатності відносяться до обмежень. В цьому випадку задача оптимального керування є однокритеріальною задачею математичного програмування: максимізувати (або мінімізувати) значення цільової функції  $P(X)$  max(min) при наявності обмежень на параметри обчислення.

З постановки задачі випливає, що параметри, для яких виконуються обмеження у вигляді строгих нерівностей, мають певний запас порівняно з заданими технічними вимогами. Низка параметрів, для яких умови працездатності мають вигляд нерівностей, запасів взагалі не має, і будь-які зміни технічних вимог для цих параметрів приводять до зміни характеристик і структури проектного об'єкта, так і до зміни значення цільової функції.

Адитивні критерії.

У цих критеріях цільова функція утворюється шляхом додавання нормованих значень часткових критеріїв. Часткові критерії мають різну фізичну природу і відповідно до цього — різну розмірність. Тому при утворенні узагальненого критерію слід оперувати не з «натуральними» критеріями, а з їх нормованими значеннями. Нормовані критерії являють собою відношення «натурального» приватного критерію до деякої нормуючої величини, вимірюваної в тих же одиницях, що і сам критерій. При цьому вибір нормуючого дільника повинен бути логічно обґрунтований. Можливі кілька підходів до вибору нормуючого дільника.

Перший підхід пропонує приймати в якості нормуючого дільника директивні значення параметрів, що задані замовником. Логічно слабким моментом такого підходу є негласне припущення того, що в завданні на проектувану обчислювальну систему визначено оптимальні значення параметрів об'єкта, і що сукупність заданих значень критеріїв розглядається як взірцева.

Другий підхід передбачає вибір в якості нормуючих дільників максимальних значень критеріїв, що досягаються в області існування проектних рішень (в області компромісу). Можливий підхід, при якому в якості нормуючих дільників вибирають різницю між максимальним і

мінімальними значеннями критерію в області компромісу.

Вибір підходу до формування безрозмірної форми часткових критеріїв іноді носить суб'єктивний характер і повинен обґрунтовуватися в кожному конкретному випадку [84]. Нехай при проектуванні роботи керуючої локомотивної системи існує  $n$  приватних критеріїв. Тоді цільова функція задачі оптимізації у разі застосування адитивного критерію визначається

$$F(X) = \sum_{i=1}^n c_i \frac{F_i(X)}{F_i^{(0)}(X)} = \sum_{i=1}^n c_i f_i(X), \quad (2.1)$$

де  $c_i$  — ваговий коефіцієнт  $i$ -го часткового критерію;

$F(X)$  —  $i$ -й нормуючий дільник;

$f_i(X)$  — нормоване значення  $i$ -го приватного критерію.

Така цільова функція дозволяє здійснити компроміс, при якому покращення значення одного нормованого приватного критерію компенсує погіршення значень інших.

Введення вагових коефіцієнтів має враховувати різну значимість часткових критеріїв при формуванні адитивного критерію. Визначення вагових коефіцієнтів стикається з серйозними труднощами і зазвичай зводиться або до використання формальних процедур, або до застосування експертних оцінок. З появою узагальненого критерію зникають логічні проблеми, пов'язані з встановленням взаємозв'язків між приватними критеріями різної розмірності і вибором найкращого варіанту обчислювальної системи, і залишаються лише обчислювальні труднощі. Але адитивний критерій має ряд недоліків, головний з яких полягає в тому, що він не впливає з об'єктивної ролі часткових критеріїв у функціонуванні обчислювальної системи і виступає тому як формальний математичний прийом, надає задачі зручний для рішення вигляд.

Інший недолік полягає в тому, що в адитивному критерії може відбуватися взаємна компенсація часткових критеріїв. Це означає, що значне зменшення

одного з критеріїв аж до нульового значення може бути покрито зростанням іншого критерію. Для усунення цього недоліку слід вводити обмеження на мінімальні значення частинних критеріїв та їх вагових коефіцієнтів.

Незважаючи на слабкі сторони, узагальнений адитивний критерій дозволяє в ряді випадків успішно вирішувати багатокритеріальні задачі і отримувати корисні результати.

Мультиплікативні критерії.

Адитивні критерії засновані на використанні принципу справедливої компенсації абсолютних значень нормованих часткових критеріїв. Але іноді доцільним є оперування не з абсолютними, а відносними змінами значень часткових критеріїв.

Принцип справедливої відносної компенсації формулюється наступним чином: справедливим слід вважати такий компроміс, коли сумарний рівень відносного зниження значень одного або декількох критеріїв не перевищує сумарного рівня відносного збільшення значень інших критеріїв. Умови оптимальності на основі принципу справедливої відносної компенсації мають вигляд

$$\sum_{i=1}^n \frac{\Delta F_i(X)}{F_i(X)} = 0, \quad (2.2)$$

де  $\Delta F_i(X)$  — приріст величини  $i$ -го критерію;

$F(X)$  — первісна величина  $i$ -го критерію.

З цього виразу випливає, що принцип справедливої відносної компенсації призводить до мультиплікативного узагальненого критерію оптимальності:

$$F(X) = \prod_{i=1}^n F_i(X) \quad (2.3)$$



Мультиплікативний критерій утворюється шляхом простого множення приватних критеріїв в тому випадку, якщо всі вони мають однакову важливість.

Перевагою мультиплікативного критерію є те, що при його використанні не потрібно нормування часткових критеріїв. Недоліки критерію: критерій компенсує недостатню величину одного приватного критерію надмірною величиною іншого і має тенденцію згладжувати рівні приватних критеріїв за рахунок нерівнозначних початкових значень часткових критеріїв.

Мінімаксні критерії.

В теорії векторної оптимізації [85] особливе місце займає принцип компромісу, заснований на ідеї рівномірності. На основі цього принципу складені мінімаксні (максимін) критерії.

Сутність принципу максимуму полягає в наступному. При створенні моделі керування і наявності великого числа часткових критеріїв досить важко, а часом і неможливо встановити аналітичну залежність між критеріями. Тому, ґрунтуючись на ідеї рівномірного компромісу, намагаються знайти такі значення змінних проектування  $X = (x_1 \dots x_m)$ , при яких нормовані значення всіх приватних критеріїв стають рівними між собою, тобто  $f_i(X) = K$ ,  $i = (1, n)$ . З урахуванням вагових коефіцієнтів важливості частинних критеріїв вираження трансформуються в співвідношення виду  $c_i f_i(X) = K$ ,  $(i=1, n)$ .

При великому числі часткових критеріїв із-за складних взаємозв'язків іноді важко досягти співвідношень зазначених вище. Тоді застосовують принцип максиміна, що полягає в такій варіації значень змінних проектування  $X$ , при якій послідовно підвищуються ті нормовані критерії, чисельні значення яких в початковому рішенні виявилися найменшими. Завищення одного критерію неминуче призводить до зниження значень решти критеріїв. Але при проведенні певних операцій можна домогтися певної міри зрівнювання суперечливих (конфліктних) часткових критеріїв, що і є метою принципу максиміна.

Принцип максиміна формулюється наступним чином: необхідно вибрати

таке  $X^0$ , на якому реалізується максимум з мінімальних значень приватних критеріїв, тобто

$$F(X^{(0)}) = \max_X \min_i \{f_i(X)\}, i = \overline{1, n}, X = (x_1, \dots, x_i). \quad (2.4)$$

Такий принцип вибору  $X^0$  іноді носить назву принципу «гарантованого результату». Він запозичений з теорії ігор, де, по суті, є основним принципом.

Якщо часткові критерії  $f_i(X)$  потрібно мінімізувати, то самим «відстаючим» критерієм є той, який приймає максимальне значення. У цьому випадку принцип рівномірної компенсації формулюється у вигляді мінімаксної задачі

$$F(X^{(0)}) = \max_X \min_i \{f_i(X)\}, i = \overline{1, n}, X = (x_1, \dots, x_m). \quad (2.5)$$

Геометрична інтерпретація принципу мінімаксу полягає в наступному. Нехай проектується деякий об'єкт за  $n$  приватними критеріями

$$v_i = f_i(X), i = \overline{1, n}. \quad (2.6)$$

Кожен варіант об'єкта представлений в просторі  $E_n$ , у вигляді точки  $A^1$  з координатами  $A^1 = (v_1^1, \dots, v_n^1)$ , а множина варіантів може бути відображено в кінцеве безліч точок  $A = (A^1, \dots, A^k)$ , укладену в опуклу оболонку  $s(A)$ . Тобто прийняття рішень при проектуванні обмежена опуклою оболонкою  $s(A)$  в просторі  $E_n$  (рис. 2.2).

Нехай всі часткові критерії мінімізуються. Тоді областю компромісу є ліва нижня межа опуклої оболонки  $S(A)$ , а рішення повинно знаходитися в області компромісу. У загальному випадку при нерівнозначних критерії  $v_i = f_i(X)$  рішення на основі принципу рівномірної компенсації буде відповідати точці  $A_0$ , що лежить в області компромісу, для якої будуть задовольнятися

співвідношення  $c_i v_i = K, c \geq 0, \sum_{i=1}^n c_i = 1, i = \overline{1, n}$ .

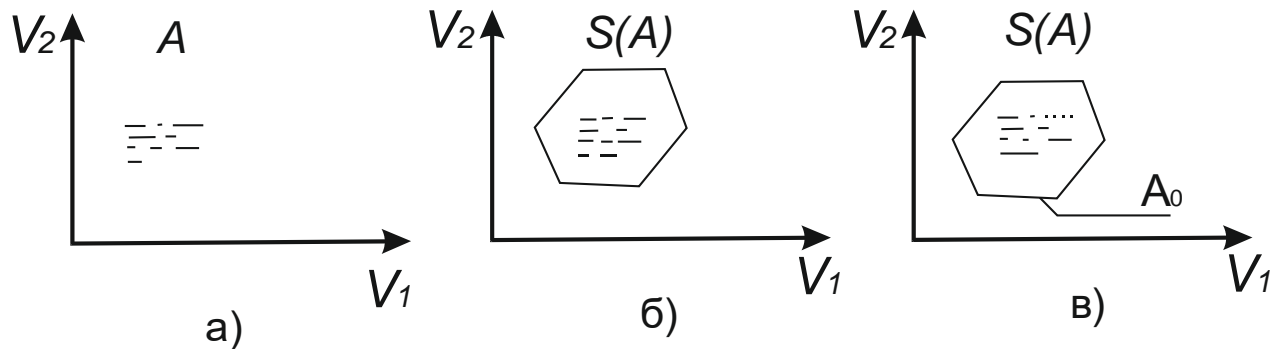


Рисунок 2.2 – Графічна інтерпретація принципу мінімакса: а-множина варіантів об'єкту; б-обмеження варіантів; в-область прийняття рішень.

Напрямок, обумовлений вектором  $C = (c_1, \dots, c_n)$ , задається в першому октанті в просторі  $E_n$ . Довільний вектор вагових коефіцієнтів  $C$  дозволяє віддавати перевагу один перед одним приватним критерієм  $v_i = f_i(X)$ , виражених у кількісній шкалі.

Висновки щодо вибору критеріїв оптимальності [86] полягають у наступному:

вибір критерію може проводитися неоднозначно. Джерелом складності служить суперечливість цілей (вартість і надійність функціонування, енергоємність і продуктивність, обсяг запам'ятовуючого пристрою і швидкість зчитування завжди будуть знаходитися в протиріччі один з одним).

якщо потрібно оптимізувати один з параметрів при дотриманні обмежувальних вимог на інші параметри, то формується частковий критерій  $F(X)$ .

при наявності декількох критеріїв оптимальності адитивний критерій вибирають тоді, коли істотне значення мають абсолютні величини критеріїв при вибраному векторі параметрів  $X$ .

якщо суттєву роль відіграють зміни абсолютних величин — часткових

критеріїв при варіації вектору змінних  $X$ , то застосовують мультиплікативний критерій оптимальності.

якщо стоїть завдання досягнення рівності нормованих значень конфліктних часткових критеріїв, то оптимальне проектування виконують за мінімаксом критерієм.

### 2.3 Якість роботи ергатичної системи «машиніст-локомотив».

Забезпечення високої якості роботи машиніста, а отже, і всієї системи “машиніст – локомотив” є пріоритетним завданням на залізничному транспорті. Його вирішення прямо впливає на основні показники роботи локомотивних депо та залізниці в цілому, а саме на витрати енергоресурсів на тягу поїздів, точність дотримання графіку руху та стан безпеки руху.

Якість роботи ергатичної системи “машиніст-локомотив” пов’язана з її надійністю, при визначенні якої необхідно враховувати наступне [87]:

1. Показники надійності повинні бути єдиними для всіх ланок системи “машиніст-локомотив”. Тому методики оцінки надійності такої системи повинні максимально використовувати показники, математичний апарат і методи розрахунку, розроблені в межах існуючої теорії надійності технічних пристроїв. При цьому показники надійності системи повинні по можливості містити в собі в явному вигляді показники надійності її окремих ланок - машиніста і локомотиву.

2. При визначенні надійності системи “машиніст-локомотив” із методичної точки зору доцільно представляти людину-оператора як одну з ланок системи. Водночас слід розуміти, що людина є специфічною ланкою із властивими тільки їй особливостями. Тому використання існуючої теорії надійності при оцінці діяльності людини має обмежений характер [88].

3. Одержання універсального виразу для визначення надійності системи “машиніст-локомотив” будь-якого типу досить складне. Тому необхідно

виявити основні складові системи і для кожного з них одержати свої вирази для оцінки надійності. В основу розгляду такої системи повинне бути покладене вивчення процесів (транспортних, інформаційних, управління), що протікають в ній.

Таким чином, необхідно визначити перелік показників надійності, прийнятних для узагальненої оцінки складної системи, у якій присутня ланка “машиніст-локомотив” [89].

Критерій оцінки керуючих дій при веденні поїзда може бути представлений у вигляді співвідношення різних показників якості, що відображають різні властивості системи.

Завдаємо комплексний критерій оцінки у вигляді:

$$K = \sum_{i=1}^n \gamma_i I_i, \quad (2.1)$$

де  $\gamma_i$  - ваговий коефіцієнт  $i$ -го показника  $I_i$ ,  $i \in [1, n]$ ;

$n$  – кількість часткових критеріїв.

Кожен із часткових критеріїв представляє собою функціонал

$$I_i = I_i(x, u, x_{зв}, x_{пу}, x_{кс}, q_{лб}, t) = I_i(\bar{X}), \quad (2.2)$$

де  $x$  - вектор технічного стану локомотива;

$u$  - вектор керування;

$x_{зв}$  - вектор задаючих впливів;

$x_{пу}$  - вектор початкових умов;

$x_{кс}$  - вектор кінцевого стану;

$q_{лб}$  - якість роботи локомотивних бригад;

$t$  - час, протягом якого досліджується система.

Функціонали (2.2) визначені на рішеннях системи

$$\frac{dx}{dt} = f(\bar{X}), \quad (2.3)$$

де  $f$  - вектор функції узагальненої сили.

Функціонали (2.2) і рівняння (2.3) визначені в області простору вектору стану і вектору керування

$$N(x, u) \geq 0. \quad (2.4)$$

Варіаційна задача полягає в знаходженні оптимального процесу керування із області  $N$

$$\{x^*(t), u^*(t)\}, \quad t_0 \leq t \leq t_1. \quad (2.5)$$

В такій постановці варіаційна задача являється невизначеною, якщо невідомі вагові коефіцієнти у виразі (2.2).

Кожен з часткових показників, що утворюють комплексний критерій оцінки, відображає ту чи іншу властивість системи керування і, будучи функціоналом, має числове вираження. На основі сукупності цих числових даних можна оцінити конкретний процес керування. В реальних умовах роботи локомотива завжди є обмеження по енергетичних ресурсах, міцності теплових і інших характеристиках.

Інформація про ці обмеження входить в математичний опис об'єкту. Тому для кожного часткового критерію повинна бути відома верхня межа його вимірювання

$$I_i(\bar{X}) \leq B_i, \quad i \in [1, n]. \quad (2.6)$$

Крім функціоналів  $I_i(\bar{X})$ , що входять в комплексний критерій, можуть бути обмежені інші функціонали системи керування, що не увійшли до нього. Тому вираз (2.6) доцільно розширити і представити у вигляді

$$\varphi_k(\bar{X}) \leq A_k, \quad k \in [1, s], \quad s \geq n, \quad (2.7)$$

де  $\varphi_k(\bar{X})$  - взагалі обмежений функціонал системи керування.

При визначенні комплексного критерію  $K$  необхідно визначити кількість та склад часткових критеріїв. Необхідно дотримуватись таких умов:

- перелік часткових критеріїв не повинний бути занадто великий. Бажано дрібні критерії виразити за допомогою більш загальних з метою спрощення розрахунків;

- часткові критерії повинні обиратися не тільки з урахуванням якості керування окремо обраним поїздом (локомотивом), але і враховувати, що ергатична система «поїзд-машиніст» є лише складовою великої системи залізниці, що забезпечує перевезення на даній ділянці;

- маючи на увазі перспективні локомотиви, методика розрахунків повинна забезпечувати їх проведення бортовими ЕОМ з необхідною швидкістю. Це дозволить використати отримані дані при керуванні локомотивом не знижуючи рівень безпеки руху.

Корисність рішення визначимо у тривимірній системі координат  $(X_{nc}; G; \Delta t)$ , де  $X_{nc}$  – складність нештатної ситуації,  $G$  – витрати енергії на рух поїзду,  $\Delta t$  – відхилення від графіку руху. Корисність дії в такому випадку буде визначатися довжиною вектора, відкладеного від початку координат до точки  $(X_{nci}; G_i; \Delta t_i)$ , яка визначається прогнозним значенням вказаних величин в результаті того або іншого рішення, що вироблено системою [90].

Таким чином вираз (2.1) конкретизуємо та представимо у вигляді

$$K = \sum_{i=1}^3 \gamma_i I_i \quad (2.8)$$

де  $I_1$  – частковий критерій безпеки руху;

$I_2$  – частковий критерій витрати енергоресурсів на тягу поїздів;

$I_3$  – частковий критерій дотримання графіку руху поїзду;

$\gamma_i$  – ваговий коефіцієнт  $i$ -го часткового критерія.

## 2.4 Ієрархічна класифікація факторів якості функціонування ергатичної системи «поїзд-машиніст»

У зв'язку зі значною складністю функціонування ергатичної системи «поїзд-машиніст» постає завдання визначити та оцінити коло факторів, що впливають її якість. Для цього необхідно виконати проектування нечіткої ієрархічної системи впливів цих факторів. Існує два способи створення таких систем. Перший спосіб складається в виконанні нечіткого висновку для проміжних змінних з подальшою передачею чітких значень цих змінних в нечіткі системи наступного рівня ієрархії. При другому способі процедура дефазифікації і фазифікації для проміжних змінних не виконується. Результат логічного висновку у вигляді нечіткої множини напряду передається до механізму нечіткого висновку наступного рівня ієрархії [91].

Розглядаючи питання визначення якості функціонування ергатичної системи «поїзд-машиніст» ми визначили перелік часткових критеріїв, що визначають кінцевий результат, а саме критерій безпеки руху, критерій витрати енергоресурсів на тягу поїздів, критерій дотримання графіку руху поїзду. На величини цих критеріїв впливають багато чинників, що являють собою як якісні, так і кількісні показники. Тому укрупнену ієрархічну класифікацію представимо у вигляді дерева логічного висновку (рис. 2.13).



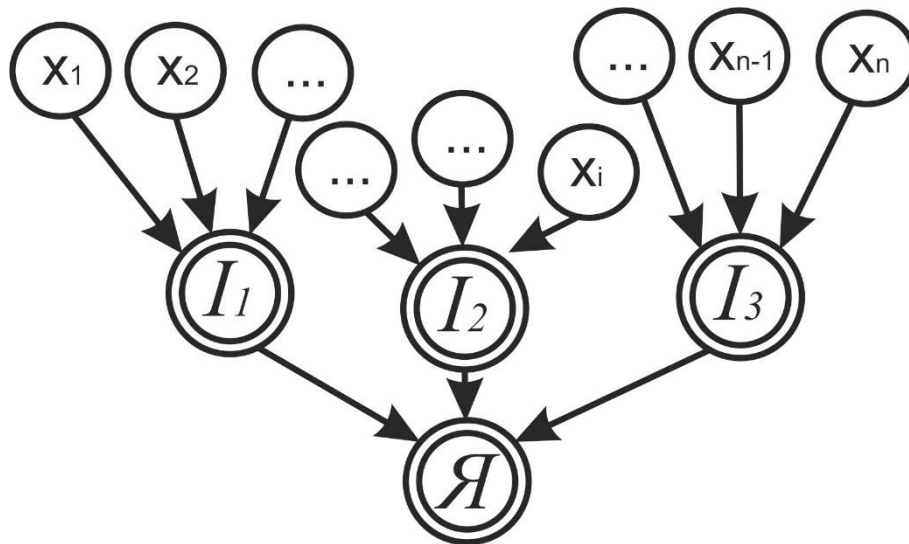


Рисунок 2.13 – Спрощена ієрархічна класифікація факторів впливу на якість функціонування ергатичної системи «поїзд-машиніст»

Елементи дерева визначаються наступним чином:

корінь дерева – якість процесу функціонування ергатичної системи «поїзд-машиніст»;

термінальні вершини – часткові впливаючі фактори від  $x_1$  до  $x_n$ ;

нетермінальні вершини (подвійні кола) – згортання впливаючих факторів;

дуги графа, що виходять з нетермінальних вершин – часткові критерії впливу  $I_1, I_2, I_3$ .

## Висновки по розділу 2.

1. Серед основних причин помилок машиніста локомотива можливо виділити такі: незадовільна підготовка або низький рівень кваліфікації; недотримання передбачених процедур експлуатаційної роботи; незадовільні умови праці, пов'язані з такими негативними явищами як надмірний шум, вібрація, температурні коливання у кабіні машиніста (особливо на тепловозах); відсутність привабливих стимулюючих факторів для досягнення оптимального рівня якості роботи.

2. Критерій оцінки керуючих дій в процесі експлуатації представлений у вигляді співвідношення різних показників якості, що відображають різні властивості системи. Комплексний критерій представлено у вигляді адитивного показника. Кожен із часткових критеріїв представляє собою функціонал, що містить вектор технічного стану локомотива, вектор керування, вектор задаючих впливів, вектор початкових умов, вектор кінцевого стану, якість роботи локомотивних бригад, час, протягом якого досліджується система.

3. Прийняття рішення при керуванні локомотивом залежить від багатьох обставин. Пропонується визначити основні стратегії керування поїздом, що можуть бути застосовані в різних поїзних ситуаціях. Виходячи з основних завдань, що виконуються локомотивним господарством, в роботі визначено такі стратегії керування: дотримання графіку руху, максимальна безпека руху, мінімальна витрата енергії на тягу, максимальний рівень надійності рухомого складу.

4. Стратегію керування представлено як множину, що містить свої характерні показники. Існують функції  $\pi_j = f(I_i)$ , що визначають вплив кожного критерію на показники даної стратегії керування. Вплив величини того або іншого критерію якості управління на показник  $\pi_j$ , що характеризує окрему стратегію пропонується оцінити порівнюючи похідні  $\frac{d\pi_j}{dI_i}$ . А

загальний вплив критерію  $I_i$  на стратегію  $s_i$  пропонується представити як середньоарифметичне похідних. Таким чином, отримано абсолютні показники впливу кожного критерію якості керування на реалізацію окремих стратегій керування. Для отримання величин вагових коефіцієнтів при розрахунку якості керування за різними стратегіями, необхідно використати відомий перехід від абсолютних до відносних показників. Таким чином отримано формалізований показник якості процесу керування рухом поїзду з використанням різних стратегій.

5. У зв'язку зі значною складністю функціонування ергатичної системи «поїзд-машиніст» постає завдання визначити та оцінити коло факторів, що впливають її якість. Для цього виконано проектування нечіткої ієрархічної системи впливів цих факторів. Елементи ієрархічного дерева визначаються наступним чином: корінь дерева – якість процесу функціонування ергатичної системи «поїзд-машиніст»; термінальні вершини – часткові впливаючі фактори; нетермінальні вершини – згортання впливаючих факторів; дуги графа, що виходять з нетермінальних вершин – часткові критерії впливу.

### 3. МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ КЕРУВАННЯ ЛОКОМОТИВОМ ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ ТЕОРІЇ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБРАЗІВ.

#### 3.1 Формалізація параметру «напруженості роботи машиніста» в процесі керування локомотивом.

Існує визначений орієнтовний перелік ситуацій, що виникають в процесі керування локомотивом. Вони розглядалися окремо для вирішення завдання визначення функції приналежності елементів множини <суттєвість операції керування локомотивом> для різних поїзних ситуацій.

Був отриманий наступний перелік ситуацій:

- $c_1$  - відправлення зі станції на перегін;
- $c_2$  - рух під зелений на підйом;
- $c_3$  - рух під зелений на спуск;
- $c_4$  - рух під жовтий на підйом;
- $c_5$  - рух під жовтий на спуск;
- $c_6$  - рух під червоний на підйом;
- $c_7$  - рух під червоний на спуск;
- $c_8$  - рух по станційним коліям;
- $c_9$  - рух резервом;
- $c_{10}$  - рух у несприятливих погодних умовах;
- $c_{11}$  - перешкода попереду;
- $c_{12}$  - прибуття на станцію.

Розглядаючи наведений перелік можна сказати, що під час керування поїздом машиніст часто знаходиться в складних обставинах, що обумовлені одночасним знаходженням у декількох поїзних ситуаціях. Наприклад, ситуація  $c_{10}$  - рух у несприятливих погодних умовах може одночасно виникнути з будь-якою іншою наведеною ситуацією. А ситуація  $c_1$  - відправлення зі станції на перегін може одночасно виникнути з ситуацією  $c_2$  -

рух під зелений на підйом. Таким чином необхідно визначити усі можливі комбінації поїзних ситуацій для визначення підходів до керування локомотивом у кожній з них.

Кожна поїзна ситуація характеризується множиною факторів, що її описують, тобто

$$c_i = \{f(c_i)_1, f(c_i)_2, \dots, f(c_i)_{n-1}, f(c_i)_n\}, \quad (3.1)$$

де  $c_i$  – окрема поїзна ситуація;

$n$  – кількість факторів, що описують поїзну ситуацію;

$f(c_i)_n$  – значення  $n$ -го фактору в  $i$ -й ситуації.

Для наочного зображення співвідношень між підмножинами універсальної множини використовуються діаграми Ейлера-Венна.

Побудова діаграми Ейлера-Венна полягає в розбитті площини на осередки за допомогою  $n$  фігур. Кожна фігура на діаграмі представляє окрему множину,  $n$  - число зображуваних множин. Розбиття проводиться таким чином, що для будь-якого набору цих фігур існує тільки одна комірка, точки якої належать усім фігурам з набору і не належать іншим. Площина, на якій зображуються фігури, представляє універсальну множину  $U$ . Таким чином, точки, що не належать ні однієї з фігур, що належать тільки  $U$ . Діаграма Ейлера-Венна для двох множин  $A$  і  $B$  виглядає як показано на рис. 3.1.

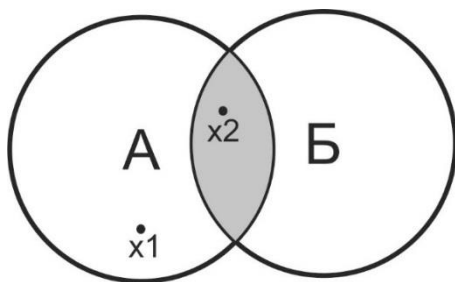


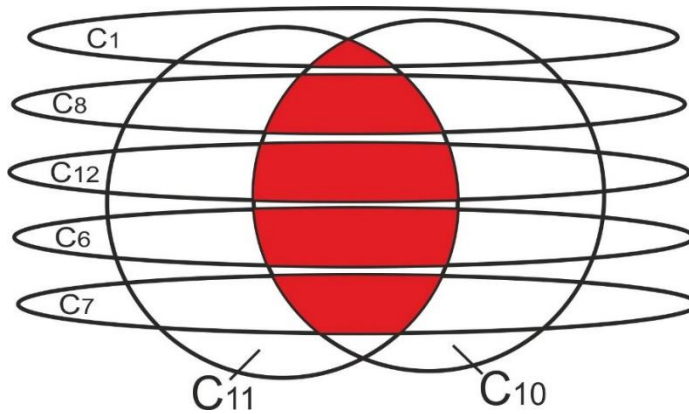
Рисунок 3.1 – Приклад побудування діаграми Ейлера-Венна.

За допомогою діаграм Ейлера-Венна можна графічно показати приналежність деякого елемента до множин, що розглядаються. Наприклад, на рисунку елемент  $x_1$  належить  $A$  і не належить  $B$ , елемент  $x_2$  належить  $A$  і

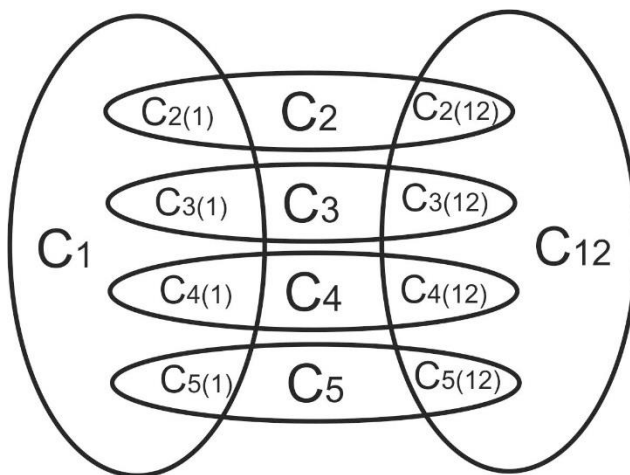
Б. Будь-який елемент належить універсальній множині  $U$ . Для визначення можливих варіантів виникнення поїзних ситуацій наведемо діаграми на рис.

3.2.

а)



б)



в)

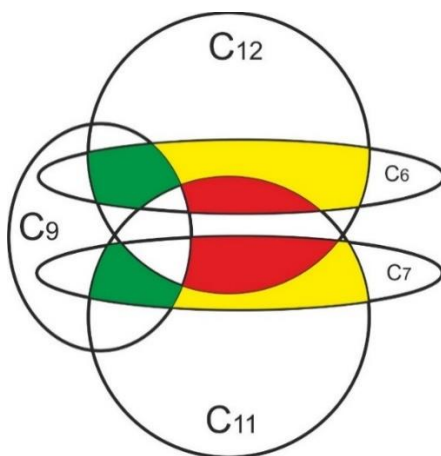


Рисунок 3.2 – Набір діаграм Ейлера-Венна для поїзних ситуацій.

Наведені діаграми визначають логічний зв'язок між різними варіантами одночасного виникнення різних поїзних ситуацій. Це дозволяє визначити та формалізувати критерій, за яким оцінюється поточна поїзна обстановка.

Напруженість роботи в кожній окремій ситуації вже задана відносними величинами, що визначаються у результаті взаємного порівняння цих ситуацій. Логічно припустити, що машиніст, опинившись в ситуації, що знаходиться на пересіченні декількох зон на діаграмі Ейлера-Венна, підвладний дії всіх факторів, що визначають напруженість (складність) всіх діючих поїзних ситуацій. Тобто

$$\Theta = \sum_{i=1}^k \theta_i(z_1), \quad (3.2)$$

де  $\Theta$  – загальна напруженість режиму роботи машиніста;

$\theta_i(z_1)$  – відносна кількість суттєвих операцій керування для  $i$ -ї ситуації;

$k$  – кількість ситуацій, що одночасно впливають на машиніста у визначений момент часу.

Для полегшення використання в подальших розрахунках параметру напруженості діяльності машиніста та представлення його в більш наочному вигляді пропонується його нормалізувати за формулою

$$\Theta_n = \frac{\sum_{i=1}^k \theta_i(z_1)}{C} \quad (3.3)$$

де  $\Theta_n$  – нормалізована величина загальної напруженості режиму роботи машиніста;

$C$  – загальна кількість операцій керування за поїздку, що розглядаються.

### 3.2 Розробка теоретичних основ визначення образів поїзних ситуацій.

#### 3.2.1 Формальна постановка задачі класифікації.

В процесі керування поїздом машиніст переробляє велику кількість оперативної інформації, на підставі якої визначає поточний стан поїзду (як об'єкту керування) та середовища (як набір факторів впливу на об'єкт керування та на самого машиніста). При великій напруженості діяльності машиністу іноді складно точно класифікувати поточну ситуацію, що може вплинути на якість керуючого рішення [92, 93] . Тому завдання розробки теоретичних основ розпізнавання образів поїзних ситуацій є актуальним і потребує детальної розробки.

Метою розпізнавання образів є класифікація об'єктів за декількома класами або категоріями [94,95]. Класифікація ґрунтується на прецедентах. Прецедент – це образ, правильна класифікація якого відома. Прецедент – раніше класифікований об'єкт, що приймається за зразок при вирішенні задач класифікації.

В випадку керування поїздом всі об'єкти класифікації (поїзні ситуації) розбиті на кінцеве число класів. Для кожного класу відомо і вивчено кінцеве число об'єктів – прецедентів. Завдання розпізнавання образів полягає в тому, щоб віднести нову розпізнавану ситуацію до якого-небудь класу.

Сукупність ознак, які відносяться до одного образу, є вектором ознак. Вектори ознак приймають значення в просторі ознак. В рамках задачі розпізнавання вважається, що кожному образу ставиться у відповідність єдине значення вектора ознак і навпаки: кожному значенню вектору ознак відповідає єдиний образ. Класифікатором або вирішальним правилом є правило віднесення образу поїзної ситуації до одного з класів на підставі його вектору ознак.

В залежності від наявності або відсутності прецедентної інформації розрізняють завдання розпізнавання з навчанням і без навчання. Задача



розпізнавання на основі наявної множини прецедентів називається класифікацією з навчанням (або з учителем). У тому випадку, якщо є безліч векторів ознак, отриманих для деякого набору образів, але правильна класифікація цих образів невідома, виникає завдання розділення цих образів на класи за подібністю відповідних векторів ознак. Ця задача називається кластеризацією або розпізнавання без навчання.

Для класифікації образів поїзних ситуацій будемо використовувати наступну модель задачі класифікації.

$\Omega$  – множина об'єктів розпізнавання (простір образів).

$\omega : \omega \in \Omega$  – об'єкт розпізнавання (образ).

$g(\omega) : \Omega \rightarrow C, C = \{1, 2, \dots, c\}$  – індикаторна функція, що розділяє простір образів на  $\Omega$  на  $c$  класів  $\Omega^1, \Omega^2, \dots, \Omega^c$ , що не перетинаються. Індикаторна функція невідома спостерігачеві.

$F$  – простір спостережень, що сприймаються спостерігачем (простір ознак).

$f(\omega) : \Omega \rightarrow F$  – функція, яка ставить у відповідність кожному об'єкту  $\omega$  точку  $f(\omega)$  в просторі ознак. Вектор  $f(\omega)$  – це образ об'єкта, що сприймається спостерігачем.

У просторі ознак визначено непересічні множини точок  $K_i \subset X, i = 1, 2, \dots, c$ , відповідних образів одного класу.

$\acute{g}(f) : F \rightarrow C$  – вирішальне правило – оцінка для  $g(\omega)$  на підставі  $f(\omega)$ , тобто  $\acute{g}(f) = \acute{g}(f(\omega))$ .

Нехай  $f_j = f(\omega_j), j = 1, 2, \dots, N$  – доступна спостерігачеві інформація про функції  $g(\omega)$  і  $f(\omega)$ , але самі ці функції спостерігачеві невідомі. Тоді  $(g_j, f_j), j = 1, 2, \dots, N$  – є множина прецедентів.

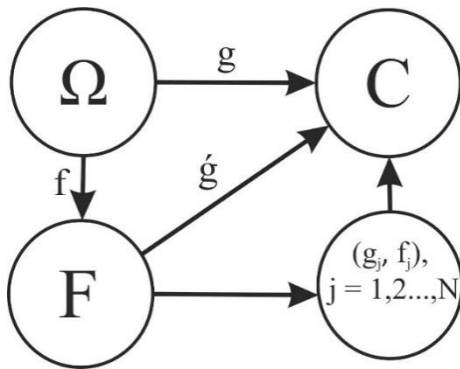


Рисунок 3.3 – Графічне зображення моделі задачі класифікації.

Завдання полягає в побудові такого вирішального правила  $\hat{g}(f)$ , щоб розпізнавання проводилося з мінімальним числом помилок.

Звичайний випадок – вважати простір ознак евклідовим. Якість вирішального правила вимірюють частотою появи правильних рішень. Зазвичай його оцінюють, наділяючи множину об'єктів  $\Omega$  деякою ймовірнісною мірою. Тоді завдання записується у вигляді  $\min P\{\hat{g}(f(\omega)) \neq g(\omega)\}$ .

### 3.3 Використання кластерного аналізу для визначення поточної поїзної ситуації.

#### 3.3.1 Постановка завдання диференціювання поїзних ситуацій за допомогою кластерного аналізу.

Завдання кластерного аналізу полягає в тому, щоб на підставі даних, що містяться у множині  $\Omega$ , розбити множину об'єктів  $\omega$  на  $m$  ( $m$  – ціле число, що відповідає кількості простих поїзних ситуацій) кластерів (підмножин)  $C_1, C_2, \dots, C_m$ , так, щоб кожен об'єкт  $\omega_j$  належав одній і тільки одній підмножині розбиття і щоб об'єкти, що належать одному і тому ж кластеру, були східними, в той час як об'єкти, що належать різним кластерам були різнорідними.

Рішенням задачі кластерного аналізу є розбиття, що задовольняє деякому критерію оптимальності [96 – 98]. Цей критерій може представляти собою деякий функціонал, що виражає рівні бажаності різних розбивок і

угруповань, який називають цільовою функцією. Наприклад, в якості цільової функції може бути взята внутрішньогрупова сума квадратів відхилень

$$W = \sum_{j=1}^n (x_j - \bar{x})^2 = \sum_{j=1}^n x_j^2 - \frac{1}{n} \left( \sum_{j=1}^n x_j \right)^2 \quad (3.4)$$

де  $x_j$  - представляє собою вимірювання  $j$ -го об'єкту.

Для вирішення задачі кластерного аналізу необхідно визначити поняття подібності і різнорідності.

Об'єкти  $i$ -ий та  $j$ -ий потрапляли б в один кластер, коли відстань (віддаленість) між точками  $X_i$  і  $X_j$  була б досить маленькою і потрапляли б в різні кластери, коли ця відстань була б досить великою. Таким чином, попадання в один чи різні кластери об'єктів визначається поняттям відстані між  $X_i$  і  $X_j$  з  $E_p$ , де  $E_p$  -  $p$ -мірне евклідовий простір. Невід'ємна функція  $d(X_i, X_j)$  називається функцією відстані (метрикою), якщо:

а)  $d(X_i, X_j) \geq 0$ , для всіх  $X_i$  и  $X_j$  з  $E_p$

б)  $d(X_i, X_j) = 0$ , тоді і тільки тоді, коли  $X_i = X_j$

в)  $d(X_i, X_j) = d(X_j, X_i)$

г)  $d(X_i, X_j) \leq d(X_i, X_k) + d(X_k, X_j)$ , де  $X_j, X_i$  и  $X_k$  – будь-які три вектори з  $E_p$ .

Значення  $d(X_i, X_j)$  для  $X_i$  і  $X_j$  називається відстанню між  $X_i$  і  $X_j$  і еквівалентно відстані між  $G_i$  і  $G_j$  відповідно обраним характеристикам  $(f_1, f_2, f_3, \dots, f_p)$ .

Найбільш часто вживаються наступні функції відстаней:

1. Евклідова відстань

$$d_2(X_i, X_j) = \left[ \sum_{k=1}^p (x_{ki} - x_{kj})^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

2.  $l_1$  - норма 
$$d_1(X_i, X_j) = \left[ \sum_{k=1}^p |x_{ki} - x_{kj}| \right]$$

3. Сюзпремум-норма 
$$d_\infty(X_i, X_j) = \sup \left\{ |x_{ki} - x_{kj}| \right\}$$
  
 $k = 1, 2, \dots, p$

4.  $l_p$  - норма 
$$d_p(X_i, X_j) = \left[ \sum_{k=1}^p |x_{ki} - x_{kj}|^p \right]^{\frac{1}{p}}$$

Евклідова метрика є найбільш популярною. Метрика  $l_1$  найбільш легка для обчислень. Сюзпремум-норма рахується легко і включає в себе процедуру упорядкування, а  $l_p$ -норма охоплює функції відстаней 1, 2, 3

Нехай  $n$  вимірювань  $X_1, X_2, \dots, X_n$  представлені у вигляді матриці даних розміром  $p \times n$ :

$$x = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ x_{p1} & x_{p2} & \dots & x_{pn} \end{pmatrix} = (X_1, X_2, \dots, X_n) \quad (3.5)$$

Тоді відстань між парами векторів  $d(X_i, X_j)$  може бути представлена у вигляді симетричної матриці відстаней:

$$D = \begin{pmatrix} 0 & d_{12} & \dots & d_{1n} \\ d_{21} & 0 & \dots & d_{2n} \\ d_{n1} & d_{n2} & \dots & 0 \end{pmatrix} \quad (3.6)$$

Поняттям, протилежним відстані, є поняття подібності між об'єктами  $\omega_i$  та  $\omega_j$ . Не негативна функція  $S(X_i, X_j) = S_{ij}$  є мірою подібності, якщо:

- 1)  $0 \leq S(X_i, X_j) < 1$  для  $X_i \neq X_j$
- 2)  $S(X_i, X_j) = 1$
- 3)  $S(X_i, X_j) = S(X_j, X_i)$

Пари значень мір подібності можна поєднати в матрицю подібності:

$$S = \begin{pmatrix} 1 & s_{12} & \dots & s_{1n} \\ s_{21} & 1 & \dots & s_{2n} \\ s_{n1} & s_{n2} & \dots & 1 \end{pmatrix} \quad (3.7)$$

Величину  $S_{ij}$  називають коефіцієнтом подібності.

### 3.3.2 Розробка алгоритму кластеризації поїзних ситуацій.

Розглянемо  $I = (I_1, I_2, \dots, I_n)$  як множину кластерів  $\{I_1\}, \{I_2\}, \dots, \{I_n\}$ . Виберемо два з них, наприклад,  $I_i$  та  $I_j$ , які в деякому сенсі більш близькі один до одного й об'єднаємо їх в один кластер. Нова множина кластерів, що складається вже з  $n-1$  кластерів, буде  $\{I_1\}, \{I_2\}, \dots, \{I_i, I_j\}, \dots, \{I_n\}$ .

Повторюючи процес, отримаємо послідовні множини кластерів, що складаються з  $(n-2)$ ,  $(n-3)$ ,  $(n-4)$  і т. д. кластерів. В кінці процедури можна отримати кластер, що складається з  $n$  об'єктів і збігається з початковою множиною  $I = (I_1, I_2, \dots, I_n)$ .

В якості міри відстані візьмемо квадрат евклідової метрики  $d_{ij}^2$  і обчислимо матрицю  $D = \{d_{ij}^2\}$ , де  $d_{ij}^2$ - квадрат відстані між  $I_i$  та  $I_j$ :

	$I_1$	$I_2$	$I_3$	....	$I_n$
$I_1$	0	$d_{12}^2$	$d_{13}^2$	....	$d_{1n}^2$
$I_2$		0	$d_{23}^2$	....	$d_{2n}^2$
$I_3$			0	....	$d_{3n}^2$
....				....	....

$$I_n \quad | \quad 0$$

Нехай відстань між  $I_i$  та  $I_j$  буде мінімальною:

$$d_{ij}^2 = \min \{d_{ij}^2, i \neq j\}. \quad (3.8)$$

Утворимо за допомогою  $I_i$  и  $I_j$  новий кластер  $\{I_i, I_j\}$ . Побудуємо нову  $((n-1), (n-1))$  матрицю відстаней:

	$\{I_i, I_j\}$	$I_1$	$I_2$	$I_3$	....	$I_n$
$\{I_i, I_j\}$	0	$d_{ij}^2$	$d_{ij}^2$	$d_{ij}^2$	....	$d_{ij}^2$
$I_1$		0	$d_{12}^2$	$d_{13}$	....	$d_{1n}$
$I_2$			0	$d_{2j}^2$	....	$d_{2n}$
$I_3$				0	....	$d_{3n}$
$I_n$						0

У ній  $(n-2)$  рядки для останньої матриці взяті з попередньої, а перший рядок обчислено заново. Обчислення можуть бути зведені до мінімуму, якщо вдасться виразити  $d_{ij}^2, k = 1, 2, \dots, n; (k \neq i \neq j)$  через елементи первісної матриці.

Початково визначено відстань лише між одноелементними кластерами, але треба визначати відстані між кластерами, що містить більш ніж один елемент. Це можна зробити різними способами, в залежності від обраного способу ми отримаємо алгоритми кластерного аналізу з різними властивостями. Можна, наприклад, покласти відстань між кластером  $i + j$  та деяким іншим кластером  $k$ , рівним середньому арифметичному з відстаней між кластерами  $i$  і  $k$  і кластерами  $j$  і  $k$ :

$$d_{i+j,k} = \frac{1}{2} (d_{ik} + d_{jk}). \quad (3.9)$$

Але можна також визначити  $d_{i+j,k}$  як мінімальне з цих двох відстаней:

$$d_{i+j,k} = \min (d_{ik} + d_{jk}). \quad (3.10)$$

Таким чином, описаний перший крок роботи агломеративного ієрархічного алгоритму. Наступні кроки аналогічні.

Досить широкий клас алгоритмів може бути отриманий, якщо для перерахунку відстаней використовувати таку загальну формулу:

$$d_{i+j,k} = A(w) \min(d_{ik} d_{jk}) + B(w) \max(d_{ik} d_{jk}), \quad (3.11)$$

де

$$A(w) = \frac{wn_i}{wn_i + n_j}, \text{ якщо } d_{ik} \leq d_{jk}$$

$$A(w) = \frac{wn_j}{n_j + wn_i}, \text{ якщо } d_{ik} > d_{jk}$$

$$B(w) = \frac{n_i}{wn_i + n_j}, \text{ якщо } d_{ik} \leq d_{jk}$$

$$B(w) = \frac{n_j}{wn_j + n_i}, \text{ якщо } d_{ik} > d_{jk}$$

де  $n_i$  і  $n_j$  - кількість елементів у кластерах  $i$  та  $j$ , а  $w$  – вільний параметр, вибір якого визначає конкретний алгоритм. Наприклад, при  $w = 1$  ми одержуємо так званий алгоритм «середнього зв'язку», для якого формула перерахунку відстаней приймає вигляд:

$$d_{i+j,k} = \frac{n_i}{n_i + n_j} d_{ik} + \frac{n_j}{n_i + n_j} d_{jk} \quad (3.12)$$

В даному випадку відстань між двома кластерами на кожному кроці роботи алгоритму виявляється рівною середньому арифметичному з відстаней між усіма такими парами елементів, що один елемент пари належить до одного кластера, інший - до іншого.

Наочний сенс параметра  $w$  стає зрозумілим, якщо припустити  $w \rightarrow \infty$ . Формула перерахунку відстаней приймає вигляд:

$$d_{i+j,k} = \min (d_{i,k} d_{jk}) \quad (3.13)$$

Це буде так званий алгоритм «найближчого сусіда», який дозволяє виділяти кластери як завгодно складної форми за умови, що різні частини таких кластерів з'єднані ланцюжками близьких один до одного елементів. В даному випадку відстань між двома кластерами на кожному кроці роботи алгоритму виявляється рівною відстані між двома самими близькими елементами, що належать до цих двох кластерів.

Досить часто припускають, що початкові відстані (відмінності) між елементами, що групуються, задані. У деяких задачах це дійсно так. Однак, задаються тільки об'єкти та їх характеристики і матрицю відстаней будують виходячи з цих даних. Залежно від того, обчислюються відстані між об'єктами або між характеристиками об'єктів, використовуються різні способи.

У разі кластер аналізу об'єктів найбільш часто мірою відмінності служить квадрат евклідової відстані

$$d_{ij}^2 = \sum_{h=1}^m (x_{ih} - x_{jh})^2 \quad (3.14)$$

де  $x_{ih}$ ,  $x_{jh}$  - значення  $h$ -ої ознаки для  $i$ -го та  $j$ -го об'єктів;

$m$  - число характеристик.

Якщо ознакам приписується різну вагу, то ці ваги можна врахувати при обчисленні відстані

$$\delta_{ij}^2 = \sum_{h=1}^m w_h (x_{ih} - x_{jh})^2. \quad (3.15)$$



Іноді в якості міри відмінності використовується відстань, що обчислюється за формулою

$$\Delta_{ij} = \sum_{h=1}^m |x_{ih} - x_{jh}| \quad (3.16)$$

які називають: "хеммінговим", "манхеттенським" або "сіті-блок" відстанню.

Природною мірою подібності характеристик об'єктів у багатьох задачах є коефіцієнт кореляції між ними

$$r_{ij} = \frac{\sum_{h=1}^N (x_{hi} - m_i)(x_{hj} - m_j)}{\delta_i \delta_j}, \quad (3.17)$$

де  $m_i, m_j, \delta_i, \delta_j$  - відповідно середні і середньоквадратичні відхилення для характеристик  $i$  та  $j$ . Мірою відмінності між характеристиками може служити величина  $1 - r$ . У деяких завданнях знак коефіцієнта кореляції неважливий і залежить лише від вибору одиниці вимірювання. В цьому випадку в якості міри відмінності між характеристиками використовується  $|1 - r_{ij}|$ .

### 3.3.3 Метод визначення поїзної ситуації на основі кластерного аналізу

Отримання вектору характеристик поточної поїзної ситуації у вигляді

$$C_{nom} = \begin{pmatrix} f_{1\text{пот}} \\ f_{2\text{пот}} \\ \dots \\ f_{i\text{пот}} \\ \dots \\ f_{n\text{пот}} \end{pmatrix} \quad (3.18)$$

де  $f_{i\text{пот}}$  – значення  $i$ -го фактору, що характеризує поїзну ситуацію.

Нормалізація отриманих величин факторів згідно виразу

$$f'_{i\text{пот}} = \frac{f_{i\text{пот}} - f_{i\min}}{f_{i\max} - f_{i\min}} \quad (3.19)$$

де  $f_{i\max}$  ( $f_{i\min}$ ) – максимально (мінімально) можливе значення  $i$ -го фактора в експлуатації.

Визначити евклідову відстань між першою ситуацією та поточною  $C_{nom}$

$$D(c_1) = \sqrt{\sum_{h=1}^n (f(c_1)_h - f_{h\text{пот}})^2} \quad (3.20)$$

де  $f(c_1)_h$  - значення  $h$ -го фактору, що характеризує ситуацію  $c_1$ .

Визначити всі відстані між  $C_{nom}$  та  $D(c_i)$ , при  $i \in [1;12]$  згідно (3.20).

Перерахувати значення відстаней  $D(c_i)$  у відповідності до вагових коефіцієнтів

$$D'(c_i) = D(c_i) \cdot \gamma_i, \quad (3.21)$$

де  $D'(c_i)$  – приведені значення відстані між поточною ситуацією та  $i$ -м кластером (елементарною поїзною ситуацією);

$\gamma_i$  – ваговий коефіцієнт, що визначає відносну важливість кожної  $i$ -ої ситуації.

Таким чином отримана множина  $D$ , що складається з відстаней від поточних факторів, що формують поточну ситуацію керування локомотивом, від базових поїзних ситуацій (в нашому випадку їх 12, тому і членів множини  $D$  також 12).

Елементи  $D$  ранжуються від мінімального до максимального значення  $D = \{D_{\min}, \dots, D_i, \dots, D_{\max}\}$ .

Перший елемент визначає основну ситуацію, другий і декілька наступних елементів визначають додаткові впливи на основну поїзну ситуацію. Знання основної та впливаючих поїзних ситуацій необхідно для вироблення керуючого рішення, що враховує всі наслідки для тієї або іншої ситуації.

#### 3.3.4 Обґрунтування величини вагового коефіцієнта для ситуацій.

Сукупність назв часткових критеріїв – це звичайна множина вербальних значень, тому вагові коефіцієнти критеріїв можна встановити за допомогою процедури визначення ваг, заснованої на використанні таблиці парних порівнянь, заповнюваної балами переваг.

При великій кількості часткових критеріїв можна використовувати і більш просту, але не менш ефективну процедуру, засновану на парному порівнянні всіх варіантів з єдиним – базовим критерієм. Базовим критерієм може бути будь-який з часткових критеріїв, наприклад, перший по номеру. Але все ж, доцільніше використовувати в якості базового найбільш «важливий» критерій.

Потрібно ввести нову множину  $S$  <поїзна ситуація>, що характеризує поточну ситуацію, в якій машиніст приймає рішення на виконання тієї, або іншої операції керування. В результаті аналізу умов роботи локомотивних бригад повна множина  $S$  представлена в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Значення множини  $S$  < поїзна ситуація >

Позначення елемента множини	Значення елемента множини
$s_1$	«відправлення зі станції на перегін»
$s_2$	«рух під зелений на підйом»
$s_3$	«рух під зелений на спуск»
$s_4$	«рух під жовтий на підйом»
$s_5$	«рух під жовтий на спуск»
$s_6$	«рух під червоний на підйом»
$s_7$	«рух під червоний на спуск»
$s_8$	«рух по станційним коліям»
$s_9$	«рух резервом»
$s_{10}$	«рух у несприятливих погодних умовах»
$s_{11}$	«перешкода попереду»
$s_{12}$	«прибуття на станцію»

Для визначення найбільш напруженого режиму роботи машиніста проведемо ранжування режимів руху  $S$  за параметром відносної кількості суттєвих операцій керування. Найбільш важкими режимами є  $s_{11}$  = «перешкода попереду»,  $s_{10}$  = «рух у несприятливих погодних умовах» та  $s_1$  = «відправлення зі станції на перегон».

Виходячи з розподілу режимів руху за показником кількості суттєвих операцій, за базовий критерій потрібно прийняти ситуацію  $s_{11}$  < перешкода попереду >.

Порівнювати варіанти доцільно в рамках дев'ятибальної шкали Сааті [99]. В результаті порівняння формується вектор результатів  $V = (V_{11}, V_{21}, \dots, V_{n1})$ , де  $V_{j1}$  – результат порівняння  $j$ -го і першого часткових

критеріїв. Семантично  $V_{j1}$  представляє собою ставлення, що інтуїтивно оцінюється ступенем важливості (значущості, корисності)  $j$ -го часткового критерію до ступеня важливості базового критерію, тобто це інтуїтивна оцінка величини  $v_{j1} = \frac{\mu_j}{\mu_1}$ , де  $\mu_j$   $\mu_1$  – явно не оцінювані ступені важливості для ОПР –  $j$ -го і першого часткових критеріїв.

Формула вагових коефіцієнтів при цьому має вигляд

$$w_j = \frac{V_{j1}}{\sum_{k=1}^n V_{k1}} \quad j = \overline{1; n} \quad (3.22)$$

Якщо кількість часткових критеріїв, що враховуються, велика, то доцільно організувати критерії за ієрархію, на верхніх рівнях якої розміщуються групи критеріїв, а на останньому рівні – власне критерії. Така організація дозволяє більш ретельно оцінити вагові коефіцієнти критеріїв.

В роботі [100] визначено основні ідеї оригінального методу Сааті відносно ведення поїзду.

1. Будується ієрархія поїзних ситуацій як часткових критеріїв:

1) на нульовому рівні розміщується назва всієї ієрархічної системи, «Поїзні ситуації»;

2) на наступних рівнях – з першого по  $(L - 1)$ -й рівні розміщуються групи критеріїв;

3) на  $L$ -му рівні розміщуються власне критерії – всі ситуації;

4) на маргінальному –  $(L+1)$ -му рівні розміщуються варіанти можливих керуючих рішень, що зіставляються. При цьому всі критерії не мають значення – це просто лінгвістичні мітки, які мають певну семантику якісної ознаки без поділу цієї ознаки на які-небудь рівні.

Групи критеріїв використаємо з [100] «Небезпечний режим руху», «Режим руху, що потребує підвищеної уваги», «Безпечний режим руху, але

для уточнення опису поїзних ситуацій додамо кластер «Режим руху, що потребує невідкладних дій».

2. На кожному рівні ієрархії відбувається порівняння елементів цього рівня один з одним. Причому порівняння виконується кілька разів: стільки, скільки елементів міститься на попередньому рівні. Кожне порівняння здійснюється «з позиції» одного з елементів попереднього рівня, який виступає в ролі критерію, за яким попарно порівнюються елементи поточного рівня.

3. Всі групи критеріїв, власне критерії та варіанти порівнюються один з одним за шкалою 1..9 за схемою «кожен з кожним», результати порівняння представляються у вигляді матриці парних порівнянь. По кожній матриці парних порівнянь формується вектор вагових коефіцієнтів. Для більшої науковості методу Сааті рекомендує обчислювати вагові коефіцієнти як власний вектор матриці парних порівнянь, що відповідає найбільшому власному числу цієї матриці. Проблеми обчислення цього власного вектору немає, але і особливої потреби в його обчисленні теж немає: якщо нормалізувати елементи стовпців матриці парних порівнянь їх сумами, а потім усереднити результати, одержувані в кожному рядку, то результат буде дуже близький до власного вектору Сааті.

Побудова матриці попарних порівнянь полягає в наступному. Завдаємо якісну шкалу попарного порівняння з наступним перетворенням на бали:

рівно, байдуже = 1

трохи небезпечніше (безпечніше) = 3 (1/3)

небезпечніше (безпечніше) = 5 (1/5)

значно небезпечніше (безпечніше) = 7 (1/7)

принципово небезпечніше (безпечніше) = 9 (1/9)

При проміжній думці використовуються

проміжні бали 2, 4, 6, 8.

Для спрощення алгоритму складання парних порівнянь та отримання більш адекватних результатів, будемо будувати не матрицю порівняння всіх

режимів руху між собою, а вектор порівняння одного режиму (найбільш небезпечного) з іншими режимами. Тоді, завдаючи базову групу, як найбільш небезпечну, а саме «Режим руху, що потребує невідкладних дій» отримаємо вектор парних порівнянь (таблиця 3.1)

Таблиця 3.1 Вектор парних порівнянь для груп поїзних ситуацій (базова група – «Режим руху, що потребує невідкладних дій»)

Найменування групи ситуацій	Значення	Вага
Режим руху, що потребує невідкладних дій	1	0,598
Небезпечний режим руху	1/3	0,198
Режим руху, що потребує підвищеної уваги	1/5	0,119
Безпечний режим руху	1/7	0,085
	1,675	1,0

Далі виконуємо побудову матриці попарних порівнянь. Порівняння поїзних ситуацій за критерієм «Режим руху, що потребує невідкладних дій».

В цій матриці комірka  $c_1/ c_2$  означає, що «відправлення зі станції на перегін» небезпечніше (5) за рух «під зелений на підйом». аналогічно потрібно читати і всі інші значення матриці.

Таблиця 3.2 Матриця парних порівнянь для поїзних ситуацій за критерієм «Режим руху, що потребує невідкладних дій»

Режим руху, що потребує невідкладних дій	$c_1$	$c_2$	$c_3$	$c_4$	$c_5$	$c_6$	$c_7$	$c_8$	$c_9$	$c_{10}$	$c_{11}$	$c_{12}$
$c_1$ - відправлення зі станції на перегін	1	5	3	4	2	7	9	1	1/3	1/7	1/9	1/2
$c_2$ - рух під зелений на підйом	1/5	1	1/2	1/3	1/5	1/8	1/9	1/3	1	1/8	1/8	1/8
$c_3$ - рух під зелений на спуск	1/3	2	1	1/4	1/3	1/7	1/8	1/2	2	1/7	1/9	1/6
$c_4$ - рух під жовтий на підйом	1/4	3	4	1	1/3	1/6	1/8	1/2	1/5	1/6	1/4	1/2

c <sub>5</sub> - рух під жовтий на спуск	1/2	5	3	3	1	1/5	1/7	1/3	1/5	1/5	1/6	1
c <sub>6</sub> - рух під червоний на підйом	1/7	8	7	6	5	1	1/2	3	6	1/2	3	2
c <sub>7</sub> - рух під червоний на спуск	1/9	9	8	8	7	2	1	6	7	1	2	1
c <sub>8</sub> - рух по станційним коліям	1	3	2	2	3	1/3	1/6	1	5	1/5	1/8	1/2
c <sub>9</sub> - рух резервом	3	1	1/2	5	5	1/6	1/7	1/5	1	1/6	1/9	1/2
c <sub>10</sub> - рух у несприятливих погодних умовах	7	8	7	6	5	2	1	5	6	1	1/2	3
c <sub>11</sub> - перешкода попереду	9	8	9	4	6	1/3	1/2	8	9	2	1	1/6
c <sub>12</sub> - прибуття на станцію	2	8	6	2	1	1/2	1	2	2	1/3	6	1
Сума												

Виконуємо нормування матриці у таблиці 3.2 за наступним принципом. Знаходимо суму елементів кожного стовпця та ділимо всі елементи матриці на суму елементів відповідного стовпця.

Таблиця 3.3 Нормалізована матриця парних порівнянь для поїзних ситуацій за критерієм «Режим руху, що потребує невідкладних дій»

Режим руху, що потребує невідкладних дій	c <sub>1</sub>	c <sub>2</sub>	c <sub>3</sub>	c <sub>4</sub>	c <sub>5</sub>	c <sub>6</sub>	c <sub>7</sub>	c <sub>8</sub>	c <sub>9</sub>	c <sub>10</sub>	c <sub>11</sub>	c <sub>12</sub>
c <sub>1</sub> - відправлення зі станції на перегін	0,041	0,082	0,059	0,096	0,056	0,501	0,652	0,036	0,008	0,024	0,008	0,048
c <sub>2</sub> - рух під зелений на підйом	0,008	0,016	0,010	0,008	0,006	0,009	0,008	0,012	0,025	0,021	0,009	0,012
c <sub>3</sub> - рух під зелений на спуск	0,014	0,033	0,020	0,006	0,009	0,010	0,009	0,018	0,050	0,024	0,008	0,016



c <sub>4</sub> - рух під жовтий на підйом	0,010	0,049	0,078	0,024	0,009	0,012	0,009	0,018	0,005	0,028	0,019	0,048
c <sub>5</sub> - рух під жовтий на спуск	0,020	0,082	0,059	0,072	0,028	0,014	0,010	0,012	0,005	0,033	0,012	0,096
c <sub>6</sub> - рух під червоний на підйом	0,006	0,131	0,137	0,144	0,139	0,072	0,036	0,108	0,151	0,084	0,222	0,191
c <sub>7</sub> - рух під червоний на спуск	0,005	0,148	0,157	0,192	0,195	0,143	0,072	0,215	0,176	0,167	0,148	0,096
c <sub>8</sub> - рух по станційним коліям	0,041	0,049	0,039	0,048	0,084	0,024	0,012	0,036	0,126	0,033	0,009	0,048
c <sub>9</sub> - рух резервом	0,122	0,016	0,010	0,120	0,139	0,012	0,010	0,007	0,025	0,028	0,008	0,048
c <sub>10</sub> - рух у несприятливих погодних умовах	0,285	0,131	0,137	0,144	0,139	0,143	0,072	0,179	0,151	0,167	0,037	0,287
c <sub>11</sub> - перешкода попереду	0,367	0,131	0,176	0,096	0,167	0,024	0,036	0,287	0,227	0,335	0,074	0,016
c <sub>12</sub> - прибуття на станцію	0,082	0,131	0,118	0,048	0,028	0,036	0,072	0,072	0,050	0,056	0,444	0,096
Сума	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Розрахувавши середні значення по рядках для кожної ситуації отримаємо значення ваги кожної ситуації в критерії «Режим руху, що потребує невідкладних дій».

Таблиця 3.4 Значення ваги поїзних ситуацій в критерії «Режим руху, що потребує невідкладних дій»

Найменування ситуацій	Вага у відносних долях	Вага у відсотках
c <sub>1</sub> - відправлення зі станції на перегін	0,134	13,4
c <sub>2</sub> - рух під зелений на підйом	0,012	1,2
c <sub>3</sub> - рух під зелений на спуск	0,018	1,8
c <sub>4</sub> - рух під жовтий на підйом	0,026	2,6
c <sub>5</sub> - рух під жовтий на спуск	0,037	3,7
c <sub>6</sub> - рух під червоний на підйом	0,118	11,8

$c_7$ - рух під червоний на спуск	0,143	14,3
$c_8$ - рух по станційним коліям	0,046	4,6
$c_9$ - рух резервом	0,046	4,6
$c_{10}$ - рух у несприятливих погодних умовах	0,156	15,6
$c_{11}$ - перешкода попереду	0,161	16,1
$c_{12}$ - прибуття на станцію	0,103	10,3

Аналізуючи отримані дані з таблиці 3.4, ми бачимо, що найбільшу вагу в критерії «Режим руху, що потребує невідкладних дій» мають ситуації  $c_{11}$  - перешкода попереду;  $c_{10}$  - рух у несприятливих погодних умовах;  $c_7$  - рух під червоний на спуск. Їх ми і відносимо до групи «Режим руху, що потребує невідкладних дій». Аналогічно проведемо аналіз поїзних ситуацій за критеріями «Небезпечний режим руху», «Режим руху, що потребує підвищеної уваги», «Безпечний режим руху».

Таким чином ми отримали формальне обґрунтування щодо віднесення тієї або іншої ситуації до кожної з груп «Небезпечний режим руху», «Режим руху, що потребує підвищеної уваги», «Безпечний режим руху», «Режим руху, що потребує невідкладних дій».

Результат наведено у вигляді рисунку 3.4.



Рисунок 3.4 – Ієрархія поїзних ситуацій.

У цілому, метод Сааті застосовується і у випадку критеріїв зі значеннями, відмінність яких буде полягати тільки в способі формування матриці  $(L+1)$ -го – варіантного – рівня ієрархії  $\mathbf{W}^{L+1} = [w_{ij}^{[L+1]}]_{n_L}^n$ . У випадку критеріїв зі значеннями, що розглядається в роботі, елементи матриці не оцінюються з допомогою матриці парних порівнянь, а просто обчислюються за формулою:

$$w_{ij}^{[L+1]} = \frac{\tilde{c}_{ij}}{\sum_{k=1}^{n_L} \tilde{c}_{kj}}, \quad i = \overline{1; m}, \quad j = \overline{1; n_L}, \quad (3.24)$$

де  $\tilde{c}_{ij}$  – нормалізоване значення  $j$ -го критерію для  $i$ -го варіанту.

Формула (3.24) може використовуватися тільки у разі, якщо всі часткові критерії мають числові значення, тобто попередньо необхідно здійснити зважування значень всіх вербальних критеріїв.

### 3.4 Вибір інформативного набору ознак для розпізнавання поїзних ситуацій.

#### 3.4.1 Постановка завдання вибору ознак.

Якість розпізнавання тієї або іншої поїзної ситуації, в якій знаходиться локомотивна бригада, залежить від якості ознак, що використовуються системою класифікації. Основною характеристикою ознаки є її інформативність. Причому інформативність є величиною відносною, що виражається в різній інформаційній цінності окремої ознаки для класифікації різних поїзних ситуацій. Також інформативність ознаки може залежати від типу рішачих правил в процедурі класифікації.

Сучасні локомотиви обладнані потужними системами діагностики, контролю поточних параметрів руху та вхідних сигналів [100 – 102]. Тому в розпорядженні систем розпізнавання образів поїзних ситуацій знаходиться множина ознак, що може налічувати декілька сотен членів. Використання всієї сукупності ознак може бути недоцільне з наступних причин. Кожна ознака потребує окремого інформаційного каналу для її контролю, що ускладнює інтерфейсну частину системи, що розробляється, та призводить до її здороження. Другий фактор – це використання обчислювальних ресурсів бортової ЕОМ, які на даний момент є хоч і достатньо потужними, але на локомотивів бажано мати максимально швидкість роботи системи, що неможливо при обробці і аналізі такого широкого спектру даних.

Таким чином завдання оцінки та вибору інформативних ознак при розпізнаванні поїзних ситуацій є актуальним та дозволить підвищити ефективність локомотивної системи розпізнавання образів.

Попередній склад ознак завдається неформалізованим шляхом, на основі досвіду та особистих переваг спеціаліста. Формальні методи застосовуються до навчаючої вибірки  $A$  для перевірки цієї вихідної системи на достатність і необхідність. Серед усіх можливих систем ознак достатньою вважаємо систему, яка при заданих  $S$  і  $D$  забезпечує витрати  $N$ , що не перевищують певного порогу  $N_0$ . Під витратами  $N$  тут розуміється вартість вимірювання ознак ( $N_x$ ) і вартість втрат, викликаних помилками розпізнавання ( $N_r$ ):

$$N = N_x + N_r. \quad (3.25)$$

Необхідною є достатня система мінімальної складності (вартості). Так що фактично на навчальній вибірці  $A$  вирішується переборне завдання типу

$$\beta = \arg \min_{\beta \in B} N(X_\beta) / C, D, A, N_0, \quad (3.26)$$

де  $C = \langle c_1, c_2, \dots, c_k \rangle$  - перелік поїзних ситуацій, що розглядається

$D$  – тип рішальної функції;

$B$  – множина всіх можливих систем ознак;

$X$  – інформативна множина описуючих ознак;

$N$  – витрати;

$N_0$  – порогове значення витрат.

Ця задача одночасної мінімізації  $N_x$  і  $N_r$  вперше була сформульована в [103]. Витрати на вимірювання залежать від того, скільки і яких ознак потрібно вимірювати і яке число розрядів потрібно для представлення результатів вимірювань. Зі зрозумілих причин основна увага приділяється зменшенню кількості вимірюваних ознак, тобто пошуку інформативної підсистеми з  $n$  ознак ( $X_n$ ) серед  $g$  ознак вихідної системи ( $X_g$ ).

### 3.4.2. Визначення інформативності окремих ознак

Вирішальним критерієм інформативності ознак в задачі розпізнавання образів пропонується величина втрат від помилок  $R$ . Навіть якщо розподіли генеральної сукупності відомі, обчислення втрат пов'язано з дуже великими витратами машинного часу. У зв'язку з цим робляться спроби знайти критерії, більш просто обчислювані і разом з тим жорстко корелюючи з оцінкою втрат  $R$ .

Якщо розподіл реалізацій кожного образу підпорядковується нормальному закону з діагональними матрицями коваріацій (при цьому поверхні рівної щільності являють собою сфери однакового радіуса), то мірою труднощі розпізнавання  $D$ , назад пропорційної очікуваних втрат, може служити середнє значення евклідової відстані між математичними очікуваннями всіх пар образів [35]:

$$D = (1/C_k^2) \sum_{i,j=1}^k \rho(ij), \quad (3.27)$$

де  $\rho(ij)$  – евклідова відстань між математичними очікуваннями  $i$ -го та  $j$ -го образів.

В термінах теорії інформації мірою труднощі розпізнавання служить ентропія  $H$  розподілів щільності ймовірності образів. Нехай розподіли образів  $k$  спроектовані на одну вісь  $x$ , що вимірюється з точністю  $t$  до градацій (рис. 3.5). Ймовірність попадання реалізацій  $i$ -го образу  $j$ -ю градацією дорівнює  $P(j/i)$ . Підсумувавши для  $j$ -ї градації ймовірності всіх образів, ми отримаємо

величину  $H_x = \sum_{j=1}^t H_j P_j$ . Внесок  $i$ -го образу в цю суму, так що ентропія  $j$ -ї

градації виражається наступним значенням

$$H_j = -(r_1 \log r_1 + r_2 \log r_2 + \dots + r_i \log r_i + \dots + r_k \log r_k). \quad (3.28)$$

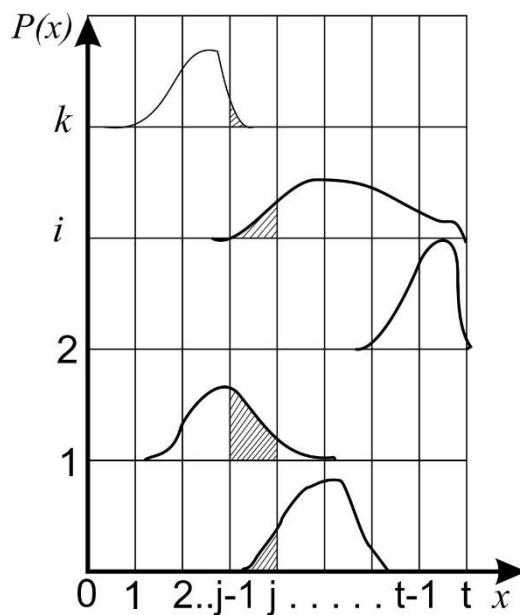


Рисунок 3.5 – Розподіл образів

З принципу адитивності ентропії випливає, що загальна невизначеність при розпізнаванні образів за ознакою  $x$  має вигляд  $H_x = \sum_{j=1}^t H_j P_j$ . Якщо початкова невизначеність ситуації дорівнювала  $\log k$ , то кількість інформації  $I_x$ , одержуваної в результаті вимірювання ознаки  $x$ , дорівнює  $H_0 - H_x$ .

При визначенні поїзної ситуації немає можливості отримати закони

розподілів образів. Це пов'язано з невеликим обсягом статистичних даних, які можна достовірно отримати під час руху. У цих умовах доцільно використовувати методи, які не вимагають побудови моделей розподілу і спираються на конкретні об'єкти, наявні в навчальній вибірці. За цими прецедентами будується вирішальна функція (наприклад, правило  $k$  найближчих сусідів), розпізнається контрольна послідовність, і за кількістю отриманих помилок виноситься оцінка інформативності окремої ознаки або їх системи.

Можливі й інші способи оцінки інформативності. Гіпотеза компактності дає нам основу для оцінки інформативності простору ознак через прояв характеристик компактності. З неї випливає, що для хорошого розпізнавання образів бажано, щоб відстані між своїми точками кожного образу були малими, а відстані до точок інших образів по можливості великими. А якщо опуклі оболонки різних образів накладаються одна на одну, то бажано, щоб вони якомога більше відрізнялися за своїми розмірами. Компактність (щільність)  $W_i$  образу  $i$ , представленого в навчальній вибірці  $m_i$  точками  $1, 2, \dots, t, \dots, 1, \dots, m_i$ , можна характеризувати середньою довжиною ребер поєднуючого їх повного графа:

$$W_i = (1/C_{m_i}^2) \sum_{t,l=1}^{m_i} r(t,l). \quad (3.29)$$

Також компактність  $W_j$  точок  $1, 2, \dots, s, \dots, v, \dots, m_j$ , що представляють образ  $j$ , має вигляд

$$W_j = (1/C_{m_j}^2) \sum_{s,v=1}^{m_j} r(s,v). \quad (3.30)$$

Рознесеність образів у просторі характеристик можна оцінювати через середню відстань між усіма парами точок з різних образів:

$$W(i, j) = (1/m_i m_j) \sum r(t, s) \text{ для } t = 1 \div m_i, s = 1 \div m_j \quad (3.31)$$

На підставі сказаного інформативність простору ознак тим більше, чим більше величина

$$J = W(i, j) / (W_i + W_j). \quad (3.32)$$

Оцінку інформативності ознак поїзної ситуації можна отримати і безпосередньо в процесі побудови вирішального правила у вигляді дерева дихотомічних поділів вибірки за окремими ознаками. Припустимо, що є можливість розділити ознаку  $X$  тільки на дві градації:  $x \leq l$  і  $x > l$ . Подивимося склад реалізацій, що потрапили в ці градації. Якщо в першій градації виявиться  $m_{il}$  реалізацій  $i$ -го образу і  $m_{vl}$  реалізацій  $v$ -го образу, то неоднорідність складу цієї градації можна оцінити величиною

$$R_l = \sum_{\substack{i=1 \\ v=i+1}}^k m_{il} m_{vl}, \quad (3.33)$$

то зменшення невизначеності після отримання інформації від ознаки  $x$ , тобто інформативність ознаки  $x$ , можна оцінити величиною  $J_x = (R_0 - R') / R_0$ . Якщо  $R' = 0$ , то інформативність ознаки  $J_x$  буде максимальною і дорівнювати одиниці. Якщо  $R'$  не зменшило початкової невизначеності, то  $J_x = 0$  й ознака  $x$  природно вважати неінформативним.

Якщо відомо, що ознаки не залежать одна від одної, то можна з допомогою одного з описаних методів оцінити інформативність всіх  $g$  ознак вихідної системи і потім вибрати з них  $n$  найбільш інформативних. Але в реальних таблицях даних залежність між ознаками спостерігається дуже часто. А якщо ознаки залежні, то при виборі найбільш інформативною підсистеми оцінками їх індивідуальної інформативності керуватися не можна.



Складність використання наведеного підходу полягає в отриманні дуже великої кількості комбінацій для умов роботи локомотивної бригади, що приблизно складає більше  $10^{22}$ . Виконання перебору цих комбінацій займе роки при поточній потужності обчислювальних засобів. Тому необхідно розробити алгоритм оцінювання інформативності ознак, прийнятний для реалізації на рухомому складі.

Серед алгоритмів, що здобули найбільшу розповсюдженість, можна виділити метод послідовного скорочення (алгоритм Del), метод послідовного додавання ознак (алгоритм Add), метод випадкового пошуку з адаптацією (алгоритм ВПА).

Алгоритм Del полягає в наступному.

1. Виконується оцінка похибки розпізнавання при використанні всіх  $W$  ознак .
2. Виключається з системи перша ознака і знаходиться помилка, яку дають решта  $(W-1)$  ознак.
3. Перша ознака повертається в вихідні дані, а друга виключається і знаходиться помилка в новому  $(W-1)$ -мірному просторі.
4. Цю операцію почергового виключення однієї ознаки проводять  $W$  разів. Серед отриманих величин визначають саму малу. Вона вкаже на ознаку, виключення якої з системи було найменш відчутним.
5. Виключають цю ознаку з системи і приступають до випробування залишившихся  $W-1$  ознак. Їх почергове виключення з системи дозволить знайти найбільш інформативну і знизити розмірність простору до  $W-2$ . Ці процедури повторюються стільки раз, поки в системі не залишиться задане число ознак.

Алгоритм Add відрізняється від попереднього лише тим, що порядок перевірки підсистем ознак починається не з  $W$ -мірного простору, а з одновимірних просторів. Спочатку всі  $W$  ознак перевіряються на інформативність. Для цього робиться розпізнавання контрольної послідовності по кожній з ознак окремо і в інформаційну підсистему

включається ознака, що дала найменше число помилок. Потім до неї по черзі додаються всі ознаки по одній. Отримані двовимірні підпростори оцінюються за кількістю помилок розпізнавання. Вибирається найбільш інформативна пара ознак. До неї таким же шляхом підбирається найкраща третя ознака з залишившихся, і так продовжується до отримання системи з потрібною кількістю ознак.

Трудомісткість цього алгоритму приблизно така ж, як і алгоритму Del, однак результати, одержувані алгоритмом Add, зазвичай краще, ніж у Del. Пояснюється цей факт впливом малої показності навчальної вибірки: при одному і тому ж обсязі вибірки чим вище розмірність простору ознак, тим менше обґрунтованість одержуваних статистичних висновків (у нашому випадку — оцінки інформативності).

Обидва описаних алгоритму дають оптимальне рішення на кожному кроці, але це не забезпечує глобального оптимуму. Для ослаблення впливу помилок на перших кроках алгоритму застосовується релаксаційний метод. В алгоритмі Add набирається певна кількість інформативних ознак і потім частина з них виключається методом Del. Можлива і зворотна стратегія: спочатку працює алгоритм Del, після скорочення вихідної системи на декілька ознак включається алгоритм Add, який повертає в систему помилково виключені з неї ознаки. Повторення цих процедур (алгоритм DelAdd) продовжується до отримання системи з найбільш інформативних ознак. В [104] вказано, що аналіз наведених методів дозволяє зробити висновок про перевагу алгоритму ВПА над алгоритмами Add, Del та DelAdd.

### 3.4.3 Використання методу випадкового пошуку з адаптацією для визначення кола найбільш інформативних ознак поїзних ситуацій.

Вище було наведено перелік поїзних ситуацій, що підлягають розпізнаванню при керуванні поїздом. Спочатку необхідно отримати множину  $W$  ознак поїзної ситуації. Вона будується на основі даних, що доступні

бортовій системі діагностики локомотива та машиністу під час поїздки. В результаті аналізу інформаційних потоків, що виникають при керуванні поїздом, отримана множина ознак, що складається з таких членів:

- $w_1$  – швидкість руху;
- $w_2$  – відстань до сигналу;
- $w_3$  – значення сигналу попереду;
- $w_4$  – маса поїзду;
- $w_5$  – положення контролеру машиніста;
- $w_6$  – положення гальмівного крану машиніста;
- $w_7$  – тиск в гальмівній магістралі поїзду;
- $w_8$  – поточний профіль колії;
- $w_9$  – наступний профіль колії;
- $w_{10}$  – сигнал буксування;
- $w_{11}$  – вільність колії попереду;
- $w_{12}$  – прослідкування станції (або роз'їзду);
- $w_{13}$  – струм навантаження тягових електродвигунів;
- $w_{14}$  – поточне значення обмеження швидкості;
- $w_{15}$  – різниця між поточним та графіковим часом слідування;
- $w_{16}$  – загальна оцінка стану екіпажної частини локомотива;
- $w_{17}$  – загальна оцінка стану системи передачі потужності локомотива;
- $w_{18}$  – психофізіологічні характеристики локомотивної бригади;
- $w_{19}$  – час доби;
- $w_{20}$  – час від початку роботи локомотивної бригади;
- $w_{21}$  – метеорологічні умови;
- $w_{22}$  – загальна оцінка стану гальм поїзду (за даними пробних гальмувань);
- $w_{23}$  – наявність в поїзді особливих та розрядних вантажів, а також людських вагонів;
- $w_{24}$  – відхилення витрати енергоресурсів на тягу від норми;
- $w_{25}$  – оперативний план роботи локомотивної бригади.

Кожна ознака нормалізується за відомими алгоритмами в залежності від того, якого типу величина – якісна або кількісна [105]. В результаті на вхід системи розпізнавання подаються нормалізовані сигнали, що знаходяться в інтервалі від 0 до 1.

Розіб'ємо умовний відрізок (0-1) на  $W$  однакових ділянок і зіставимо кожну ділянку зі своєю ознакою: 1-ша ділянка відповідає першій ознаці, 2-га — другій і т. д. Кожна ділянка має ширину  $1/W$  (рис. 3.6).

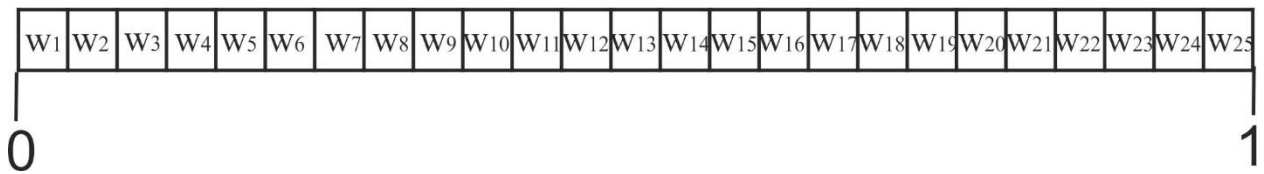


Рисунок 3.6 – Початковий розподіл ділянок, що відповідають ознакам поїзних ситуацій.

Другим етапом у випадковому порядку обирається низка значень в одиничному інтервалі. Ті ділянки, в які потрапили ці випадкові значення, використовуються для визначення образу поїзної ситуації. Якість цієї випадково обраної підсистеми оцінюється за одним з критеріїв, наприклад, за кількістю одержуваних помилок розпізнавання  $\alpha_i$ .

Описана процедура випадкового вибору підсистем ознак і оцінки їх якості повторюється  $k$  раз. Розгляд отриманого списку оцінок  $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_i, \dots, \alpha_k$ , дозволяє вибрати найкращу і найгіршу з підсистем. На цій підставі робиться процедура «заохочення» і «покарання»: ділянки, відповідні ознакам, які потрапили в найкращу підсистему, заохочуються шляхом розширення їх меж на величину  $h$ , а ділянки, відповідні ознаками з самої неінформативної підсистеми, караються тим, що їх ширина зменшується на величину  $h$ , причому  $h < 1/W$ . Сумарна довжина всіх ділянок так і залишається рівною одиниці. Отримаємо деякий новий розподіл ділянок ознак поїзних ситуацій (рис.3.7).

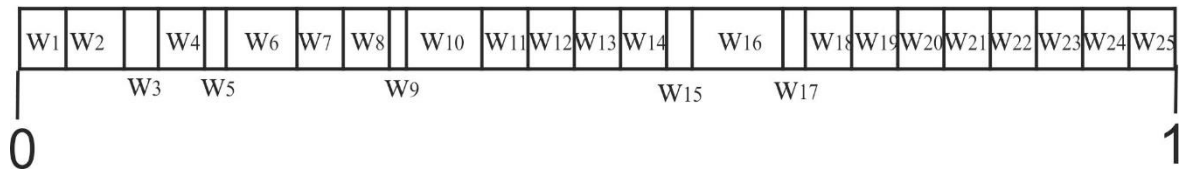


Рисунок 3.7 – Розподіл ділянок, що відповідають ознакам поїзних ситуацій, після процедури «заохочення-покарання»

З рисунку 3.7 видно, що ознаки  $w_3$ ,  $w_5$ ,  $w_9$ ,  $w_{15}$ ,  $w_{17}$  є «покараними», тобто вони найгірше вплинули на якість розпізнавання образу ситуації.

Після цього випадковим чином вибираються і випробовуються нові підсистеми. Але тепер ймовірність попадання ознак у ці підсистеми не однакова: заохочені ознаки, представлені більш широкими смужками, мають більше шансів увійти в чергову підсистему, ніж покарані. За результатами випробування цієї партії підсистем процедура адаптації (покарання та заохочення) повторюється. Якщо певний ознака випадково потрапляє і в найкращу і найгіршу підсистеми, то довжина її ділянки залишається незмінною. Якщо ж вона регулярно опиняється у складі самої інформативної підсистеми, то довжина його ділянки зростає з кожним кроком адаптації. Також ознака, що систематично потрапляє в саму неінформативну підсистему, з кожним кроком скорочує довжину своєї ділянки і тим самим зменшує ймовірність включення в випробовувані підмножини ознак.

Після певної кількості циклів пошуку та адаптації процес стабілізується: ділянки ознак, що мають найбільшу інформативність, займають практично весь відрізок (0-1) і випробовувану підсистему вибираються одні й ті ж ознаки. Цей факт служить сигналом до закінчення процесу вибору підсистеми найбільш інформативних ознак.

### Висновки по розділу 3.

1. Розглядаючи перелік поїзних ситуацій можна сказати, що під час керування поїздом машиніст часто знаходиться в складних обставинах, що

обумовлені одночасним знаходженням у декількох поїзних ситуаціях. Для підвищення якості аналізу керуючої діяльності та наочного зображення співвідношень між підмножинами універсальної множини «поїзна ситуація» використано діаграми Ейлера-Венна. Наведені діаграми визначають логічний зв'язок між різними варіантами одночасного виникнення різних поїзних ситуацій. Це дозволяє визначити та формалізувати критерій, за яким оцінюється поточна поїзна обстановка.

2. В випадку керування поїздом всі об'єкти класифікації (поїзні ситуації) розбиті на кінцеве число класів. Для кожного класу відомо і вивчено кінцеве число об'єктів – прецедентів. Завдання розпізнавання образів полягає в тому, щоб віднести нову розпізнавану ситуацію до якого-небудь класу. Класифікатором або вирішальним правилом є правило віднесення образу поїзної ситуації до одного з класів на підставі його вектору ознак.

3. Розроблено порядок класифікації поїзних ситуацій, який дозволяє виділяти кластери як завгодно складної форми за умови, що різні частини таких кластерів з'єднані ланцюжками близьких один до одного елементів. Мірою відмінності служить квадрат евклідової відстані.

4. На основі методу Сааті розроблено підхід до визначення вагових коефіцієнтів поїзних ситуацій. Для цього наведено ієрархію ситуацій за режимами руху (безпечний режим; режим, що потребує підвищеної уваги; небезпечний режим). Всі групи критеріїв, власне критерії та варіанти порівнюються один з одним за шкалою 1..9 за схемою «кожен з кожним», результати порівняння представляються у вигляді матриці парних порівнянь. В результаті отримано об'єктивну оцінку для порівняння різних ситуацій при веденні поїзду: найбільш загрозливими є ситуації  $s_{10}$  - рух у несприятливих погодних умовах,  $s_{11}$  - перешкода попереду,  $s_7$  - рух під червоний на спуск.

5. Якість розпізнавання тієї або іншої поїзної ситуації, в якій знаходиться локомотивна бригада, залежить від якості ознак, що використовуються системою класифікації. Вирішальним критерієм інформативності ознак в задачі розпізнавання образів пропонується величина втрат від помилок.

6. Для визначення кола найбільш інформативних ознак поїзних ситуацій використано метод випадкового пошуку з адаптацією. В результаті аналізу інформаційних потоків, що виникають при керуванні поїздом, отримана множина ознак, що складається з 25 членів ( $w_1$  – швидкість руху;  $w_2$  – відстань до сигналу;  $w_3$  – значення сигналу попереду;  $w_4$  – маса поїзду;  $w_5$  – положення контролеру машиніста т. д.). Після певної кількості циклів пошуку та адаптації процес стабілізується: ділянки ознак, що мають найбільшу інформативність, займають практично весь відрізок (0-1) і випробувану підсистему вибираються одні й ті ж ознаки. Цей факт служить сигналом до закінчення процесу вибору підсистеми найбільш інформативних ознак.

7. Результатом використання методу випадкового пошуку з адаптацією є отримання найбільш інформативних ознак поїзної ситуації, а саме  $w_1$  – швидкість руху;  $w_{11}$  – вільність колії попереду;  $w_2$  – відстань до сигналу;  $w_{22}$  – загальна оцінка стану гальм поїзду (за даними пробних гальмувань);  $w_{24}$  – відхилення витрати енергоресурсів на тягу від норми.

## РОЗДІЛ 4

### ШЛЯХИ РЕАЛІЗАЦІЇ ЗАПРОПОНОВАНИХ ЗАХОДІВ В ЛОКОМОТИВНОМУ ГОСПОДАРСТВІ.

4.1 Основні вимоги до програмного забезпечення локомотивних систем підтримки прийняття рішень.

Використання СППР на тяговому рухомому складі має свої перспективи та потребує вдосконалення існуючого програмного забезпечення керування локомотивом та розробки нового. При цьому необхідно враховувати обмеження, що накладаються умовами роботи на залізничному транспорті та в яких доведеться працювати системі [106, 107].

Для неоднакових експлуатаційних умов раціональні режими ведення поїздів виявляються різними. Раціональним називають такий режим, котрий в заданих експлуатаційних умовах і при суворому виконанні всіх вимог експлуатації забезпечує найменшу питому витрату електроенергії або палива [108]. Під експлуатаційними умовами розуміють профіль та план колії, масу складу, його основний опір руху, припустимі максимальні швидкості, задані часи ходу і порядок пропускання поїздів по перегонам.) Це не дозволяє рекомендувати один режим ведення поїзду, оптимальний для всіх практично існуючих умов руху. Навіть на одній і тій же ділянці ці умови часто змінюються. При електричній тязі змінюється напруга в контактній мережі. Крім того, характеристики електричних машин і конкретних локомотивів в залежності від їх технічного стану можуть відрізнятися від відповідних паспортних характеристик. Все це і складає головні труднощі при розробці і практичному використанні раціональних режимів ведення поїздів. Досвід показує, що навіть при наявності карт режимів ведення поїздів, технічно обґрунтованих для деяких середніх експлуатаційних умов, дійсна питома витрата палива і електроенергії у різних машиністів на одних ділянках різна з відхиленнями як в більший так і в менший бік від встановленої норми [109].



Перспективність систем підтримки прийняття рішень для локомотивних бригад обумовлена кількома причинами [110]. Перша з них полягає в тому, що управління локомотивом на основі традиційних технологій не може забезпечити істотне підвищення ефективності експлуатації. Удосконалення алгоритмів адаптивного керування призводить до їх значного ускладнення і труднощі реалізації безпосередньо на борту локомотива. При цьому не враховується ряд невизначеностей, що впливають на систему «локомотивна бригада-поїзд». Також передумовами впровадження СППР є наявність фундаментальної наукової бази [111], яка може бути використана спільно з теорією тяги поїздів і теорією автоматичного керування. Спільне використання цих знань дозволяє розробити і ефективно впровадити інтелектуальні елементи в процеси водіння поїздів. І ще однією причиною розвитку інтелектуальних технологій управління тяговим рухомим складом є рівень інформатизації всіх сфер залізничного транспорту, наявність якісної елементної бази, широко поширені системи бездротової передачі даних, наявність спеціального програмного забезпечення.

Основними перевагами локомотивних СППР порівняно з традиційними є [112]:

- наявність загальної бази знань;
- можливість прийняття рішення в умовах невизначеності;
- можливість самонавчання;
- можливість інтегрування в єдиний комплекс управління транспортом в масштабах регіону;
- можливість управління ТРС з точки зору комплексної оцінки ефективності використання всіх засобів транспорту на даній ділянці (плечі, дорозі, мережі доріг).

Однак інтелектуальні системи мають також ряд недоліків, які обумовлені розвитком суміжних галузей техніки: якість і поширеність бездротового зв'язку в умовах СНД знаходиться на низькому рівні, необхідність оснащення існуючих локомотивів додатковим обладнанням,

необхідність створення додаткових серверів та програмного забезпечення, підготовка спеціалізованого обслуговуючого персоналу.

Якщо розглядати світові тренди застосування інтелектуальних технологій, то можна зробити висновок про те, що найбільший ефект виходить при поєднанні використання сучасного обладнання з інтелектуальними системами. Стосовно залізничного транспорту це означає, що впровадження СППР повинно передбачатися на етапі проектування та реконструкції основних об'єктів інфраструктури або транспортних засобів.

З урахуванням того, що існуючі системи автоматичної локомотивної сигналізації розраховані на швидкість руху поїздів лише до 140 км/год., для можливості впровадження швидкісного руху пасажирських поїздів слід застосовувати нові системи. Напрямками вирішення цього питання можуть бути: адаптація Європейської системи управління рухом поїздів (ETCS) рівня 1, яка підключається до існуючих систем автоматичного блокування; будівництво мережі цифрового радіозв'язку стандарту GSM-R, який містить безпечний цифровий канал зв'язку з рухомими об'єктами, із застосуванням Європейської системи управління рухом поїзда (ETCS) рівня 2; розроблення вітчизняної системи багатозначної автоматичної локомотивної сигналізації (далі – АЛС).

При управлінні конфігурацією програмного забезпечення повинно виконуватися :

а) застосування адміністративного та технічного контролю на всьому протязі циклу забезпечення безпеки для управління змінами програмного забезпечення і підтвердження того, що вимоги, що пред'являються до безпеки програмного забезпечення, продовжують виконуватися;

б) забезпечення виконання операцій, необхідних для підтвердження досягнення заданого рівня повноти безпеки програмного забезпечення;

в) точне збереження з однозначною ідентифікацією всіх елементів конфігурації, необхідних для збереження заданого рівня повноти безпеки.

г) використання процедури управління змінами для запобігання несанкціонованих модифікацій, у тому числі для:

- складання заявки на модифікацію,
- аналізу впливу запропонованої модифікації і схвалення або відмови від заявки,
- складання документації на модифікацію і вирішення всіх затверджених модифікацій,
- встановлення базових положень конфігурації на відповідних етапах розробки програмного забезпечення та складання документації на (часткові) компонувальні випробування, які підтверджують ці базові положення,
- гарантування об'єднання і компонування всіх підсистем програмного забезпечення.

Життєвий цикл програмного забезпечення, пов'язаного з безпекою являє собою певні етапи і процеси, що виконуються протягом періоду часу, починаючи з моменту задуму програмного забезпечення і до того моменту, коли використання програмного забезпечення повністю припиняється.

У діяльність, пов'язану з життєвим циклом забезпечення безпеки, повинні бути включені процедури гарантування якості та безпеки. Кожен етап життєвого циклу забезпечення безпеки повинен бути розділений на елементарні дії. Повинні бути визначені вхідні і вихідні дані для кожного етапу життєвого циклу.

#### 4.1.1 Рівні повноти безпеки програмного забезпечення.

Визначення рівнів повноти безпеки для систем залізничного застосування базуються на відомостях:

- а) про всі можливі небезпечні стани в системі, при всіх режимах експлуатації, технічного обслуговування і станах навколишнього середовища;
- б) про показники кожного небезпечного стану, що виражають тяжкість її наслідків;

в) про безпеку і відмовах, пов'язаних з безпекою, заснованих на:

- всіх видах системних відмов, які можуть призвести до небезпечного стану,
- ймовірності виникнення виду відмови, пов'язаного з безпекою,
- послідовності та (або) одночасності подій, відмов, режимів роботи, умов навколишнього середовища і т. д. застосування, які можуть призвести до аварії,
- ймовірності, з якою кожна з цих подій, відмов, режимів роботи, умов навколишнього середовища і т. д. застосування відбувається;

г) про ремонтпридатності всіх пов'язаних з безпекою частин системи, яка ґрунтується на:

- простоту, з якою може проводитися технічне обслуговування частини системи або її компонентів, пов'язаних з небезпечним станом,
- ймовірності помилки при технічному обслуговуванні частин системи, пов'язаних з безпекою,
- часу, що необхідний для відновлення безпечного стану;

д) про процеси експлуатації системи і технічному обслуговуванні пов'язаних з безпекою частин системи, які ґрунтуються на:

- вплив людського фактора на ефективне технічне обслуговування всіх пов'язаних з безпекою частин системи і безпечну експлуатацію системи,
- засоби і методи для ефективного технічного обслуговування,
- усіх, пов'язаних з безпекою, частинах системи і її безпечної експлуатації,
- контролі і заходах виключення небезпечних станів і зменшення їх наслідків.

Відмови в системі, експлуатованій в заданих умовах застосування та навколишнього середовища, впливають на поведінку системи. Всі відмови негативно позначаються на надійності системи, однак тільки деякі специфічні відмови надають негативний ефект на безпеку при конкретному застосуванні.

Навколишнє середовище може впливати як на працездатність системи, так і на безпеку застосування на залізниці.

На підставі результатів процедури оцінки ризику для системи, пов'язаної з безпекою, повинні бути визначені вимоги до рівня повноти безпеки [113]. Рівень повноти безпеки може розглядатися як комбінація статистично досліджуваних елементів, принципово пов'язаних з апаратним забезпеченням (тобто випадкові відмови) і статистично не досліджуваних елементів (принципово пов'язаних з систематичними відмовами в програмному забезпеченні).

Зовнішні кошти і кошти власне системи, призначені для зниження ризику, повинні забезпечувати потрібну зниження ризику для системи, щоб забезпечувати заданий рівень повноти безпеки.

Впевненість у досягненні рівня повноти безпеки може досягатися за допомогою ефективної комбінації спеціальних систем, методів, засобів і технічних прийомів. Повнота безпеки відноситься до ймовірності відмови, яка забезпечує досягнення необхідної достовірної працездатності (надійності). Високі вимоги щодо безпеки можуть здійснюватися, як правило, тільки з додатковими витратами.

Повнота безпеки специфікується для функцій безпеки. Ці функції повинні бути призначені системі безпеки і/або зовнішнім засобів для зниження ризику. Це призначення відбувається ітеративно, беручи до уваги оптимізацію розробки та вартості всієї системи.

Необхідний рівень повноти безпеки повинен бути визначений на основі рівня ризику, пов'язаного з використанням ПЗ в системі та рівнем безпеки системи.

Ризик може бути визначений як чисельно певна ймовірність або комбінація чисельно певних ймовірностей, але рівень безпеки не може бути визначений таким чином, так як відмови мають систематичний характер

## 4.2 Формулювання основних завдань локомотивних СППР.

Для ефективного використання інтелектуальних систем в локомотивному господарстві потрібно визначити основні задачі для програмного забезпечення, за допомогою якого ці системи будуть розроблятися. Відмінностями в роботі транспортних СППР є:

- обмеженість часу на прийняття рішень;

- надширокий спектр поточних ситуацій, в яких опиняється локомотивна бригада як суб'єкт керування;

- велика кількість об'єктів керування (локомотивів), на яких потрібно оновлювати актуальні бази знань;

- дуже висока ціна невірної рішення;

- адаптивність під різні умови поїзної роботи та зміни в нормативній документації.

Інтелектуальна інформаційна система для локомотивних бригад заснована на концепції використання бази знань для генерації алгоритмів вирішення задач ефективного керування локомотивом, розпізнавання та сигналізації про небезпечну ситуацію, збирання статистичних даних.

Для цієї системи характерні такі ознаки:

- розвинені комунікативні здібності - спосіб взаємодії кінцевого користувача з системою;

- вміння вирішувати складні завдання, що погано формалізуються, які вимагають побудови оригінального алгоритму рішення в залежності від конкретної ситуації, що характеризується невизначеністю і динамічністю вихідних даних і знань;

- здатність до самонавчання - вміння системи автоматично витягати знання з накопиченого досвіду і застосовувати їх для вирішення задач;

- адаптивність - здатність системи до розвитку у відповідності з об'єктивними змінами галузі знань [114].

Зовнішнім середовищем для залізничного підприємства є фактори, які визначаються економічними умовами, поведінкою споживачів, зміною урядових актів, законів, діяльністю конкуруючих організацій, розвитком техніки, технології та інших складових, які постійно змінюються. Взаємопов'язані чинники зовнішнього середовища чинять вплив на все, що відбувається всередині організації.

Внутрішнє середовище залізничного підприємства – це цілі, завдання, люди і технологічні процеси – все, що визначає результат діяльності залізничного підприємства. Всі внутрішні змінні взаємозв'язані і у своїй сукупності являють собою організаційно-технічну систему з управлінням. Зміна однієї з них у визначеній мірі впливає на всі інші.

На сьогоднішній день задача керування на залізничному транспорті вирішується як загальна задача прийняття рішень. Загальна задача прийняття рішень виникає тоді, коли множина альтернатив, з яких здійснюється вибір, може доповнюватися, а принцип вибору або правило, за яким здійснюється вибір кращої альтернативи, не формалізовано [115]. Це ситуація, коли спочатку формується множина альтернатив керуючої дії, а потім з множини варіантів вибирається одна з альтернатив. Вибір найкращої альтернативи виробляється на основі суб'єктивних переваг особи, що приймає рішення (ОПР). У цьому випадку ОПР може змінювати своє управлінське рішення при знаходженні нової альтернативи.

Загальна задача прийняття рішення на залізничному транспорті з урахуванням дотримання графіка руху і технічних норм, економії паливо-енергетичних ресурсів, з урахуванням виконання кількісних і якісних планових показників комплексності обслуговування та економічної ефективності перевезень є неструктурованою завданням. Ця задача характеризується наступними рисами:

- є завданням унікального вибору, тобто кожен варіант перевезення володіє новою особливістю перед відомим раніше перевезенням чи є взагалі новою проблемою;

- на момент вирішення проблеми є невизначеність в оцінках альтернативних варіантів її вирішення, тобто вихідні дані для породження альтернатив керуючої дії;
- оцінки отримані на основі суб'єктивних міркувань.

#### 4.3 Програмна реалізація алгоритму випадкового пошуку з адаптацією ознак поїзної ситуації.

Реалізація алгоритму пошуку з адаптацією виконана з використанням програмного пакету Microsoft Visual Studio. Мова програмування C#.

Алгоритм роботи програми являє собою наступну послідовність:

- введення матриці  $(C, W)$ , що визначає образи поїзних ситуацій ( $C$  – множина поїзних ситуацій,  $W$  – множина ознак поїзних ситуацій) – бази образів;
- введення величини випадкової вибірки  $D$ , що описує кількість ознак, які будуть перевірятися на інформативність в подальшому;
- введення  $S$  - кількості ітерацій для визначення мінімальної відстані для вибірок потужністю  $D$ ;
- введення контрольної послідовності, що являє собою матрицю з розмірністю бази образів. Це набір даних, що подано на вхід системи, розпізнані як окремі поїзні ситуації, вектори ознак яких знаходиться в близькості від векторів, що описують образи ситуацій із бази образів;
- отримання випадкової множини, що включає в себе  $D$  елементів в інтервалі від 0 до 1;
- визначення множини ознак, що відповідають множині точок  $D$  на одиничному відрізку, елементи якого визначають окремі ознаки поїзної ситуації;
- визначення евклідової відстані між ознаками, що визначають першу поїзну ситуацію в базі образів, та ознаками, що визначають її в контрольній послідовності;



повторити цю процедуру для всіх поїзних ситуацій в базі образів (БО), отримавши сумарну евклідову відстань для даного набору ознак;

повторити отримання випадкового набору ознак та визначення для нього сумарної евклідової відстані;

визначити мінімальну величину з  $S$  відстаней, отриманих в результаті проведення ітерацій;

поставити у відповідність визначеній мінімальній величині набір ознак, що забезпечив таку відстань;

величини ділянок на одиничному відрізку збільшуються за рахунок довжини тих ділянок, що прив'язані до ознак, що отримали максимальне значення евклідової відстані від набору ситуацій в БО;

процес повторюється до виконання завданої умови. Умовою може бути перевищення довжини ділянки окремої ознаки (або сумарної довжини ділянок набору ознак) визначеної величини.

В результаті наведеного алгоритму визначається набір ознак, що найкраще характеризують наведену множину поїзних ситуацій, тобто найінформативніших.

#### 4.4 Експериментальне дослідження ефективності запропонованої моделі визначення напруженості роботи машиніста.

Увага характеризується кількома чинниками обсягом, тобто кількістю об'єктів, що одночасно охоплюються. Вважається, що можна одночасно охопити 4-6 і навіть 8 об'єктів; розподілом, що полягає у здатності людини тримати в центрі уваги кілька об'єктів або одночасно виконувати два і більше дій, досягаючи при цьому успішного результату. Машиністу часто доводиться одночасно дивитися, оцінювати ситуацію, а іноді ще й слухати вказівки по рації та діяти. Практично він повинен сприймати мінливу обстановку (особливо на станції), оцінювати її, виконувати необхідні керуючі дії, прогнозувати розвиток поїзної обстановки на найближчий час. Переключення

уваги у різних людей неоднакова і залежить від досвіду людини, темпераменту та тренованості, що визначають її поведінку в критичних ситуаціях. Швидке перемикання уваги - необхідна умова надійної роботи машиніста, вона обумовлена інтенсивністю або концентрацією, тобто ступенем напруги при сприйнятті об'єкта: чим більша інтенсивність уваги, тим повніше і виразніше сприйняття. Є ще один фактор, внаслідок якого відбувається втрата уваги – це втома. Причин втоми багато. Насамперед - це організаційні чинники, пов'язані із затримками поїздів біля закритих сигналів, тривалим (більше норми) відпочинком в оборотних депо, раннім викликом в основне депо, коли до поїздки люди просиджують годинами (особливо небезпечно в нічний час), великою кількістю понаднормових годинників роботи. Потім причини фізіологічні - порушення добового ритму, режиму харчування тощо. буд. Нарешті, втоми сприяють психологічні чинники - такі як відповідальність, занепокоєння, відсутність підтримки помічника машиніста тощо.

Фізіологічний та психологічний стреси, як і хронічні захворювання, особливо часто спостерігаються у березні та вересні. А. Л. Чижевський та його послідовники пов'язують це з весняним та осіннім місяцями сонячної активності. Як показує аналіз, стійкість машиніста до стресу багато в чому визначається його ставленням до власного здоров'я та взаємовідносинами з оточуючими, підвищенню її сприяють фізична праця, хороший мікроклімат вдома та на роботі, професійна підготовка, загартовування тощо.

Крім внутрішніх властивостей машиністів на якість керування впливає напруженість його роботи, що характеризується зовнішніми обставинами, такими як період доби, кількість та значення сигналів, погодні умови, стан колії і таке інше. Наприклад, при рушанні поїзда на підйомі інтенсивність уваги повинна бути вищою, ніж при рушанні на станції, а інтенсивність при рушанні на станції - вище, ніж при веденні поїзда по перегону. Тому оцінка параметру напруженості та експериментальне визначення його величини є важливим завданням, що визначить нові шляхи підвищення безпеки руху.

Для вирішення цієї задачі в роботі проведено експериментальні дослідження керуючої діяльності машиніста в різних обставинах.

Умови проведення експерименту.

Експеримент проведено на тренажерному комплексі для підготовки машиністів локомотивів в Державному університеті інфраструктури та технологій. Тренажер являє собою програмно-апаратний комплекс, що містить реальну кабінину машиніста зі всіма органами керування поїздом, мультимедійний проектор та екран, програму-тренажер, що виводить на екран реальну ділянку залізниці від станції Київ-Пасажирський до станції Фастів (рис. 4.1, 4.2).



Рисунок 4.1 – Вигляд пульта тренажерного комплексу



Рисунок 4.2 – Вигляд екрану тренажерного комплексу

Програма має можливість відслідковувати такі параметри ведення поїзду:

- час поїздки;
- поточна швидкість;
- витрати енергоресурсів на тягу;
- поточне положення органів керування;
- поточний профіль колії;
- значення сигналів.

Також система має можливість моделювати виникнення нештатних ситуацій під час ведення поїзду.

Програма експерименту.

1. Фіксація характеристик людини-оператора (машиніста локомотива):



прізвище, ім'я, по батькові; вік; стаж роботи; класність; психо-фізіологічні показники машиніста (за даними обстежень, що є в депо).

2. Розбиття поїздки, що закладена в програму-тренажер на типи поїзних ситуацій в залежності від положення поїзду на перегоні.

3. Фіксація дій машиніста під час поїздки шляхом відмітки моментів зміни положення органів керування локомотивом (переведення рукояток контролера, крана машиніста, подачі сигналів, використання педалі пісочниці, натискання на рукоятку пильності).

4. Обробка окремих поїздок для визначення періодів знаходження машиніста в тій або іншій поїзній ситуації, або в декількох поїзних ситуаціях одночасно.

5. Аналіз керуючих дій машиніста та приведення їх до відповідних поїзних ситуацій.

6. Розрахунок відносної кількості суттєвих операцій керування для  $i$ -ї ситуації.

7. Обчислення загальної напруженості режиму роботи машиніста та нормалізація цього параметру.

В результаті виконання програми експерименту необхідно отримати нормалізовану величину напруженості роботи машиніста, значення якої знаходиться в інтервалі  $[0;1]$ , де 0 – мінімальна напруженість в роботі.

Аналіз результатів експериментів.

В розділі 3 отримано значення ваги поїзних ситуацій в критерії «Режим руху, що потребує невідкладних дій» (табл. 3.4). Цей режим руху є одним з показових з точки зору дотримання безпеки руху, тому порівняння результатів експериментальних поїздок будемо проводити на прикладі цих даних. Для цього проведемо ранжування за вагою наведених в таблиці 3.4 вагових коефіцієнтів (рис. 4.3)

Протягом експериментальних поїздок було запрошено 9 діючих машиністів. Результати експерименту представлено в табл. 4.3.

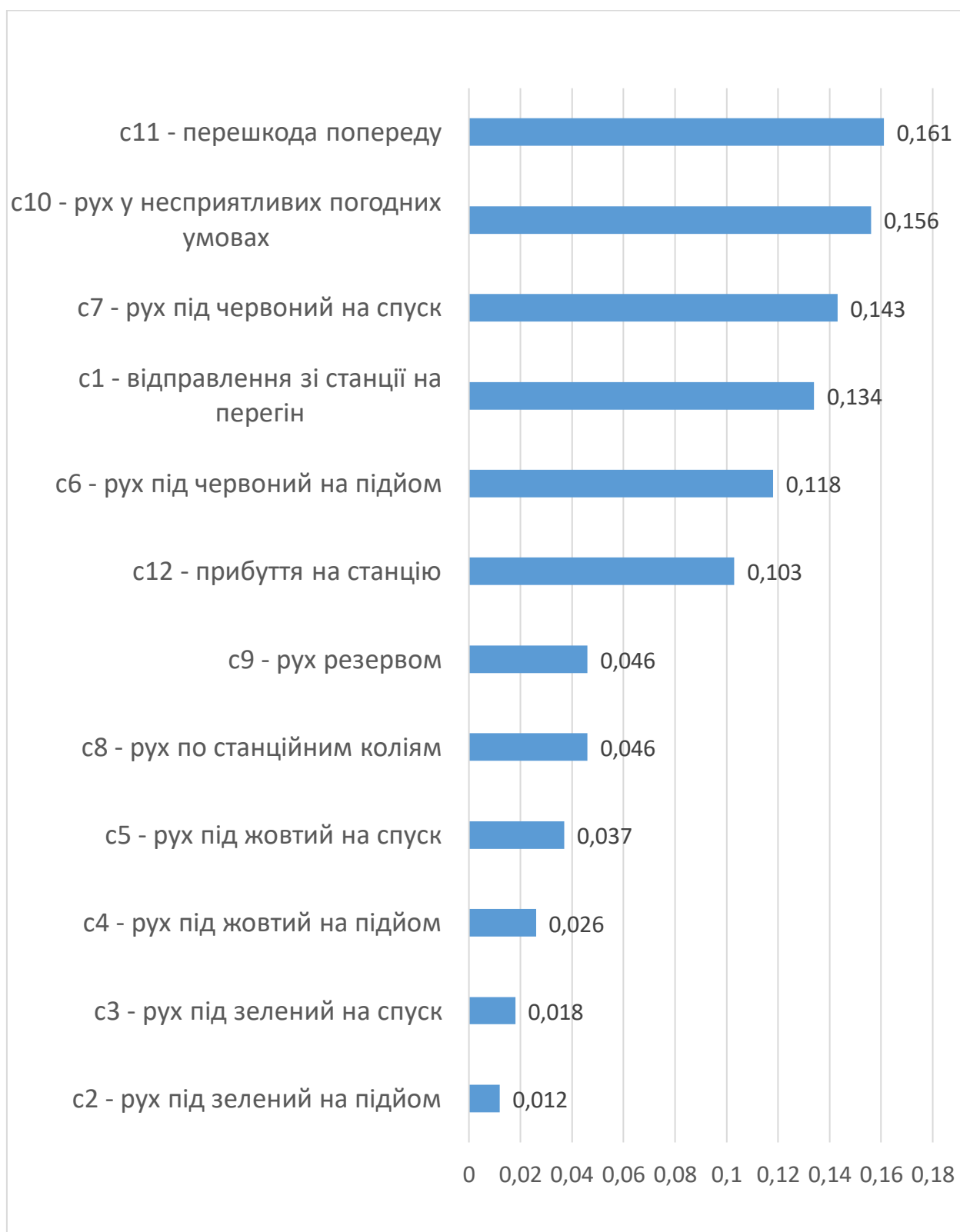


Рисунок 4.3 Ранжування поїзних ситуацій за значенням вагових коефіцієнтів для режиму руху, що потребує невідкладних дій.

Таблиця 4.1 Розподіл величини напруженості роботи по ситуаціях за даними експерименту.

№ з/п	Конфігурація поїзної ситуації	Машиніст 1	Машиніст 2	Машиніст 3	Машиніст 4	Машиніст 5	Машиніст 6	Машиніст 7	Машиніст 8	Машиніст 9	Середнє
1	«відправлення зі станції на перегін»	0,33	0,45	0,47	0,72	0,56	0,44	0,48	0,63	0,48	0,51
2	«рух під зелений на підйом»	0,05	0,06	0,1	0,13	0,09	0,09	0,15	0,25	0,17	0,12
3	«рух під зелений на спуск»	0,09	0,1	0,22	0,17	0,07	0,07	0,1	0,09	0,11	0,11
4	«рух під жовтий на підйом»	0,15	0,11	0,18	0,31	0,17	0,26	0,25	0,11	0,18	0,19
5	«рух під жовтий на спуск»	0,13	0,22	0,21	0,23	0,51	0,18	0,22	0,19	0,27	0,24
6	«рух під червоний на підйом»	0,31	0,45	0,39	0,44	0,53	0,5	0,32	0,71	0,42	0,45
7	«рух під червоний на спуск»	0,52	0,45	0,63	0,34	0,66	0,48	0,73	0,88	0,41	0,57
8	«рух по станційним коліям»	0,22	0,36	0,34	0,21	0,3	0,22	0,18	0,36	0,25	0,27
9	«рух резервом»	0,24	0,31	0,12	0,42	0,3	0,21	0,18	0,3	0,34	0,27
10	«рух у несприятливих погодних умовах»	0,75	0,6	0,8	0,77	0,56	0,74	0,91	0,48	0,63	0,69
11	«перешкода попереду»	0,7	0,88	0,92	0,74	0,62	0,63	0,71	0,9	0,87	0,77
12	«прибуття на станцію»	0,48	0,29	0,46	0,36	0,4	0,26	0,36	0,41	0,5	0,39

Для аналізу розрахункового і експериментального значення параметру напруженості поїзної ситуації виконаємо ранжування отриманих даних з таблиці 4.1 (рис. 4.4).

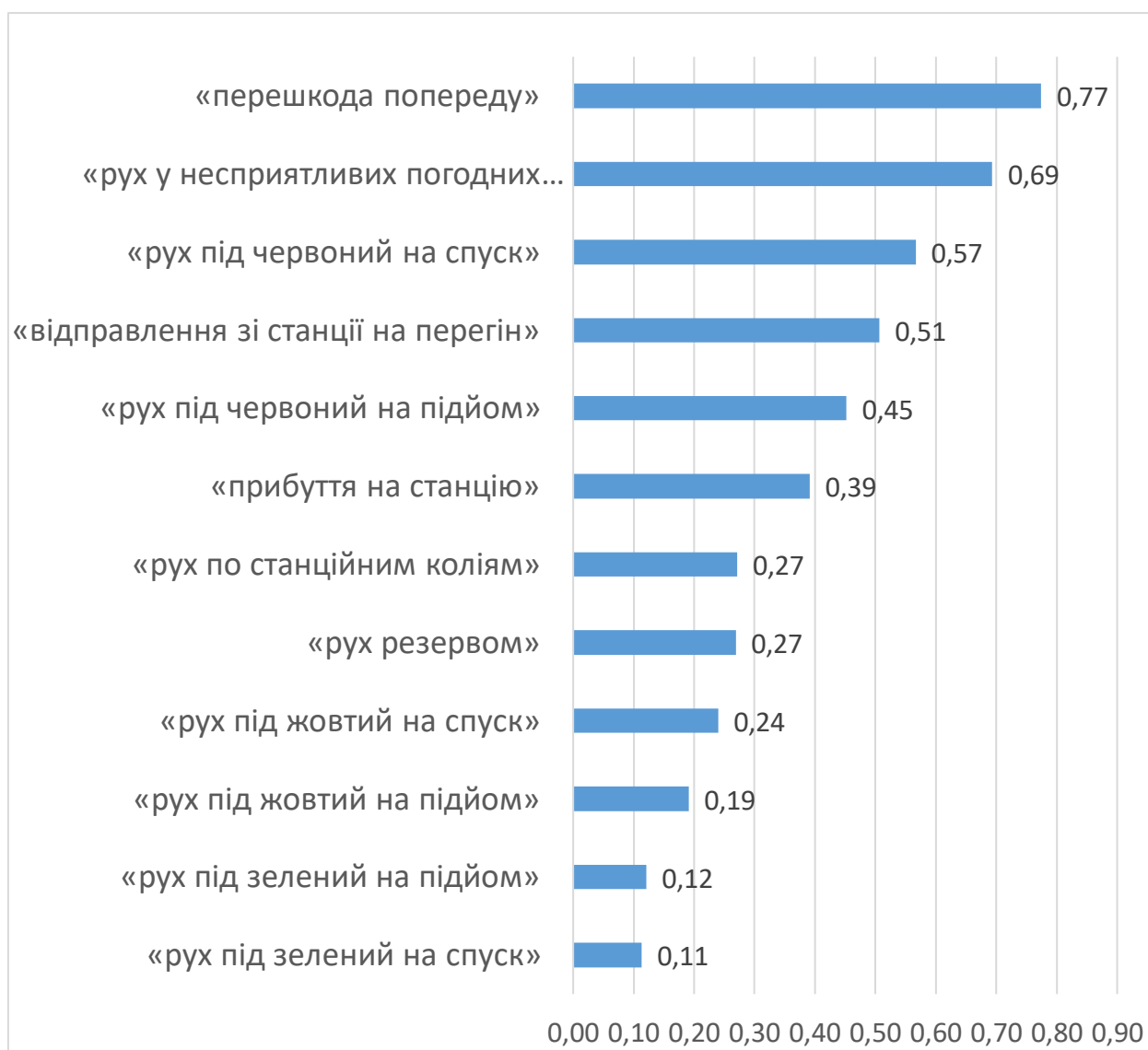


Рисунок 4.4 Ранжування поїзних ситуацій за параметром напруженості роботи машиніста.

Також при проведенні експерименту отримано дані параметру напруженості роботи машиніста в умовах, коли він одночасно знаходиться у декількох складних ситуаціях (табл .4.2).

Наведені на рисунках 4.3 і 4.4 дані свідчать про достатню адекватність розробленої моделі визначення напруженості роботи машиніста. Похибка розрахункових і експериментальних даних у перерахунку на відносні одиниці не перевищує 16%.



Таблиця 4.2 Розподіл величини напруженості роботи в складних ситуаціях за даними експерименту.

№ з/п	Конфігурація поїзної ситуації	Машиніст 1	Машиніст 2	Машиніст 3	Машиніст 4	Машиніст 5	Машиніст 6	Машиніст 7	Машиніст 8	Машиніст 9	Середнє
1	«відправлення зі станції на перегін» «рух у несприятливих погодних умовах»	0,54	0,56	0,71	0,53	0,53	0,66	0,42	0,62	0,4	0,55
2	«рух під жовтий на підйом» «рух у несприятливих погодних умовах»	0,74	0,65	0,71	0,54	0,53	0,64	0,72	0,82	0,71	0,67
3	«рух під жовтий на спуск» «перешкода попереду»	0,9	0,91	0,87	0,8	0,9	0,74	0,65	0,91	0,8	0,83
4	«прибуття на станцію» «перешкода попереду»	0,9	0,88	0,94	0,76	0,84	0,82	0,79	0,91	0,88	0,86

#### 4.5 Економічна доцільність впровадження локомотивних СППР.

Для підвищення якості керуючих рішень машиніста локомотива запропоновано низку заходів. Для практичної реалізації цього завдання необхідно розробити алгоритми роботи системи підтримки рішень, розробити та провести тестування програмного забезпечення (що складається з бортової та серверної частин), встановити додаткове обладнання на локомотиві для збирання інформації про оточуюче середовище, технічні параметри та стан локомотива, положення поїзда на перегоні [116].

При впровадженні вказаних заходів в локомотивному господарстві необхідно визначати економічну ефективність.

Питання про доцільність створення та використання локомотивних систем підтримки прийняття рішень вирішується на основі розрахунку економічного ефекту, що визначається на річний обсяг виробництва нової техніки або річний обсяг роботи, виконуваної за допомогою нової техніки в розрахунковому році.

Як розрахунковий рік приймають перший рік після закінчення планованого (нормативного) строку освоєння СППР. Річний економічний ефект від впровадження нової техніки, винаходів і раціоналізаторських пропозицій являє собою сумарну економію всіх видів виробничих ресурсів, одержувану в результаті виробництва та експлуатації нової техніки.

Величина річного економічного ефекту визначається як різниця приведених витрат по базовій (існуючій) і новій техніці.

Приведені витрати розраховуючи на одиницю продукції визначаються так

$$Z = C + E_n K, \quad (4.1)$$

де  $C$  - собівартість одиниці продукції (роботи), грн.;

$E_n$  - нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень, що приймається рівним 0,15;

$K$  - питомі капітальні вкладення у виробничі фонди, грн.

Річний економічний ефект визначають на стадіях наукового дослідження, розробки, впровадження та використання інтелектуальних систем. Для одержання точних і достовірних результатів варто правильно приймати базу порівняння: повинні бути прийняті показники кращої техніки вітчизняного або закордонного виробництва.

При визначенні річного економічного ефекту системи підтримки рішень для машиніста потрібно використати:

на етапі науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт, а також при ухваленні рішення про впровадження системи у виробництво - проектні, нормативні та планові показники;

при розрахунку фактичного економічного ефекту - звітні дані, що відбивають реально сформовані витрати та обсяги виробництва.

По способу розрахунку економічного ефекту різні види нової техніки можна об'єднати в чотири групи.

До першої групи нової техніки відносяться нові технологічні процеси, механізація та автоматизація виробництва та праці, що забезпечують економію виробничих ресурсів при випуску однієї та тої ж продукції. До другої групи - засоби праці довгострокового застосування (локомотиви, вагони, машини, прилади та т.п.) з поліпшеними якісними характеристиками (продуктивність, довговічність, витрати експлуатації та т.п.), до третьої групи - нові або вдосконалені предмети праці (матеріали, заготівлі, сировина, паливо), до четвертої групи - принципово нова продукція, що не має аналога, а також продукція підвищеної якості.

Систему підтримки рішень, що забезпечує підвищення рівня безпеки руху та собівартості перевезень віднесемо до другої групи нової техніки. Економічний ефект від створення та експлуатації нової техніки, що відноситься до другої групи, визначається за термін її служби на річний обсяг випуску нової техніки

$$E = \left[ \frac{3_1 B_2}{B_1} \frac{P_1 + E_n}{P_2 + E_n} + \frac{(O_1 - O_2) - E_n (K'_2 - K'_1)}{P_2 + E_n} - 3_2 \right] A_2 \quad (4.2)$$

де  $3_1, 3_2$  — наведені витрати на виробництво (виготовлення) одиниці базової та нової техніки, грн.;

$B_1, B_2$  - річні обсяги продукції (перевезень, робіт), виробленої при використанні одиниці відповідно базового й нового засобу праці, натуральні одиниці;

$B_2/B_1$  - відношення, що враховує ріст продуктивності одиниці нової техніки в порівнянні з базовою;

$P_1, P_2$  - норми щорічних відрахувань від балансової вартості на повне відновлення базового та нового засобів праці, що визначаються як величини, зворотні термінам служби, з урахуванням морального зношування, частки одиниці;

$O_1, O_2$  - річні експлуатаційні витрати споживача (залізничного транспорту) з урахуванням зміни витрат інших галузей народного господарства розраховуючи на обсяг продукції (перевезень, роботи), виробленої за допомогою нового засобу праці, грн. Ці витрати враховують амортизаційні відрахування, призначені на капітальний ремонт засобів праці, а також витрати по утриманню, поточному ремонту та амортизації технічних засобів, що створюються за рахунок супутніх капітальних вкладень споживача, грн.;

$K'_1, K'_2$  - супутні капітальні вкладення споживача (залізничного транспорту) і інших галузей народного господарства, необхідні для забезпечення нормальної експлуатації базової та нової техніки розраховуючи на обсяг продукції (перевезень, роботи), виробленої за допомогою нового засобу праці, грн.;

$A_2$  - обсяг виробництва (кількість експлуатованих на залізничному транспорті) нових засобів праці в розрахунковому році, натуральні одиниці.

Якщо базова та нова техніка (локомотиви, вагони, апаратура та т.п.) розрізняється по ступеню надійності та імовірності випадкових відмов, то продуктивність базової та нової техніки (обсяги перевезень, робіт) обчислюється з урахуванням середньорічного часу простою, що викликається випадковими відмовами, а в поточні витрати, крім витрат на відновлення працездатності (проведення ремонту) виробів, включають втрати від браку, простою встаткування, перерви в русі поїздів.

У складі капітальних вкладень виготовлювачів і споживачів техніки, крім безпосередніх капітальних вкладень в об'єкти базової та нової техніки, ураховують: витрати на науково-дослідні та дослідно-конструкторські роботи, на випробування та доробку дослідних зразків, витрати на придбання,

доставку, монтаж, демонтаж, технічну підготовку, налагодження виробництва; витрати на поповнення оборотних фондів, пов'язаних зі створенням і використанням нової техніки; вартість необхідних виробничих площ і інших елементів основних фондів, безпосередньо пов'язаних з виробництвом і використанням базової та нової техніки; витрати на технічні заходи та пристрої, що запобігають негативним наслідкам впливу експлуатації техніки на природне середовище, а також на умови праці (запобігання травматизму, зниження шуму, підтримка кліматичних умов і т.д.); збиток (зі знаком "плюс") або прибуток (зі знаком "мінус") від виробництва та реалізації продукції в період освоєння виробництва, що передував розрахунковому року.

Супутні капітальні вкладення містять у собі одноразові витрати залізничного транспорту та інших галузей народного господарства, пов'язані із застосуванням базового та нового засобів виробництва. Наприклад, при заміні локомотивів новими може виникнути необхідність у реконструкції депо, заміни діючого підйомно-транспортного встаткування новим.

В результаті аналізу економічної доцільності впровадження інтелектуальних систем на локомотивах складено таблицю 4.3

Структура витрат на впровадження систем підтримки рішень на локомотивах наведена в таблиці 4.4

Таблиця 4.3 –Економічний ефект від впровадження системи підтримки прийняття рішень на локомотиві

Найменування показника	Одиниця виміру	Величина	Економія в грн./рік
Зменшення кількості випадків невиконання графіку руху поїзду	% на 1 локомотив	3,5	2650
Зниження впливу людського фактору на безпеку руху у вигляді зменшення транспортних подій.	% на 1 локомотив	45	4900
Економія електроенергії на тягу поїздів	% на 1 локомотив	0,2	26000

Зменшення витрат на обслуговування і ремонт локомотивів за рахунок удосконалення керування	% на 1 локомотив	4,5	5500
Покращення умов праці локомотивних бригад			
Всього економія на 1 локомотив за 1 рік 39050 грн.			

Таблиця 4.4 – Розрахунок витрат на впровадження системи підтримки прийняття рішень для машиністів (на один локомотив).

Найменування показника	Величина витрат, грн
Бортова ЕОМ	13000
Інтерфейсна частина	3350
Датчики	21000
Допоміжні елементи	2500
Програмне забезпечення	7000
Вартість монтажу та налагодження системи	11000
Вартість навчання обслуговуючого персоналу	1350
Вартість поточного обслуговування системи	2650
Загальні витрати на обладнання одного локомотива	61850

Таким чином термін окупності запропонованих заходів становить

$$T = \frac{B_{\epsilon}}{E_{\epsilon}} \quad (4.3)$$

де  $E_{\epsilon}$  – річна ефективність впровадження системи на локомотиві, грн;

$B_{\epsilon}$  – загальна вартість впровадження системи на один локомотив, грн.

Тоді термін окупності запропонованої системи складе 1,6 роки.

#### Висновки по розділу 4.

1. Використання СППР на тяговому рухомому складі має свої перспективи та потребує вдосконалення існуючого програмного забезпечення керування локомотивом та розробки нового. При цьому необхідно враховувати обмеження, що накладаються умовами роботи на залізничному транспорті та в яких доведеться працювати системі.

2. Перспективність систем підтримки прийняття рішень для локомотивних бригад обумовлена кількома причинами. Перша з них полягає в тому, що управління локомотивом на основі традиційних технологій не може забезпечити істотне підвищення ефективності експлуатації. Удосконалення алгоритмів адаптивного керування призводить до їх значного ускладнення і труднощі реалізації безпосередньо на борту локомотива. При цьому не враховується ряд невизначеностей, що впливають на систему «локомотивна бригада-поїзд».

3. Основними причинами розвитку інтелектуальних технологій управління тяговим рухомим складом є рівень інформатизації всіх сфер залізничного транспорту, наявність якісної елементної бази, широко поширені системи бездротової передачі даних, наявність спеціального програмного забезпечення.

4. Загальна задача прийняття рішення на залізничному транспорті з урахуванням дотримання графіка руху і технічних норм, економії паливо-енергетичних ресурсів, з урахуванням виконання кількісних і якісних планових показників комплексності обслуговування та економічної ефективності перевезень є неструктурованим завданням. Ця задача ускладнена завданням унікального вибору, тобто кожен варіант перевезення має нову особливість перед відомим раніше перевезенням чи є взагалі новою задачею. Також на момент вирішення задачі є невизначеність в оцінках альтернативних варіантів її вирішення.

5. Алгоритм пошуку з адаптацією реалізований в роботі з використанням програмного пакету Microsoft Visual Studio. Мова

програмування C#. Алгоритм роботи програми включає введення матриці, що визначає образи поїзних ситуацій; введення величини випадкової вибірки  $D$ , що описує кількість ознак, які будуть перевірятися на інформативність в подальшому; введення  $S$  - кількості ітерацій для визначення мінімальної відстані для вибірок потужністю  $D$ ; введення контрольної послідовності, що являє собою матрицю з розмірністю бази образів. В результаті роботи програми визначається набір найінформативніших ознак, що найкраще характеризують наведену множину поїзних ситуацій.

6. При проведенні експерименту отримано дані параметру напруженості роботи машиніста в умовах, коли він одночасно знаходиться у декількох складних ситуаціях. Підтверджено, що найбільш напруженими для роботи машиніста є наступні поїзні ситуації: «перешкода попереду» – коефіцієнт напруженості 0,77, «рух у несприятливих погодних умовах» – коефіцієнт напруженості 0,69, «рух під червоний на спуск» – коефіцієнт напруженості 0,57. Наведені дані свідчать про достатню адекватність розробленої моделі визначення напруженості роботи машиніста. Похибка розрахункових і експериментальних даних у перерахунку на відносні одиниці не перевищує 16%.

7. Структура витрат на впровадження систем підтримки прийняття рішень для машиністів складається з витрат на закупку бортової ЕОМ, інтерфейсної частини, низки датчиків, на розробку програмного забезпечення та на монтаж системи на локомотиві. Загальний обсяг витрат на один локомотив складе 61850 грн. Окупність досягається за рахунок зниження впливу людського фактору на безпеку руху у вигляді зменшення транспортних подій, економії електроенергії на тягу поїздів та зменшення витрат на обслуговування і ремонт локомотивів за рахунок удосконалення керування. Термін окупності складає 1,6 роки.



## ВИСНОВКИ.

На основі проведених досліджень можна зробити такі висновки:

1. В результаті дослідження впливу людського фактору на якість керування поїздом встановлено наступне. Основними причинами транспортних подій у локомотивному господарстві є: 23,5% транспортних подій скоїлося з технічних причин, на людський фактор припадає до 80%. Це дає підстави стверджувати про необхідність подальшої роботи з усунення шкідливого впливу людського фактору на безпеку руху.

2. Аналіз методів класифікації та визначення основних підходів до розпізнавання поїзних ситуацій дозволяє розділити їх на кілька груп. За способом завдання показника якості класифікації методи поділяються на евристичні та оптимізаційні. За способом об'єднання – на дивизимні, агломеративні і ітеративні. Для завдання опису та визначення поїзних ситуацій при керуванні локомотивом найбільш доцільно використовувати ієрархічну кластеризацію оснований на алгоритмах з повним зв'язком, що схильні знаходити більш компактні кластери. Це дозволить розширити конкретизувати та спектр можливих ситуацій;

3. Розроблено критерій оцінки керуючих дій при веденні поїзда у вигляді адитивного показника, що дозволило об'єктивно порівнювати та прогнозувати результати керуючих дій та наслідків прийняття невірної рішення. Таким чином можливе удосконалення системи керування рухом шляхом впровадження комплексної оцінки керуючих дій і використання стратегій керування рухом. А саме, виходячи зі структури критерію, змінюючи вагові коефіцієнти можна впровадити три стратегії керування: «мінімальна витрата паливо-енергетичних ресурсів», «підвищення безпеки руху», «безумовне виконання графіку руху».

4. Представлення часткових критеріїв у вигляді нечітких та лінгвістичних змінних дозволило значно розширити коло параметрів при визначенні якості керування поїздом. Так, з'явилась можливість врахувати

прогнозне значення небезпеки, поточну загальну характеристику технічного стану локомотива та окремих його вузлів, прогнозне значення витрати палива на поїздку та інше, що було важко зробити при використанні класичних математичних методів.

5. Визначено величини вагових коефіцієнтів для поїзних ситуацій за методом Сааті. Це дозволило вперше отримати кількісне значення небезпечності різних ситуацій. Так ситуаціям  $s_{11}$ (перешкода попереду) та  $s_{12}$ (прибуття на станцію) встановлено найвищу величину вагового коефіцієнту 0,182. Тому вони у подальших розрахунках вважаються найнебезпечнішими, на відміну від ситуацій  $s_2$ (рух під зелений на підйом) та  $s_4$ (рух під жовтий на підйом), для яких ваговий коефіцієнт на перевищує 0,05.

6. При проведенні експерименту отримано дані параметру напруженості роботи машиніста в умовах, коли він одночасно знаходиться у декількох складних ситуаціях. Підтверджено, що найбільш напруженими для роботи машиніста є наступні поїзні ситуації: «перешкода попереду» – коефіцієнт напруженості 0,77, «рух у несприятливих погодних умовах» – коефіцієнт напруженості 0,69, «рух під червоний на спуск» – коефіцієнт напруженості 0,57. Наведені дані свідчать про достатню адекватність розробленої моделі визначення напруженості роботи машиніста. Похибка розрахункових і експериментальних даних у перерахунку на відносні одиниці не перевищує 16%.

7. Для практичної реалізації запропонованих заходів необхідно подальше вдосконалення та модернізація систем діагностики локомотивів, необхідно розвивати бездротові канали зв'язку для обміну інформацією між локомотивом та сервером залізниці. На підставі отриманих теоретичних залежностей можливо розробляти програмне забезпечення, що реалізує систему підтримки прийняття рішень для машиніста. Економічні розрахунки показують, що річний ефект від впровадження запропонованих заходів складе 39050 грн. для одного локомотиву, що дозволить окупити витрати за 1,6 року.

### Список використаних джерел.

1. Gorobchenko O., Nevedrov O. Development of the structure of an intelligent locomotive DSS and assessment of its effectiveness. Archives of Transport. 2020. 56(4), 47-58. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0014.5517>
2. Goolak S., Gubarevych O., Gorobchenko O., Nevedrov O., & Kamchatna-Stepanova K. Investigation of the influence of the quality of the power supply system on the characteristics of an asynchronous motor with a squirrel-cage rotor. Przegląd Elektrotechniczny. 2022. 98(6). 142-148. <https://doi.org/10.15199/48.2022.06.26>.
3. Неведров О. Розвиток теоретичних основ оптимізації та оцінки якості управління тяговим рухомим складом. Транспортні системи і технології. 2020. (36). 24-32. <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2020-36-3>.
4. Горобченко О., Слободянюк М., Неведров О. Формалізація поїзних ситуацій при керуванні локомотивом на основі методів нечіткої логіки. Транспортні системи і технології. 2019. (34). 65-70. <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2019-34-1-5>.
5. Горобченко О., Неведров О., Незліна О., Ткаченко В. (2021). Розробка методу кластеризації поїзних ситуацій. Транспортні системи і технології. 2021. (37). 187-195. <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2021-37-18>
6. Національна транспортна стратегія України на період до 2030 року : Схвалена : Розпорядження КМУ від 30.05.10 р. № 430-р. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-%D1%80> (дата звернення: 20.05.2022).
7. Оновлена транспортна стратегія України. Напрямки політики (Підтримка імплементації Угоди про асоціацію та Національної транспортної стратегії України). URL: [https://mtu.gov.ua/files/strategy\\_ukr.pdf](https://mtu.gov.ua/files/strategy_ukr.pdf) (дата звернення: 20.05.2021).
8. Accident Trends - Summary Statistics. URL: <http://safetydata.fra.dot.gov/OfficeofSafety/default.aspx> (дата звернення: 18.10.2022).

9. European Railway Agency. A summary of: 2004 - 2005 EU Statistics on Railway Safety. Valenciennes : European Railway Agency, 2007. 53 p.
10. Evaluation of the Survey to the NSA Network for Common Safety Targets (CSTs), Common Safety Methods (CSMs) and Safety Certificates in the Member States. Valenciennes: European Railway Agency. 2006. 98 p.
11. Winter, J. Safety in numbers: Evaluating Canadian rail safety data URL: <http://www.policyschool.ucalgary.ca/sites/default/files/research/winter-rail-safety-communique.pdf>. (дата звернення: 06.07.2022).
12. Стан аварійності на транспорті в Україні за 2019 рік. Київ : Міністерство інфраструктури України. 2020. 134 с.
13. Моделювання алгоритмів централізованого керування рухом поїздів систем автоведення : методичні вказівки до виконання лабораторної роботи з дисципліни "Гальмові системи ЕРС" / уклад.: В. П. Нерубацький. Харків : УкрДУЗТ, 2016. 34 с.
14. Палант О. Ю., Стаматін В. (2019) Огляд наявних і перспективних систем автоведення поїздів метрополітену. Проблеми економіки. 2 (40), 119-125.
15. Polach O. (2004) Curving and stability optimisation of locomotive bogies using interconnected wheelsets. Vehicle System Dynamics. 41, 53-62.
16. Wang X. Research on Locomotive Energy-saving Control System. In Proceed. of ICEEECS. 2018. 534-537.
17. Li B., Li X., & Long Z. (2020, August). Design of model reference adaptive controller for active guidance system of high speed maglev train. Chinese Control And Decision Conference (CCDC). Hefei, 22-24 August 2020 / IEEE Xplore. 2020. pp. 945-950.
18. LI Y. (2016) On Human Factors in the Design of Locomotive Cab: An Investigation on Drivers' Cognitive and Behavioral Characteristics. In 2nd Asia-Pacific Management and Engineering Conference, Shanghai, 24-25 december 2016 / p. 661-668.

19. Pavlasek P. (2011) Mechatronical Aided Concept (MAC) in Intelligent Transport Vehicles Design. *Advances in Electrical and Electronic Engineering*. 2(3-4). 38-45.
20. Бабанін О. Б., Горобченко О. М. (2014). Моделювання дій локомотивних бригад в ергатичній системі «машиніст-поїзд» за допомогою логіки предикатів. *Збірник наукових праць Донецького інституту залізничного транспорту*, (39), С. 100-107.
21. Dong H., Ning B., Cai B., Hou Z. (2010) Automatic train control system development and simulation for high-speed railways. *IEEE circuits and systems magazine*. 10(2). 6-18.
22. Siahvashi A., Moaveni B. (2010) Automatic train control based on the multi-agent control of cooperative systems. *The Journal of Mathematics and Computer Science*. 1(4). 247-257.
23. Gao S., Dong H., Ning B. (2014) Characteristic model-based all-coefficient adaptive control for automatic train control systems. *Science China Information Sciences*. 57. 1-12.
24. Агаєв Н. А., Кокун О. М., Пішко І. О., Лозінська Н. С., Остапчук В. В., Ткаченко В. В. (2016) *Збірник методик для діагностики негативних психічних станів*. Київ : НДЦ ГП ЗСУ, 234 с
25. Мойсеєнко В. І. (2011) *Методи та моделі підвищення безпеки використання систем керування залізничної автоматики шляхом оперативного виявлення порушень : автореф. дис. д-ра техн. наук : 05.22.20*. Харків, 42 с.
26. Сидорчук Л. А. (2017). *Розвиток теорії і практики проектування систем «людина–машина». Проблеми трудової та професійної підготовки*. 2017. 13 (9). С. 63-68.
27. Горбунова К.М., Літвінчук С.Б., Тайхриб К.А. (2016) *Інженерна психологія : курс лекцій*. Миколаїв : МНАУ. 203 с
28. *Методичні рекомендації щодо видів і порядку проведення психофізіологічних обстежень і добору працівників локомотивних бригад*. №

ЦТ-0109. / Розробники В. М. Самсонкін, В. В. Гончаренко, О. М. Клімова та ін. Київ:Укрзалізниця, 2004. 43 с.

29. Fazlollahtabar H., Saidi-Mehrabad M. Methodologies to optimize automated guided vehicle scheduling and routing problems: A review study. *Journal of Intelligent and Robotic Systems: Theory and Applications*. 2015. 77(3-4), 525-545. <https://doi.org/10.1007/s10846-013-0003-8>.

30. Prakash K. B. (2022) Data science handbook: A practical approach. *Data science handbook: A practical approach*. 453 p. <https://doi.org/10.1002/9781119858010>.

31. Wang, L., Han, M., Li, X., Zhang, N., & Cheng, H. (2021). Review of classification methods on unbalanced data sets. *IEEE Access*. 2021. 9: P. 64606-64628. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3074243>.

32. Duran, B. S., & Odell, P. L. (2013) *Cluster analysis: a survey* (Vol. 100). Springer Science & Business Media.

33. Костенко, О. М., Краєвський, В. М. (2015). Кластерний аналіз як метод ідентифікації однорідності об'єктів інформаційно-аналітичної системи управління. *Accounting & Finance/Oblik i Finansi*. 2015. 68. С. 128-133.

34. Кучер О. Г., Дмитрієв С. О., Попов, О. В., Тишкевич О. В. (2008). Комплексний метод розпізнавання стану ТРДД з використанням нейронних мереж та методів розпізнавання образів. *Авиационно-космическая техника и технология*. 2008. (10), С. 51-61.

35. Гороховатський В. О. (2021) *Методи інтелектуального аналізу та оброблення даних : навч. посіб. Харків : ХНУРЕ*,. 92 с

36. Fayyad U. M. (1996) *Advances in Knowledge Discovery and Data Mining* / U. M. Fayyad, G. Piatetsky-Shapiro, P. Smyth, R. Uthurusamy: AAAI/MIT Press. 611 p.

37. Gersho A. (1992) *Vector Quantization and Signal Compression*. Boston: Kluwer Academic. 760 p.

38. Кобилін, О. А., Творошенко, І. С. (2021). Методи цифрової обробки зображень. Харків : ХНУРЕ, 2021. 124 с
39. Ануфрієв, О.О. (2011) Розробка системи комп'ютерного зору на прикладі системи керування курсором маніпулятора через web-камеру Інформатика, математика, механіка : матеріали та програма науково-технічної конференції, Суми, 18-22 квітня р. Суми : СумДУ, 2011. С. 61.
40. T.B. Sheridan (1995) Analysis, Design and Evaluation of Man-Machine Systems, 735 p.
41. Шевченко, В. В. (2009) Оцінка економічної ефективності заходів з підвищення безпеки руху поїздів. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізничн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. Вип. 28. С. 287–290. – <https://doi.org/10.15802/stp2009/14186>.
42. Grandjean E., Perret E. (1961) Effects of pupil operture and of the time of exposure of the fatigue induced variations of the flicker fusion frequency. Ergonomics. v. 4, № 1. P. 17-23.
43. Rezaei Z., Jalali A., Jalali R., Khaledi-Paveh B. (2018). Psychological problems as the major cause of fatigue in clients undergoing hemodialysis: A qualitative study. International Journal of Nursing Sciences.2018. 5(3), P. 262-267.
44. Smith S. L. (1963)Color coding and visual separability in information displays. Journal of Applied Psychology. 47(6), P. 358–364. <https://doi.org/10.1037/h0041203>.
45. Ванченко Л.В. (2019) Особливості психологічного забезпечення системи управління персоналом на залізничному транспорті : дис. ... канд. псих. наук : 19.00.05. Київ, 307 с.
46. Горобченко О. М., Неведров О. В. (2020) Аналіз та шляхи вдосконалення робочого місця машиніста локомотива. Сучасні інформаційні та комунікаційні технології на транспорті, в промисловості і освіті: тези XIV Міжнародної науково-практичної конференції, м. Дніпро, 15-16 грудня 2020 р. ДУЗТ, с. 50.

47. Брусенцов В. Г., Брусенцов О. В., Бугайченко І. І., Кисельова С. О. (2011) Основи ергономіки : навчальний посібник. Харків : УкрДАЗТ, 145 с.
48. Кабіна машиніста локомотива : пат. 89664 Україна : B61C 17/00. № u 2013 14268 ; заявл. 06.12.2013 ; опубл. 25.04.2014, Бюл. № 8. 4 с.
49. Пульт керування. пат. 65219 Україна : М. 15.03.2007. № 2003065629 ; заявл. 18.06.2003 ; опубл. 15.03.2007, бюл. № 3. 8 с.
50. Пульт керування локомотивом. пат. 11729 Україна : B60K 37/00. № u200504855 ; заявл. 23.05.2005 ; опубл. 16.01.2006, бюл. № 1. 5 с.
51. Remote control system for a locomotive. pat. RE39210 E US : B6 IL 3/00. № 10/374,589 ; filed: feb. 26, 2003 ; date of reissued patent: aug. 1, 2006. 33 p.
52. Locomotive remote control system. pat. AU 2004305547 B2 ; B61L 25/02. № 2004305547 ; Date of Filing: 02.12.2004 ; Pub. Date: 09.06.2005. 15 p.
53. Locomotive remote control system: US 7729818 B2 ; B61L 17/00. № 10/931,391 ; Date of Filing: Sep. 1, 2004 ; Pub. Date: 01.06.2010. 6 p.
54. Trainingssimulator fur OBB-Lokomotive Rh 101/1116. Elek. Bahen, No 11, 2001, p. 468.
55. Kögl, B. (1996) Fahrsimulatoren für die Ausbildung von Triebfahrzeugführern. Elek. Bahnen. № 8, 9. p. 261–266.
56. Hertmann M. (1996) Simulations destützte Ausbildung. Deine Bahn [DB: Deine Bahn]. № 11. p. 652–656.
57. Neue technologiegestützte Ausbildungssysteme. Nahverkehrs–Prax. 1999. № 3. p. 18–19.
58. Мережко В. А. (2000) Про методи створення візуальних імітаторів залізничних тренажерів. Інформаційно–керуючі системи на залізничному транспорті. (3) 119 с.
59. Мямлін С. В., Блохін Е. П., Жижко В. В., Письменний Е. А.. (2006) Обзор конструкций технических засобів для навчання спеціалістів зал. транспорту. Транспорт: Зб. наук. праць ДНУЗТ. Вип. 13. С.108 –117.



60. Блохін Е. П., Евдомах Г. В., Желєзнов К. І. (1997) Тренажер для навчання машиністів безпечним і економічним способом ведення поїздів. *Залізничний транспорт України*. № 2, 3. С. 48–50.

61 Інформаційно-освітнє середовище професійно-технічних навчальних закладів: посібник / Карташова Л. А., Юрженко В. В., Гуралюк А. Г., Липська Л. В., Гуменна Л. С., Зуєва А. Б., Шупік І. М., Росток М. Л., Шевченко В. Л. За наук. ред. Лузана П. Г. Київ: ІПТО НАПН, 2017. 124 с.

62. Паламарчук М. В., Горобченко О.М. (2009) Шляхи покращення процесу підготовки локомотивних бригад за допомогою інформаційних технологій. *Збірник наукових праць ДніЗТ*. Вип.19. С.104 – 108.

63. Moloney, W. J. (2018). *Applying simulation techniques to train railway traction drivers: Doctoral dissertation*. Great Britian, 2018. 309 p.

64. Горобченко, О. М. (2010) Визначення шляхів підвищення ефективності функціонування рухомого складу шляхом створення та дослідження математичної моделі виникнення транспортної події. Тези доповідей 70 Міжнародної науково-практичної конференції "Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту", м. Дніпропетровськ, 15 квіт. 2010 р. ДНУЗТ, 2010. С.50 – 51.

65. Використання тренажерних комплексів у технічному навчанні машиністів тягового та спеціального самохідного рухомого складу України / К. І. Желєзнов, О. М. Заболотний, Є. В. Чабанюк, А. О. Швець, А. С. Акулов. Дніпропетровськ : Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2018. 44 с.

66. Пузир В. Г., Устенко О. В., Крот В.С. (2007) Технічні засоби для виявлення причин транспортних подій. *Зб. наук. праць УкрДАЗТ «Безпека руху та людський фактор на транспорті»*. № 82. С. 173 – 177.

67. Горобченко О. М. (2013) Розробка методики оцінки інформаційного навантаження на локомотивну бригаду. *Збірник наукових праць ДніЗТ*. Вип. 36. С. 141-147.

68. Сафронов О. М. (2010) Підвищення гальмівної ефективності пасажирських вагонів шляхом удосконалення процесів функціонування дискових гальм: дис. канд. наук: 05.22.07. Київ, 203 с.
69. Донченко, А. В., Водянніков, Ю. Я., Шелейко, Т. В. (2011) Оцінка гальмівної ефективності вантажного вагона з урахуванням похибки вимірювань. Зб. наук. праць УкрДАЗТ. 152-160.
70. Serajian R., Mohammadi S., Nasr A. (2019) Influence of train length on in-train longitudinal forces during brake application. *Vehicle system dynamics*. T. 57. No. 2. С. 192–206.
71. Gu, G. Z., Yu, S. F., Wu, H., Zhou, W. H., Kang, L., Chen, R. (2018) Relationship between depressive symptoms and occupational stress in locomotive drivers. *Zhonghua Lao Dong Wei Sheng Zhi Ye Bing Za Zhi*, 36(5), 347–352.
72. Shahbazi, A., Rahmani, N., Abbasi, M., Nabi Amjad, R., Marioryad, H., Khammar, A., Poursadeghiyan, M. (2018) Association between occupational stress and risk factors of cardiovascular disease in locomotive operators. *Iranian Heart Journal*. 19(2).20–26.
73. Пузир В.Г. (2001) Моделювання надійності роботи локомотивних бригад. Зб. наук. праць ХарДАЗТ. Вип.45. С. 19-22.
74. Пузир В.Г., Ремез І.В. (2003) Оцінка надійності операторів людино-машинних комплексів залізничного транспорту. Науково-техн. зб. Комунальне господарство міст: Серія «Архітектура і технічні науки». Вип.47. С. 219-223.
75. ДСТУ 2470-94. Надійність техніки. Системи технологічні. Терміни та визначення. Чинний від 01.01.95. Київ: Держспоживстандарт України. 1994. 13 с.
76. Бочковський, А. П. (2017) Концептуальні аспекти безпеки технічних систем. *Ecological Safety and Balanced Use of Resources*. (1 (15)), С. 105-112.
77. Жуковицький І. В., Скалозуб В. В., Устенко А. Б. (2007) Принципи побудови системи підтримки прийняття рішень і управління вантажними перевезеннями на основі аналітичних серверів АСК ВП УЗ. Вісник

Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. Вип. 17. С. 28-34.

78. Коломицева А. О., Яковенко В. С. (2012) Моделювання процесів оптимального управління логістичними розподільчими системами. Бізнес Інформ. (7), С.18-21.

79. Стоян Ю.Г., Ємець О.О. (1993) Теорія і методи евклідової комбінаторної оптимізації: Монографія. Київ: ІСДО. 188 с.

80. Dauer J. P., Stadler W. A (1986) Survey of vector optimization in infinite-dimensional spaces, Part 2. J. of Optimization Theory and Applications. 51, No 2. P. 205–241.

81. Боровська Т. М., Колесник І. С., Северілов В. А. (2009) Метод оптимального агрегування в оптимізаційних задачах. Монографія. Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 229 с.

82. Gopfert A., Tammer Chr., Riahi H., Zalinesku C. (2003) Variational methods in partially ordered spaces. New York; Berlin; Heidelberg: Springer, 350 p.

83. Воронін А. М., Зіатдінов Ю. К., Козлов О. І., Чабанюк В. С. (1999) Векторна оптимізація динамічних систем. Київ: Техніка, 284 с.

84. Моделі й методи прийняття рішень: навч. посіб. / С.А. Ус, Л.С. Коряшкіна. Дніпро: НГУ, 2014. 300 с.

85. Семенова Н.В. (2009) Векторні задачі дискретної оптимізації на комбінаторних множинах: методи дослідження та розв'язання. Монографія. Київ: Наукова думка, 266 с.

86. Теслюк В.М., Загарюк Р.В. (2012) Методи багатокритеріальної оптимізації: Ч.1. Конспект лекцій з курсу «Методи багатокритеріальної оптимізації» для студентів спеціальності 8.05010103 «Системне проектування». Львів: Видавництво Національного університету Львівська політехніка, 64 с.

87. Пузир В. Г. (2005) Наукові основи удосконалення технології передрейсової підготовки локомотивів та локомотивних бригад: автореф. дис. д-ра техн. наук: 05.22.07 - Харків, 28 с.

88. Пузир В.Г. (2005) Методика розрахунку надійності технічної ергатичної системи машиніст-локомотив. Зб. наук. праць УкрДАЗТ. Вип. 66. С. 92 – 98.

89. Горобченко О.М., Черняк Ю.В., Неведров О.В. (2020) Удосконалення методології оцінки дій локомотивних бригад при виникненні нештатних ситуацій. Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування. 11-а Міжнародна науково-практична конференція: м. Херсон 08-10 вересня 2020 р. / Херсон. держ. морська акад. С. 273-274.

90. Горобченко О. М. (2011) Визначення корисності дії інтелектуального агента керування рухом поїзду. Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту: тези доп., 14-15 квіт. 2011 р. Донецьк / ДНУЗТ, С. 63.

91. Ротштейн О.П., Штовба С.Д. (1999) Проектування нечітких баз знань. Лабораторний практикум та курсове проектування з дисципліни «Теорія нечітких множин та її застосування». Вінниця : ВДТУ, 64 с.

92. Звіт про науково-дослідну роботу «Вивчення впливу умов праці та характеру виробничої діяльності на захворюваність та темпи професійного старіння машиністів локомотивів». Інститут медицини праці. Київ, 1997, Системологія на транспорті / Е. В. Гаврилов М. Ф. Дмитриченко В. К. Доля та ін; під заг. ред. М. Ф. Дмитриченка. Кн. V : Ергономіка. Київ : Знання України, 2008 р. 256 с.

93. Циганчук Т.В. (2015) Стрес у професійній діяльності. Збірник наукових праць «Проблеми сучасної психології». 2015. (30). С. 669-678.

94. Кутковецький В.Я. (2017) Розпізнавання образів : навч.посіб. Миколаїв : Вид-во ЧНУ ім. Петра Могили, 420 с.

95. Попович І.Л., Церковнюк Р.Г., Гучко Б.Я. (2005) Факторний і дискримінантний аналіз інформаційного поля параметрів адаптації та імунітету і неспецифічного захисту. Медична гідрологія та реабілітація. Т. 3, № 4. С. 25-41.
96. Aggarwal C. C. (2018) Data clustering: algorithms and applications / C. K. Reddy. New York City : CRC Press, 652 p.
97. Oktar Y. Turkan M. (2018) A review of sparsity-based clustering methods. Signal Processing. Vol. 148. P. 20–30.
98. Bouveyron C. Celeux G., Murphy T. B., Raftery A. E. (2019) Model-based clustering and classification for data science: with applications in R. Cambridge : Cambridge University Press. 444 p.
99. Бондаренко В. Є. (2016). Модифікація методу аналізу ієрархій для прийняття рішень у складних системах. Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. 2016. №1(41). С. 20-25.
100. Newman J. W., Tyson, I. J., & Gluyas, T. (1988) U.S. Patent No. 4,752,899. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
101. Fry K. N. (1995) Diesel locomotive reliability improvement by system monitoring. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit. 209(1). P 1-10.
102. Пристрій автоматизованого діагностування кіл керування електровозів ЧС-4: пат. 151531 Україна. G05B 23/00 G05B 23/02. № u202103250. Заявл. 10.06.2021; опубл. 10.08.2022, бюл. № 32.
103. King-Sun Fu. (1967) The Optimal sequential decisions. Lafayette : Purdue Univ. Press, 124 p.
104. S. Mori, H. Nishida and H. Yamada, (1999) Optical Character Recognition, Hoboken, NJ, USA : Wiley, 560 p.
105. Про заходи щодо забезпечення безпеки руху в поїзній і маневровій роботі на залізничному транспорті: Наказ Укрзалізниці від 3.03.2010. № 164-Ц

106. Директива 2004/49/ЄС Європейського Парламенту та Ради "Про безпеку залізниць у Співтоваристві, яка вносить зміни до Директиви Ради 95/18/ЄС про ліцензування підприємств залізничного транспорту та до Директиви 2001/14/ЄС про розподіл потужностей залізничних інфраструктур та стягнення платежів за використання залізничної інфраструктури та про сертифікацію безпеки" (Директива про безпеку на залізницях) від 29 квітня 2004 року. Доступний з [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994\\_953#Text](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_953#Text)

107. Кислий Д.М. (2017) Підвищення енергоефективності ведення вантажних поїздів тепловозами : дис. ... канд. тех. наук : 05.22.07. Дніпро, 156.

108. Піх Б. П., Думський В. П. (2004). Надійність людського чинника, як основа безпеки руху. Медицина залізничного транспорту України. 2004. (3), С. 60-61.

109. Горобченко, О. М. (2011) Корегування функцій машиніста локомотива за допомогою систем підтримки прийняття рішень. Міжнародний інформаційний науково-технічний журнал "Локомотив-інформ". №5. С. 4–5.

110. Russell Stuart J. (2010) Artificial intelligence a modern approach. Pearson Education, Inc., 321 p.

111. Tartakovskiy E., Gorobchenko O., Antonovych A. (2016). Improving the process of driving a locomotive through the use of decision support systems. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2016. 5(3). С 4-11.

112. ДСТУ EN 62061:2014 Безпечність машин. Функціональна безпека електричних, електронних і програмованих електронних систем контролю, пов'язаних з безпекою (EN 62061:2005/A2:2015, IDT). Зміна № 2. Чинний від 2016.07.22.

113. Нерубацький В. П. (2020) Інтелектуальне багаторівневе управління на залізничному транспорті. Інтелектуальні транспортні технології : тези доповідей 1-ої міжнародної науково-технічної конференції Харків 24-30 січня 2020 р. / Трускавець-Харків : УкрДУЗТ, С. 91-93.

114. Мельниченко О.І., Лебідь І.Г., Ткаченко В.А. (2020). Системний аналіз управління комунікаціями в освітніх проєктах. Управління розвитком

складних систем. 2020. (41). С. 28–34. <https://doi.org/10.32347/2412-9933.2020.41.28-34>

115. Горобченко О.М., Неведров О.В. (2019) Постановка завдання визначення стану транспортного засобу за допомогою методів нечіткої математики. Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування. 10-а Міжнародна науково-практична конференція, м. Херсон, 12-13 вересня 2019 р. / Херсонська державна морська академія, С. 19-20.

## ДОДАТОК А

## ЗАТВЕРДЖУЮ:

Ректор Державного університету  
інфраструктури та технологій

 Надія БРАЙКОВСЬКА  
«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 р.

## АКТ

«02» травня 2023 р.

Про впровадження в навчальний процес результатів дисертаційної роботи  
Олександра НЕВЕДРОВА на тему «Розвиток теоретичних основ інтелектуальних  
систем керування локомотивом».

Складений комісією у складі:

**Голова комісії:** директор Київського інституту залізничного транспорту ДУІТ к.т.н.,  
доцент Володимир ТВЕРДОМЕД

**Члени комісії:** завідувач кафедри електромеханіки і рухомого складу залізниць ДУІТ д.т.н.,  
професор Віктор ТКАЧЕНКО

заступник декана факультету інфраструктури і рухомого складу залізниць  
ДУІТ к.т.н., доцент Володимир ДЕМЧЕНКО

аспірант кафедри електромеханіки і рухомого складу залізниць ДУІТ  
Олександр НЕВЕДРОВ

Комісія визначила фактичне впровадження наступних результатів роботи аспіранта  
Олександра НЕВЕДРОВА в навчальний процес підготовки магістрів за спеціальностями  
273 «Залізничний транспорт» та 141 «Електроенергетика, електротехніка та  
електромеханіка».

Впроваджено:

1. В теоретичний курс дисципліни «Інтелектуальні технології в локомотивному  
господарстві» додано розгляд методу визначення критерію оцінки керуючих дій при



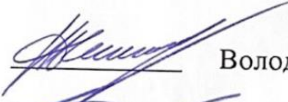
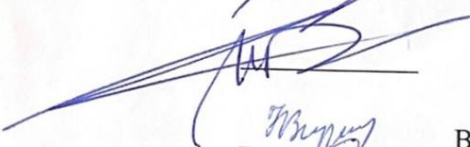
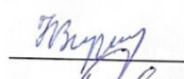

веденні поїзда у вигляді співвідношення формалізованих показників якості роботи системи «поїзд-машиніст»;

2. В теоретичний курс дисципліни «Інтелектуальні технології в локомотивному господарстві» додано розгляд методу визначення інформаційного навантаження на локомотивну бригаду під час поїздки.

3. В практичну складову дисципліни «Автоматизовані та мікропроцесорні системи керування тягового рухомого складу» додано практичне заняття «Визначення величини вагових коефіцієнтів для поїзних ситуацій шляхом використання методу Сааті».

Голова комісії

Члени комісії

	Володимир ТВЕРДОМЕД
	Віктор ТКАЧЕНКО
	Володимир ДЕМЧЕНКО
	Олександр НЕВЕДРОВ

**ЗАТВЕРДЖУЮ:**

В.о. директора ТОВ НВП «Локомотив

Транс Сервіс»

А.А.Макарчук



### **АКТ №3**

від 18 травня 2023 року.

Про впровадження результатів дисертаційної роботи Олександра Неведрова на тему **«Розвиток теоретичних основ інтелектуальних систем керування локомотивом»**.

В ТОВ НВП «Локомотив Транс Сервіс» впроваджено наступні результати дисертаційної роботи Олександра Неведрова:

- метод визначення величини вагових коефіцієнтів для поїзних ситуацій шляхом використання методу Сааті для різних режимів руху поїзду.
- алгоритм роботи системи підтримки прийняття рішень для машиністів локомотивів.

Результати дисертаційної роботи впроваджені при:

розробці системи контролю поїзної обстановки під час руху, що дозволило покращити процес керування поїздом завдяки отриманню та автоматичній оцінці більшого переліку зовнішніх факторів та знизити напруженість роботи машиніста локомотива. Вартість впровадження 18 900 грн. на один локомотив;

розробці дизайну модернізованого пульта керування локомотивами серій М62 та ЧМЕЗ. Це підвищило якість взаємодії машиніста локомотива з органами керування та підвищило ергономічні характеристики робочого місця машиніста. Вартість впровадження склала 35 300 грн. на один локомотив;

В результаті впровадження вищеназваних розробок очікується підвищення безпеки руху та ефективності керування локомотивом, що виражається в зменшенні кількості нештатних ситуацій і інцидентів, та економії палива на тягу поїздів.

Висновки та рекомендації щодо подальшого використання розробок:  
рекомендувати для впровадження в процес модернізації локомотивів в якості  
удосконалення автоматизованих систем керування локомотивом.

Акт складений в чотирьох екземплярах:

екз. №1 – ТОВ НВП «Локомотив Транс Сервіс»

екз. №2 – Державний університет інфраструктури та технологій

екз. № 3,4 – аспірант Олександр Неведров.

Головний технолог  
ТОВ НВП «Локомотив Транс Сервіс»



С.В.Ангелов

Аспірант ДУІТ



Олександр Неведров