

Міністерство освіти і науки України  
Український державний університет залізничного транспорту

Міністерство освіти і науки України  
Український державний університет залізничного транспорту

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

КУЛЬОВА ДАР'Я ОЛЕКСАНДРІВНА

УДК 656.222.3:658.5

## ДИСЕРТАЦІЯ

# ФОРМУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕВЕЗЕННЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ ВАНТАЖІВ НА ОСНОВІ РИЗИК-ОРІЄНТОВАНИХ ПІДХОДІВ

275 – транспортні технології

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

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



Д. О. Кульова

Науковий керівник

ЛАВРУХІН Олександр Валерійович,  
доктор технічних наук, професор

Харків – 2020

## АНОТАЦІЯ

*Кульова Д. О.* Формування автоматизованої технології перевезення небезпечних вантажів на основі ризик-орієнтованих підходів. Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктор філософії за спеціальністю 275 – «Транспортні технології». – «Український державний університет залізничного транспорту», МОН України, Харків, 2020.

Дисертацію присвячено питанню формування автоматизованої технології перевезення небезпечних вантажів (НВ), яка надає можливість оперативному персоналу приймати обґрунтовані та зважені рішення щодо вибору раціональної композиції вагонів з НВ різних груп сумісності та подальшого просування таких поїздопотоків в умовах пасажирського руху, що сприятиме підвищенню рівня безпеки за рахунок використання ризик-орієнтованих підходів.

Наукова новизна дисертаційної роботи полягає у вирішенні наукового завдання удосконалення технології управління поїздопотоками з небезпечними вантажами на залізничних напрямках шляхом впровадження автоматизованої, інтелектуальної системи семіотичного типу на основі розробленого комплексу моделей, які забезпечують реалізацію вищезазначеної технології.

*Вперше:*

– формалізовано процедуру визначення раціональної композиції вантажного поїзда з небезпечним вантажем, яка на відмінну від існуючих дає змогу сформуванню «достатньо безпечний» поїзд, враховуючи сумісність НВ різних категорій та класів безпеки при формуванні складу поїзда;

– з метою оцінювання наслідків аварійних ситуацій з вагонами з НВ при перевезенні їх залізничним транспортом розроблено метод оцінки ризиків з використанням апарату нечіткої логіки та нечітких множин, який на відміну від існуючих дозволяє знизити ризик настання більш значних наслідків в результаті аварійної ситуації;

– з метою динамічного опису поїзних станів в реальному режимі часу розроблено підхід щодо моніторингу та активного просування поїздопотоків з

небезпечними вантажами у вигляді абстрактного моделювання оперативних процесів, який на відмінну від існуючих базується на семіотичній основі, що дозволяє мінімізувати темпоральні показники прийняття рішення щодо оперативних поїзних обставин;

*Удосконалено:*

– структуру і комплекс задач АСКВПУЗ-Є, шляхом інтеграції у її склад автоматизованої технології вибору раціонального варіанту формування поїздів з НВ та їх просування в умовах пасажирського руху.

Практичні результати роботи полягають у формуванні автоматизованої технології перевезення небезпечних вантажів на основі ризик-орієнтованих підходів. Зазначена технологія дає змогу контролювати процес транспортування НВ, з огляду на їх різні класи та категорії сумісності, від моменту формування поїзду, вибору раціонального маршруту до подальшого просування по мережі залізниці, що дає змогу оперативному персоналу станції приймати зважені управлінські рішення в умовах динамічного характеру перевізного процесу.

За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 20 наукових праць, з яких 5 наукових статей у фахових виданнях, затверджених МОН України, у тому числі 4 статті у базі даних Scopus та Web of Sciences, а також 16 тез доповідей на науково-практичних конференціях.

У вступі обґрунтовано актуальність обраної теми, сформульовано мету, задачі, об'єкт та предмет дослідження, відображено зв'язок роботи з науковими темами та програмами, розкрито наукову новизну та практичну цінність дисертаційної роботи, подано її загальну характеристику.

У першому розділі дисертаційного дослідження проведено аналіз статистичних даних щодо перевезення небезпечних вантажів залізничним транспортом. На основі проведеного аналізу офіційних даних, наданих Міністерством Інфраструктури України, стану аварійності при перевезенні небезпечних вантажів, визначено, що за 2017–2019 роки по всіх видах транспорту зафіксовано загалом 78 транспортних подій, з яких 100% припадає на залізничний транспорт. Такий стан ситуації вимагає швидкої розробки техніко–

технологічних заходів щодо усунення причин аварійних ситуацій та зменшення негативних наслідків від них.

Разом з цим проведено аналіз основних експлуатаційних показників роботи залізниці, адже процес перевезення НВ є невідомою частиною загальної технології перевезення вантажів залізничним транспортом. За останні 2 роки об'єм транзитних перевезень знизився на 13%, хоча значна частина потенціалу транспортної галузі задіяна у виконанні таких перевезень, середній час простою транзитного вагону на технічній станції збільшився на 1,2 години, що становить близько 7%, обіг вантажного вагону – основний комплексний показник роботи не має суттєвих змін за останні роки в сторону покращення. Визначені негативні тенденції свідчать про недосконалість існуючих автоматизованих технологій формування та просування вагоно- та поїздопотоків у ому числі з небезпечним вантажами, що веде до втрати позицій залізничного транспорту в умовах зростаючої конкуренції з іншими видами транспорту.

Аналіз нормативно-правової документації в сфері перевезення небезпечних вантажів показав, що до організації перевізного процесу з такими вантажами пред'являються певні додаткові вимоги, які спрямовані на забезпечення підвищеного рівня безпеки при їх перевезенні. Однак в певних випадках такі вимоги носять локальний характер, а саме: згідно нормативних документів забороняється завантаження небезпечних вантажів визначених класів в один транспортний засіб з метою зменшення можливих негативних наслідків від настання аварійних ситуацій з ними (вибух, пожежа та ін.); також забороняється відправлення поїздів по дільниці та виконання маневрової роботи без вагонів прикриття локомотива від вагонів з небезпечними вантажами. У якості таких вагонів можуть виступати або порожні вагони або вагони завантажені звичайною категорією вантажів. Однак в цих умовах фактично відсутні вимоги щодо порядку виконання процедури формування составів поїздів з вагонами завантаженими небезпечними вантажами різних груп сумісності, що тягне за собою ризик виникнення більш значних наслідків в результаті настання аварійної ситуації. Таким чином мова йде про підвищення ризиків при виконанні експлуатаційної



роботи. Разом з цим спроби зменшення ризиків оперативним персоналом за рахунок вживання додаткових заходів при формуванні составів поїздів може призвести до значного негативного впливу на основні експлуатаційні показники. З цього слідує важливість врахування вищезазначених умов не тільки в межах завантаження в один вагон, а на рівні формування составу поїзда.

У другому розділі розроблено автоматизовану технологію формування «достатньо безпечного» поїзду з НВ з елементами штучного інтелекту на основі оптимізаційної математичної моделі раціональної композиції рухомого складу з вагонами з НВ різних класів сумісності. Цільова функція математичної моделі має в своєму складі 2 компоненти – загальні експлуатаційні витрати, які припадають на: розформування-формування поїздів за допомогою сортувальної гірки, формування поїзду з боку витяжної колії, простій вагонів в очікуванні визначених технологічних операцій та величину ризику настання несприятливої події з більш значним наслідками в її результаті, яка залежить від певної композиції составу вантажного поїзда з НВ. Для вирішення цільової функції математичної, оптимізаційної моделі комбінаторного типу в дослідженні використовується інноваційний метод на основі генетичного алгоритму.

Основні етапи роботи ГА полягають у формуванні батьківської пари хромосом з закодованою інформацією про визначену послідовність вантажних вагонів з НВ, вагонів зі звичайними вантажами та порожніх вагонів в поїзді. На наступному етапі з метою формування нових популяцій використовується трьох точковий оператор кросинговеру та оператори «видалення» (delete) і «вставлення» (paste). В результаті чого отримується раціональна композиція вантажного поїзду з розташуванням вагонів між собою, що забезпечує прийнятний рівень безпеки згідно до розробленої концепції поділу на групи небезпеки несумісних класів з небезпечними вантажами, що дозволяє знизити рівень ризику більш значних наслідків в результаті аварійної ситуації. До того ж завдяки застосуванню визначеного методу стає можливим отримати раціональні рішення за порівняно незначний час, що є обов'язковою умовою виконання експлуатаційної роботи в оперативних умовах.

Для вирішення компоненти ризику цільової функції моделі розроблено метод оцінювання наслідків аварійних ситуацій з небезпечними вантажами при перевезенні їх залізничним транспортом. Метод заснований на формуванні комплексного критерію, який враховує фактори впливу на величину ризику, що, в свою чергу, залежить від певної композиції складу вантажного поїзду з небезпечними вантажами. Запропонований критерій, який характеризується умовою певної невизначеності залежить від: кількості груп вагонів з небезпечними вантажами в складі поїзда, що формується; загальної кількості вагонів з небезпечними вантажами, ступінь небезпеки групи, до якої віднесено вагони з небезпечними вантажами та кількість випадків сумісного розташування вагонів різних груп небезпеки. Значення факторів, що постійно змінюються описано за допомогою апарату нечіткої логіки та нечітких множин. Використання даного апарату дозволило комплексно виявити взаємний вплив вищезазначених факторів на більш безпечний варіант формування складу поїзда на сортувальних станціях. На наступному етапі для вже сформованого поїзду проводиться вибір найбільш безпечного раціонального маршруту слідування на основі визначення можливих наслідків від настання аварійної ситуації шляхом формалізації процедури визначення ризиків.

У третьому розділі з метою подальшого контролю за транспортуванням «достатньо безпечних» поїздопотоків сформовано автоматизовану технологію перевезення небезпечних вантажів на основі модифікації мови поїзних ситуацій у вигляді абстрактного моделювання оперативних процесів. Представлений підхід дозволить забезпечити максимально швидко реалізацію алгоритмів прийняття рішень оперативним персоналом при потужній підтримці автоматизованого комплексу диспетчерського управління. Дана технологія семіотичного типу базується на моделюванні когнітивних процесів прийняття рішення диспетчерським апаратом для раціонального вирішення складних поїзних ситуацій в мінливих оперативних умовах при врахуванні значної кількості факторів. Для досягнення поставленої мети в дисертаційному дослідженні розроблена база даних, що носить нормативно-довідковий характер про існуючу

документальну базу та оперативний стан інфраструктурної складової, а також містить в собі типові або унікальні ситуації, які виступають основою для прийняття рішення в оперативній поїзній ситуації на перегоні та станції.

Розроблена технологія диспетчерського управління надає можливість оперативним працівникам залізниці в режимі динамічного корегування враховувати та мінімізувати кількість схрещень поїздів з НВ на перегонах та станціях, схрещень поїздів з НВ з пасажирськими, швидкісними та поїздами підвищеної ваги, довжини і негабаритними вантажами. Оперативний персонал буде отримувати вказівки, який поїзд необхідно пропустити, прийняти та відправити в першу чергу, на які колії приймати з узгодженням з ГРП та ПФП.

У четвертому розділі для визначення синергетичного ефекту від технології формування та просування поїздопотоків з небезпечними вантажами поставлено трьох етапне завдання детального опису ризик-орієнтованої технології формування поїзда з НВ в умовах автоматизованих робочих місць оперативного персоналу (АРМ ДСЦ та АРМ ДНЦ), детального опису технології активного моніторингу за рухомими одиницями в термінах абстрактного моделювання оперативних процесів та синтезу визначених технологій формування та просування поїздопотоків з небезпечними вантажами в єдину екосистему АРМів оперативних працівників.

Інтеграція даної технології до АСКВПУЗ-Є надало можливість автоматизувати процес формування та просування поїздопотоків з небезпечними вантажами в умовах зменшення ризиків. Це дозволяє надавати інформаційно-технологічну підтримку прийняття рішення оперативному персоналу починаючи від моменту формування складу поїзда з небезпечними вантажами різних класів, вибору раціонального маршруту їх прямування та подальшого просування таких поїздо- та вагонопотоків. Даний підхід дозволяє підвищити рівень безпеки перевізного процесу та покращити основні показники експлуатаційної роботи.

**Ключові слова:** небезпечні вантажі, інтелектуальна семіотична технологія, графік руху поїздів, оперативний персонал

## ABSTRACT

*Kulova D. O.* Formation of the automated technology for transporting dangerous goods based on risk-oriented approaches. Qualifying scientific work as a manuscript.

Thesis for the degree of Doctor of Philosophy in specialty 275 – "Transport technologies". – Ukrainian State University of Railway Transport, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2020.

The thesis is devoted to the formation of the automated technology for transporting dangerous goods which allows operational personnel to make informed and balanced decisions regarding the choice of a rational composition of cars with dangerous goods of different compatibility groups and the further movement of such trains in passenger traffic, which will contribute to improving the level of safety through the use of risk-oriented approaches.

The scientific novelty of the thesis is solving the scientific problem of improving the technology for controlling train traffic with dangerous goods on railway routes by introducing an automated intelligent semiotic system based on the developed set of models that ensure the implementation of the above technology.

*For the first time:*

- procedure for the determination of rational composition of freight trains with dangerous goods was formalized, which, unlike the existing ones, allows to make a “safe enough” train, taking into account the compatibility of DG of different categories and classes of hazard in the train composition;

- in order to assess the consequences of accidents in which cars with DG are involved during the transportation by rail, a risk assessment method has been developed using fuzzy logic and fuzzy sets, which, unlike the existing ones, reduces the risk of more significant consequences of an accident;

- in order to dynamically describe train conditions in real time, an approach has been developed for monitoring and active movement control of trains with dangerous goods in the form of abstract simulation of operational processes, which, unlike the existing ones, is based on semiotics, which allows minimizing the temporal factors of decision-making regarding operational train circumstances;

*Improved:*

– the structure and complex of tasks of the Unified Automated Freight Transportation Management System of Ukrzaliznytsya, by integrating into its structure the automated technology for choosing a rational train formation option for DG and their movement control in passenger traffic.

The practical results of the work are the formation of an automated technology for transporting dangerous goods based on risk-oriented approaches. This technology provides for controlling the process of transporting DG taking into account their different classes and categories of compatibility, from the point of train formation, the choice of a rational route to further movement control in the railway network, which allows the operational staff of the station to make informed management decisions in the changing transportation process.

On the basis of the materials of the thesis, 21 scientific works were published, including 5 scientific articles in specialized journals approved by the Ministry of Education and Science of Ukraine, among them 4 articles in the Scopus and Web of Sciences databases, and 16 abstracts at scientific conferences.

In the Introduction, the relevance of the chosen topic is justified, the purpose, tasks, object and subject of the study are formulated, relation of the work with research topics and programmes is shown, the scientific novelty and practical value of the thesis is revealed, its general characteristics are given.

Chapter One of the thesis research contains the analysis of statistical data on the transportation of dangerous goods by rail. Based on the analysis of official data on accidents during shipment of dangerous goods provided by the Ministry of infrastructure of Ukraine, it was found that in 2017-2019, 78 transport accidents were recorded for all types of transport, of which 100% were in the railway transport. This situation requires prompt development of technical and technological measures to eliminate the causes of accidents and reduce their negative consequences.

In addition, the analysis of the main operational indicators of the railway was carried out, because the process of transporting DG is an integral part of the general technology of cargo transportation by rail. Over the past 2 years, the volume of transit

traffic has decreased by 13%, although a significant part of the potential of the transport industry is involved in such transportation, the average downtime of a transit car at a technical station has increased by 1.2 hours, which is about 7%, and the turnover of a freight car – the main comprehensive indicator of performance – has not significantly changed in recent years for the better. Certain adverse trends indicate that the existing automated technologies for the formation and movement of car and train traffic, including dangerous goods, are imperfect, and as a consequence, the railway transport loses in competition with other modes of transport.

The analysis of normative and regulatory documents in the field of transportation of dangerous goods showed that the organization of the transportation process of such goods must meet certain additional requirements, the purpose of which is ensuring greater security during transportation. However, in certain cases, such requirements are local, namely: according to regulatory documents, loading dangerous goods of certain classes into one vehicle is prohibited in order to reduce the possible adverse consequences from the occurrence of accidents with them (such as explosion, fire, etc.); it is also prohibited to send trains along the route and perform shunting without cars that protect the locomotive from cars with dangerous goods. These cars can be either empty cars or cars loaded with the usual category of cargo. However, in these conditions, there are actually no requirements regarding the procedure for formation of trains with cars loaded with dangerous goods of different compatibility groups, which entails the risk of more severe consequences as a result of an accident. Thus, the problem is increased risks during performance of operational work. At the same time, attempts to reduce risks by operational personnel by taking additional measures when trains are formed can lead to a critical adverse impact on the main operational indicators. This means that it is crucial to take into account the above-mentioned conditions not only when a car is loaded, but also when a train is composed.

In Chapter Two, the automated technology with elements of artificial intelligence for forming a “safe enough” train with DG is developed based on a mathematical optimization model of rational composition of rolling stock with cars with DG of different compatibility classes. The objective function of the mathematical model has

two components – the general operating costs attributable to breaking up of a train, such as formation of a train in the gravity hump, formation of a train from the turnout track, idle time in waiting for specific operations and the amount of risk of adverse events with more severe consequences as a result, which depends on the specific composition of freight trains with DG. To solve the objective function of the mathematical optimization model of combinatorial type, an innovative method based on a genetic algorithm is used in the study.

The main stages of GA performance include the formation of a parent pair of chromosomes with encoded information about a certain sequence of freight cars with DG, cars with ordinary cargo and empty cars in the train. At the next stage, the three-point crossing over operator and the “delete” and “paste” operators are used in order to form new populations. As a result, a rational composition of a freight train with the arrangement of cars within it is obtained, which provides an acceptable level of safety according to the developed concept of classification into hazard groups of incompatible classes of dangerous goods, which reduces the risk of more severe consequences as a result of an accident. In addition, due to the use of the determined method, it becomes possible to obtain rational solutions within a relatively short time, which is a prerequisite for performing operational work in operational conditions.

To solve the risk component of the target function of the model, a method for assessing the consequences of accidents involving dangerous goods during the transportation by rail was developed. The method is based on the formation of a complex criterion that takes into account the factors that influence the amount of risk, which, in turn, depends on the specific composition of the freight train with dangerous goods. The proposed criterion, which is characterized by some uncertainty, depends on the number of groups of cars with dangerous goods in the train being composed; total number of cars with dangerous goods; the degree of hazard of the group, which includes cars with dangerous goods and the number of cases of close arrangement of cars of different categories of risk. The value of constantly changing factors is described using the fuzzy logic apparatus and fuzzy sets. The use of this apparatus enabled comprehensive identification of the mutual influence of the above-mentioned

factors on a safer option of train composition in marshalling yards. At the next stage, the most safe and rational route is selected for an already formed train based on determining the possible consequences of an accident by formalizing the risk determination procedure.

In Chapter Three, with the purpose of further control of the transportation of “safe enough” trains, the automated technology for the shipment of dangerous goods is formed based on the modification of the language of train situations in the form of abstract simulation of operational processes. The presented approach will contribute to ensuring the fastest possible implementation of decision-making algorithms by operational personnel with the powerful support of the automated dispatching control system. This semiotic-type technology is based on simulation of cognitive decision-making processes by the dispatcher's apparatus for rational resolving of complicated train situations in changing operational conditions, taking into account multiple factors. To achieve this goal, the thesis research has developed a database of the regulatory and reference nature about the existing documentary base and the operational state of the infrastructure component, and also contains typical or unique situations that are used as the basis for making decisions in the operational train situation during movement and at the station.

The developed dispatching control technology allows operative personnel of the railway to take into account and minimize the number of intersections of trains with DG during movement and at the stations, intersections of trains with DG with passenger, high-speed and high-weight trains, long and oversized cargo in the online correction mode. Operational personnel will receive instructions on which train must run through, or which must be accepted and sent first, and on which tracks they must be taken in accordance with the general schedule and the train formation plan.

In Chapter Four, to determine the synergistic effect of the technology for formation and movement of trains with dangerous goods, a three-stage task is set: a detailed description of the risk-oriented technology of formation trains with DG for the automated workplaces of operational personnel (automated workplace of shunting dispatcher and automated workplace of train dispatcher), a detailed description of the technology for active monitoring of mobile units in terms of abstract simulation of



operational processes and synthesis of certain technologies for formation and movement of trains with dangerous goods into a single ecosystem of operational personnel's automated workplaces.

Integration of this technology into the Unified Automated Freight Transportation Management System of Ukrzaliznytsya enabled to automate the process of formation and movement of trains with dangerous goods with simultaneous risk reduction. Thus, information and technological support for decision-making will be provided to operational personnel from the point of formation of a train with dangerous goods of different classes, choosing a rational route for them and further movement of such trains and cars. With this approach, the level of safety of the transportation process can be increased and the main indicators of operational work can be improved.

**Keywords:** dangerous goods, intelligent semiotic technology, train schedule, operational personnel.

#### Список публікацій здобувача

##### ***Наукові праці в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:***

##### *Публікації у фахових виданнях України:*

1. Лаврухін О.В., Мкртчян Д.І., Кульова Д.О. Аналітичні передумови формування автоматизованої інтелектуальної технології активного супроводження перевезення небезпечних вантажів. *Збірник наукових праць УкрДУЗТ*. 2016. Вип. 165. С. 159-166. DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.165.2016.87776>

##### *Публікації, що включені до міжнародних наукометричних баз Scopus та WoS*

2. Lavrukhin O., Kovalov A., Kulova D., Panchenko A. Formation of a model for the rational placement of cars with dangerous goods in a freight train. *Procedia Computer Science*. 2019. Vol. 149. P. 28–35.

3. Lavrukhin O., Kovalov A., Schevchenko V., Kyman A., Kulova D. Construction of an integrated criterion for estimating the consequences of emergencies involving dangerous goods. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. Vol. 2, Issue 3 (98). P. 25-31. DOI: [10.15587/1729-4061.2019.163442](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.163442)

4. Lavrukhin O., Kovalov A., Kulova D. Technological and economic estimation of efficiency of a route choice for transportation of dangerous goods. *SHS Web of Conferences*. 2019. Vol. 67. P. 1-6. DOI: <https://doi.org/10.1051/shsconf/20196702005>

5. Lavrukhin O., Vernyhora R., Schevcenko V., Kyman A., Shulika O., Kulova D., Kim K. Forming an automated technology to actively monitor the transportation of dangerous cargoes by railroad. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. Vol. 3, Issue 3 (105). P. 78-85. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.205862>

***Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:***

6. Лаврухін О.В., Кульова Д.О. Перспективи розвитку передових технологій небезпечних вантажів в умовах використання передових технологій. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті: тези 29-ї Міжнар. наук.-практ. конф. Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. (Черноморськ, 27-29 вер. 2016р.)*. Черноморськ: УкрДУЗТ, 2016. С. 2. (заочна участь)

7. Лаврухін О.В., Кульова Д.О. Обґрунтування доцільності формування інтелектуальної технології оперативного супроводження процесу перевезення небезпечних вантажів. *Актуальні проблеми сучасного управління соціально-економічних, технічних та гуманітарних системах: тези наук.-практ. конф. (Сєверодонецьк, 24-26 лист. 2016р.)*. Сєверодонецьк: Східноукраїнський національний університет імені В. Даля, 2016. С. 68-71. (заочна участь)

8. Лаврухін О.В., Кульова Д.О. Перспективи створення інтелектуальної автоматизованої технології формування поїздопотоків з небезпечними вантажами різних категорій та класів безпеки. *Сучасні інформаційні та комунікаційні технології на транспорті, в промисловості та освіті: тези X Міжнар. наук.-практ. конф. (Дніпро, 14-15 груд. 2016 р.)*. Дніпро: ДНУЗТ, 2016. С. 30-31. (заочна участь)

9. Лаврухін О.В., Киман А.М., Кульова Д.О. Формування комплексної просторово-часової моделі просування групових поїздів оперативного призначення. *Розвиток інноваційної та наукової діяльності на транспорті: тези 79-ї Міжнар. наук.-техн. конф. Збірник наукових праць Українського державного*

університету залізничного транспорту. (Харків, 25-27 квіт. 2017 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2017. С. 190-192. (особиста участь)

10. Лаврухін О.В., Кульова Д.О. Визначення підходів щодо розробки інтелектуальної технології формування та просування поїздопотоків з небезпечними вантажами різних груп сумісності. *Проблеми розвитку транспорту і логістики*: тези VII Міжнар. наук.-практ. конф. (Севеодонецьк-Одеса, 26-28 квіт. 2017 р.). Севеодонецьк-Одеса: Східноукраїнський національний університет імені В. Даля, 2017. С. 96-97. (заочна участь)

11. Лаврухін О.В., Кульова Д.О. Шляхи розробки моделі організації перевізного процесу з небезпечними вантажами в умовах існування ризиків. *Людина, суспільство, комунікативні технології*: тези V Міжнар. наук.-практ. конф. (Харків-Лиман, 22-23 вер. 2017 р.). Харків-Лиман: УкрДУЗТ, 2017. С. 248-249. (заочна участь)

12. Лаврухін О.В., Кульова Д.О. Удосконалення технології перевезення небезпечних вантажів на основі систем супутникового позиціонування. *Сучасні інноваційні та інформаційні технології в перевезенні небезпечних вантажів*: тези 1-ї Міжнар. наук.-практ. конф. (Харків, 16-17 листопада 2017 р.) Харків: УкрДУЗТ, 2017. С. 23-24. (особиста участь)

13. Лаврухін О.В., Киман А.М., Кульова Д.О. Формування математичної моделі раціональної композиції рухомого складу із вагонами з небезпечними вантажами. *Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті*: тези 80-ї Міжнар. наук.-техн. конф. (Харків, 24-26 квіт. 2018 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2018. С. 133-134. (особиста участь)

14. Лаврухін О.В., Кульова Д.О. Формування математичної моделі пошуку раціональних варіантів формування і просування поїздів з небезпечними вантажами різних класів. *Технології та інфраструктура транспорту*: тези Міжнар. наук.-техн. конф. (Харків, 14-16 трав. 2018 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2018. С. 191-192. (особиста участь)

15. Лаврухін О.В., Кульова Д.О., Бойко С. А. Організація перевізного процесу небезпечних вантажів в умовах зниження рівня ризику та експлуатаційних витрат. *Людина, суспільство, комунікативні технології*: тези VI

Міжнар. наук.-практ. конф. (Харків-Лиман, 14-15 вер. 2018 р.) Харків-Лиман: УкрДУЗТ, 2018 С. 274-275. (очна участь)

16. Lavrukhin O., Kulova D. Precondition to devise estimation techniques for consequences with dangerous goods due emergency situations. *Globalization of scientific and educational space. Innovation of transport. Problems, experience, prospects: Theses of international scientific and practical conference (Salou (Spain), 4-11 May 2019.)*. Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, 2019. P. 51-53.

17. Лаврухін О.В., Кульова Д.О. Визначення параметрів впливу на формування поїзду з небезпечними вантажами різних класів. *Міжнародна транспортна інфраструктура, індустриальні центри та корпоративна логістика: тези п'ятнадцятої Міжнар. наук.-практ. конференції (Харків, 6-8 черв. 2019 р.)*. Харків: УкрДУЗТ, 2019. С. 75-77. (особиста участь)

18. Лаврухін О.В., Кравець А. Л., Кульова Д.О. Напрямки покращення роботи залізничного транспорту при розширенні послуг щодо перевезення вантажів малих обсягів. *Сучасний рух науки: тези VI Міжнар. наук.-практ. інтернет конф.*, 2019. С. 627-631

19. Лаврухін О.В., Кульова Д.О. Формування підходу щодо управління ризиками при перевезенні небезпечних вантажів різних класів. *Людина, суспільство, комунікативні технології: тези VII Міжнар. наук.-практ. конф. (Харків-Лиман, 26-27 черв. 2019 р.)* Харків-Лиман: УкрДУЗТ, 2019 С. 248-249.

20. Панченко С. В., Лаврухін О.В., Кульова Д.О. Формалізація процедури визначення основних параметрів оцінювання наслідків аварійних ситуацій з небезпечними вантажами. *Сучасні інноваційні та інформаційні технології в перевезенні небезпечних вантажів: тези 2-ї Міжнар. наук.-практ. конф. (Харків, 14-15 лист. 2019 р.)* Харків: УкрДУЗТ, 2019. С. 6-7.

***Додаткові праці, які відображають результати дисертації:***

21. Lavrukhin O., Kravets A., Parkhomenko L., Kulova D., Panchenko A., Ivaskovska N. Improving the Quality of Railway Operation to Extend the Services of Transportation of Cargo of Small Volume. *Lecture Notes in Intelligent Transportation and Infrastructure*. 2020. Vol. 1. P. 35-43. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-39688-6\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-030-39688-6_6)

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

НВ	– небезпечні вантажі;
АРМ	– автоматизоване робоче місце;
ПАТ «УЗ»	– ПАТ «Українські залізниці»;
АСКВП УЗ	– автоматизована система керування вантажними перевезеннями ПАТ «УЗ»;
АСУ	– автоматизована система управління;
БД	– база даних;
ДНЦ	– поїзний диспетчер;
ДНЦС	– старший поїзний диспетчер;
ДЦУ	– дорожній центр управління;
ІКС	– інформаційно-керуюча система;
СППР	– система підтримки прийняття рішень;
ПФП	– план формування поїздів.

## ЗМІСТ

ВСТУП	20
1 РОЗДІЛ АНАЛІЗ ДІЮЧОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ФОРМУВАННЯ ТА ПРОСУВАННЯ ПОЇЗДОПОТОКІВ З НЕБЕЗПЕЧНИМИ ВАНТАЖАМИ	27
1.1 Аналіз діючої технології експлуатаційної роботи	27
1.2 Аналіз нормативно-правової документації перевезення небезпечних вантажів у внутрішньому та міжнародному сполученні	28
1.3 Аналіз статистичних даних перевезення небезпечних вантажів та аварійних ситуацій з ними	36
1.4 Аналіз автоматизованих інтелектуальних технологій в сфері перевезення небезпечних вантажів	44
1.5 Аналіз наукових досліджень з питань технології формування та просування поїздів з небезпечними вантажами	50
1.6 Висновки до першого розділу	57
РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ФОРМУВАННЯ ПОЇЗДІВ З НЕБЕЗПЕЧНИМИ ВАНТАЖАМИ НА ОСНОВІ РИЗИК– ОРІЄНТОВАНИХ ПІДХОДІВ	60
2.1 Передумови розробки автоматизованої технології формування поїздів з небезпечними вантажами	60
2.2 Розробка загальної стратегії автоматизованої технології формування поїздів з небезпечними вантажами на основі ризик–орієнтованих підходів	61
2.3 Вибір раціонального маршруту прямування поїздів з небезпечними вантажами	91
2.4 Висновки до другого розділу	96
РОЗДІЛ 3 ФОРМУВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕВЕЗЕННЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ ВАНТАЖІВ НА ОСНОВІ АБСТРАКТНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ОПЕРАТИВНИХ ПРОЦЕСІВ	99
3.1 Обґрунтування вибору семіотичної системи моделювання оперативних поїзних ситуацій	99

3.2 Моделювання поїзних станів при просуванні поїздопотоків з НВ на основі абстрактних поїзних конструкцій	102
3.3 Формування бази даних семіотичної системи оперативних поїзних ситуацій	112
3.4 Висновки до третього розділу	121
<b>РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА УЗАГАЛЬНЕНОЇ РИЗИК ОРІЄНТОВАНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ФОРМУВАННЯ ТА ПРЯМУВАННЯ ПОЇЗДОПОТОКІВ НА ОСНОВІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ПРОДУКЦІЙНОЇ СИСТЕМИ</b>	<b>123</b>
4.1 Визначення синергетичного ефекту від реалізації автоматизованої технології перевезення небезпечних вантажів на основі ризик–орієнтованих підходів	123
4.2. Загальні принципи функціонування системи диспетчерського управління	125
4.3 Детальний опис ризик–орієнтованої технології формування поїзда з НВ та формування діалогового вікна АРМ ДСЦ	131
4.4 Опис технології активного моніторингу за просування поїздопотоків з НВ на основі АМОП	137
4.5 Синтез технології формування та просування поїздопотоків з небезпечними вантажами	148
4.6 Техніко–економічне обґрунтування впровадження автоматизованої технології перевезення небезпечних вантажів на основі ризик–орієнтованих підходів	153
4.7 Висновки до четвертого розділу	158
<b>ВИСНОВКИ</b>	<b>161</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</b>	<b>165</b>
ДОДАТОК А Список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації	181
ДОДАТОК Б Акти впровадження результатів дисертаційної роботи	186

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Залізничний транспорт займає одне з провідних місць у світовій транспортній системі з перевезення вантажів, у тому числі і небезпечних, обсяги перевезень яких зростають. У найбільш промислово розвинутих державах-членах Євросоюзу частка перевезень небезпечних вантажів (НВ) становить близько 20% від загального обсягу перевезень, з них майже 40% припадає на легкозаймисті рідини (зокрема, паливо). Територією України перевозиться понад 1000 найменувань різних НВ, що складає близько 15% від загальної кількості вантажів.

У випадку настання аварійної ситуації при перевезенні звичайних вантажів основними наслідками є витрати на відновлення інфраструктури (рухомий склад, колійний розвиток, споруди та інше). Наслідками аварійної ситуації з НВ, крім пошкодження залізничної інфраструктури можуть бути соціально–економічні втрати (витрати, понесені внаслідок загибелі і травмування людей), екологічні збитки (збитки, що завдані об'єктам навколишнього природного середовища) та інше. Так, за даними АТ «Укрзалізниця» лише за 2019 рік сталось 34 аварійні ситуації під час перевезення НВ, внаслідок яких трапився викид 134 тонн промислового сміття – хімічних та отруйних речовин. Тому актуальним питанням є забезпечення безпечного перевезення НВ у внутрішньому та міжнародному сполученнях за рахунок зменшення наслідків аварійних ситуацій шляхом вибору раціональної комбінації составів вантажних поїздів при їх формуванні та просуванні на залізничних станціях різних категорій.

Основним важелем управління перевезеннями з НВ є оперативний персонал залізничних станцій, який приймає важливі рішення на основі власного досвіду в постійно мінливих умовах роботи залізниць, до цього додаються фактори стресу і втоми, які призводять до фатальних помилок, що веде до значних збитків різнорідного характеру. Тому розробка та впровадження технологій з елементами штучного інтелекту стрімко розвиваються та стають незамінними, особливо в умовах високого рівня конкуренції з іншими видами



транспорту, що потребує від Укрзалізниці дій в напрямку автоматизації та інтелектуалізації управління процесами перевезень. Таким чином, представлена дисертаційна робота є актуальною.

***Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.***

Дисертаційна робота виконувалась відповідно до розпорядження Кабінету Міністрів України від 30.05.2018 р. № 430–р «Про схвалення Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року», «Угоди про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони», ратифікованої Законом України №–VII від 16.09.2014 р.

Автор брала участь у якості виконавця у науково-дослідній роботі «Формування та шляхи реалізації організаційно-технологічної моделі використання вантажних вагонів у міжнародних перевезеннях» (ДР № 0115U000275) та госпдоговірній темі «Правила перевезення швидкопсувних вантажів» (ДР № 0118U000124).

***Мета і задачі дослідження.*** Метою дисертаційної роботи є формування автоматизованої технології перевезень небезпечних вантажів на основі ризик-орієнтованих підходів.

Для досягнення вищезазначеної мети поставлено такі задачі дослідження:

- провести аналіз вітчизняного та закордонного досвіду в сфері перевезення небезпечних вантажів, визначити перспективи розвитку теорії та практики перевезення НВ залізницями України для формулювання вимог щодо формалізації технології перевезення небезпечних вантажів в оперативних умовах;
- формалізувати процедуру визначення раціональної композиції вантажного поїзда з НВ різних класів в умовах визначення ризиків на сортувальній станції;
- сформулювати підхід вибору раціональних варіантів маршруту поїздів з НВ в реальному режимі часу;
- сформулювати автоматизовану технологію перевезення НВ в оперативних умовах з можливістю динамічного корегування поїзних ситуацій в реальному режимі часу;

– визначити техніко-економічні показники ефективності функціонування запропонованої автоматизованої технології.

*Об'єкт дослідження* – процес формування та просування поїздопотоків з небезпечними вантажами.

*Предмет дослідження* – автоматизована технологія перевезення небезпечних вантажів на основі ризик-орієнтованих підходів.

**Методи дослідження.** Проведені дослідження ґрунтуються на використанні еволюційних методів для розв'язання оптимізаційної математичної ризик-орієнтованої моделі формування поїзду з мінімальною кількістю розташувань вагонів з НВ несумісних класів; методів теорії масового обслуговування при виборі раціонального маршруту для поїздопотоків з НВ з мінімізацією ризиків; інтелектуальних методів семіотичного типу для розробки ситуаційної формальної мови управління для формування системи диспетчерського управління з елементами штучного інтелекту на основі динамічних продукційних правил.

**Наукова новизна одержаних результатів.** У дисертаційній роботі вирішено наукове завдання щодо розробки автоматизованої технології формування та просування поїздопотоків з НВ різних класів на основі розробленого комплексу моделей, які забезпечують реалізацію вищезазначеної технології.

*Вперше:*

– формалізовано процедуру визначення раціональної композиції вантажного поїзда з небезпечним вантажем, яка на відмінну від існуючих дає змогу сформувати «достатньо безпечний» поїзд, враховуючи сумісність НВ різних категорій та класів безпеки при формуванні складу поїзда;

– з метою оцінювання наслідків аварійних ситуацій з вагонами з НВ при перевезенні їх залізничним транспортом розроблено метод оцінки ризиків з використанням апарату нечіткої логіки та нечітких множин, який на відміну від існуючих дозволяє знизити ризик настання більш значних наслідків в результаті аварійної ситуації;

– з метою динамічного опису поїзних станів в реальному режимі часу розроблено підхід щодо моніторингу та активного просування поїздопотоків з небезпечними вантажами у вигляді абстрактного моделювання оперативних процесів, яка на відмінну від існуючих базується на семіотичній основі, що дозволяє мінімізувати темпоральні показники прийняття рішення щодо оперативних поїзних обставин;

*Удосконалено:*

– структуру і комплекс задач АСКВПУЗ-Є, шляхом інтеграції у її склад автоматизованої технології вибору раціонального варіанту формування поїздів з НВ та просування в умовах пасажирського руху.

***Практичне значення одержаних результатів.*** Сформовано автоматизовану технологію перевезення НВ на основі ризик-орієнтованих підходів. Зазначена технологія дає змогу контролювати процес транспортування НВ, з огляду на їх різні класи та категорії сумісності, від моменту формування поїзду, вибору раціонального маршруту до подальшого просування по мережі залізниці, що дає змогу оперативному персоналу станції приймати зважені управлінські рішення в умовах динамічного характеру перевізного процесу.

Основні результати і розроблені наукові підходи до формування автоматизованої технології перевезення НВ застосовано та впроваджено на регіональній філії «Донецька залізниця» АТ «Укрзалізниця», на «Дирекції залізничних перевезень з організації взаємодії портів та припортових станцій» регіональної філії «Одеська залізниця» АТ «Укрзалізниця», а також у навчальний процес навчально-наукового центру спеціального навчання працівників суб'єктів перевезення небезпечних вантажів та навчально-наукового центру підвищення кваліфікації інституту перепідготовки та підвищення кваліфікації кадрів Українського державного університету залізничного транспорту.

***Особистий внесок здобувача.*** Результати, що становлять основний зміст дисертаційного дослідження, отримані автором самостійно в Українському державному університеті залізничного транспорту. У наукових працях, опублікованих зі співавторами, особистий внесок полягає у такому: у статті [1]

проведено аналіз аварійності на залізничному транспорті при перевезенні НВ, виявлено, що її рівень залишається досить високим. Було зроблено та обгрунтовано висновок про необхідність вирішення науково-прикладного завдання розробки технології формування та просування поїздопотоків з НВ різних класів сумісності; у статті [2] запропоновано підхід, щодо формування математичної моделі та способу її рішення, яка відповідає за раціональну організацію составів вантажних поїздів з небезпечними вантажами на сортувальних станціях; у статті [3] запропоновано метод оцінювання наслідків аварійних ситуацій з небезпечними вантажами при перевезенні їх залізничним транспортом. Метод заснований на формуванні комплексного критерію, який враховує фактори впливу на величину ризику, що, в свою чергу, залежить від певної композиції составу вантажного поїзду з небезпечними вантажами; у статті [4] розроблено підходи вибору максимально безпечного маршруту прямування поїздів з НВ з найменшими можливими витратами; у статті [5] запропоновано підхід для формування автоматизованої технології активного моніторингу за перевезеннями небезпечних вантажів залізничним транспортом. Представлений підхід динамічного опису поїзних станів розроблено на основі модифікації мови поїзних ситуацій у вигляді абстрактного моделювання оперативних процесів.

*Апробація результатів дисертації.* Основні положення дисертації доповідалися, обговорювалися та ухвалені на таких конференціях:

– Двадцять дев'ятій Міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті» (Черноморськ, 27-29 вересня 2016р.);

– Дванадцятій Всеукраїнській науково-практичній конференції «Актуальні проблеми сучасного управління в соціально-економічних, технічних та гуманітарних системах» (Севєродонецьк, 24-26 листопада 2016р.);

– X Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні інформаційні і комунікаційні технології на транспорті, в промисловості та освіти» (Дніпро, 14-15 грудня 2016 р.);

- 79-тій Міжнародній науково-технічній конференції «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті» (Харків, 25-27 квітня 2017 р.);
- VII Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми розвитку транспорту і логістики» (Сєвєродонецьк-Одеса, 26-28 квітня 2017 р.);
- V Міжнародній науково-практичній конференції «Людина, суспільство, комунікативні технології» (Харків-Лиман, 22-23 вересня 2017 р.);
- 1й Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні інноваційні та інформаційні технології в перевезенні небезпечних вантажів» (Харків, 16-17 листопада 2017 р.);
- 80-тій Міжнародній науково-технічній конференції «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті» (Харків, 24-26 квітня 2018 р.);
- Міжнародній науково-технічній конференції «Технології та інфраструктура транспорту» (Харків, 14-16 травня 2018 р.);
- VI Міжнародній науково-практичній конференції «Людина, суспільство, комунікативні технології» (Харків-Лиман, 14-15 вересня 2018 р.);
- International scientific and practical conference «Globalization of scientific and educational space innovations of transport. Problems, experience, prospets.» (Salou (Spain), 4-11 May 2019);
- 15й науково-практичній міжнародній конференції «Міжнародна транспортна інфраструктура, індустриальні центри та корпоративна логістика» (6-8 червня 2019);
- VI Міжнародній науково-практичній інтернет конференції «Сучасний рух науки»;
- VII Міжнародній науково-практичній конференції «Людина, суспільство, комунікативні технології» (Харків-Лиман, 26-27 черв. 2019 р.);
- 2й Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні інформаційні та інноваційні технології в перевезенні небезпечних вантажів» (Харків, 14-15 лист. 2019 р.).

**Публікації.** За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 5 наукових статей у фахових виданнях, 2 з них у збірниках наукових праць затверджених

МОН України, 3 статті у базі даних Scopus та WoS, 15 тез доповідей на науково-практичних конференціях, 1 додаткова стаття в іноземному виданні країни – члена ЄС та мається акти впровадження по результатам дисертаційної роботи.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається з анотацій, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків.

Повний обсяг роботи складає 192 сторінку, з них основного тексту 145 сторінки, 45 рисунків, 9 таблиць, список використаних джерел налічує 141 найменувань на 16 сторінках і 2 додатки на 12 сторінках.

## 1 РОЗДІЛ

### АНАЛІЗ ДІЮЧОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ФОРМУВАННЯ ТА ПРОСУВАННЯ ПОЇЗДОПОТОКІВ З НЕБЕЗПЕЧНИМИ ВАНТАЖАМИ

#### 1.1 Аналіз діючої технології експлуатаційної роботи

На теперішній час на залізничних полігонах АТ «Укрзалізниця» прийнята класична технологія по формуванню та просуванню поїздопотоків [6, 7, 8]. Дана технологія, за винятком певних структурних особливостей використовується фактично на всьому просторі 1520 мм. Вона передбачає, що по мірі відправлення поїздів зі станції формування, інформація про них, надходить до станції розформування у вигляді телеграм натурного листа (ТНГЛ) форми ДУ-1 в адресу інформаційно-обчислювального центру (ІВЦ) регіональних філій АТ «Укрзалізниця» і станційного технологічного центру (СТЦ) [9]. Це дозволяє керівнику зміни – маневровому диспетчеру – планувати роботу сортувальної системи на декілька годин вперед, мається на увазі, що на даному етапі буде починатися формування поїзда. Таким чином після прибуття поїзда на залізничну станцію призначення або переформування маневровий або станційний диспетчер мають вже готовий план сортувальної роботи з вагонами. Після обробки поїзду в парку прийому, а саме проведення технічного обслуговування та комерційного огляду, його насувають на гірку. Після розпуску з гірки вагони потрапляють на колії сортувального парку (СП) під накопичення. На колії СП вагони розташовуються згідно спеціалізації колій по напрямках. При цьому вагони з НВ, через свої специфічні властивості, які несуть в собі потенційну небезпеку вибуху або загоряння розпуску з гірки не підлягають. На колії СП вони потрапляють за допомогою процедури осаджування з боку гірки або хвоста СП. Після накопичення вагонів на коліях СП почнеться формування поїзду на одній колії відповідно до сформованих груп.

При виконанні процедури з розформування-формування поїздів на технічній станції персонал спирається на нормативну базу, що включає в себе

Інструкцію з руху поїздів (ІРП), Правила технічної експлуатації (ПТЕ), технічно-розпорядчий акт станції (ТРА), технологічний процес роботи станції. Весь процес роботи станції від початку прибуття поїзду на станцію до його відправлення маневровий диспетчер відтворює на графіку виконаної роботи. Графік виконаної роботи являє собою графічне відображення технологічних процесів роботи станції в реальному режимі часу згідно до прийнятих умовних позначень та правил його складання з використанням мнемоніки добових планів-графіків. У графіку знаходять відображення технологічні процеси, що виконуються з поїздами і вагонами на станційних коліях, під'їзних коліях, вантажних фронтах, а також представлена топологія станцій і перегонів між ними. Слід зауважити, що всі вантажні операції з вагонами з НВ проводяться на місцях незагального користування, тобто на під'їзних коліях, після закінчення яких виставляються на колії загального користування на колії СП відповідно до їх спеціалізації [6]. Основним недоліком роботи по розформуванню-формуванню поїздів є той факт, що дана технологія не передбачає використання ризик-орієнтованих підходів щодо формування «достатньо безпечного» поїзду з НВ. Мається на увазі той факт, що композиція поїзда з вагонами з НВ носить довільний характер і вагони різних груп сумісності, які не рекомендується завантажувати в один вагон можуть знаходитися поруч розділені повітряним проміжком менше ніж за 2 метри. З метою висвітлення поставленого недоліку доцільно проаналізувати вітчизняну та закордонну нормативно-правову базу по перевезенню небезпечних вантажів.

## 1.2 Аналіз нормативно-правової документації перевезення небезпечних вантажів у внутрішньому та міжнародному сполученні

Згідно із Законом України «Про перевезення небезпечних вантажів» від 6 квітня 2000 р. № 1644-III небезпечний вантаж – речовини, матеріали, вироби, відходи виробничої та іншої діяльності, які внаслідок притаманних їм



властивостей за наявності певних факторів можуть під час перевезення спричинити: вибух, пожежу, пошкодження технічних засобів, пристроїв, споруд та інших об'єктів, заподіяти матеріальні збитки та шкоду довкіллю, призвести до загибелі, травмування, отруєння людей, тварин, і які за міжнародними договорами, згода на обов'язковість яких надана Верховною Радою України, або за результатами випробувань в установленому порядку залежно від ступеня їх впливу на довкілля або людину віднесено до одного з класів небезпечних речовин [10].

Основоположним документом на основі якого здійснюється класифікація НВ (віднесення до класу, категорії та групи пакування) є ДСТУ 4500-3 «Вантажі небезпечні. Класифікація» залежно від виду та ступеня їх потенційної небезпеки (таблиця 1.1) [11].

Таблиця 1.1 – Класифікація небезпечних речовин

Клас	Під-клас	Найменування підкласу
		Вибухові матеріали і речовини
	1.1	Речовини та вироби, які характеризуються небезпекою вибуху масою
	1.2	Речовини та вироби, які характеризуються небезпекою розкидання, але не створюють небезпеку вибуху масою
	1.3	Речовини та вироби, які характеризуються небезпекою загоряння, а також незначною небезпекою вибуху чи незначною небезпекою розкидання, або тим та іншим, але не характеризуються небезпекою вибуху масою
	1.4	Речовини та вироби, які не становлять значної небезпеки
	1.5	Речовини дуже низької чутливості, які характеризуються небезпекою вибуху масою
	1.6	Вироби надзвичайно низької чутливості, які не характеризуються небезпекою вибуху масою
2		Гази
	2.1	Зайmistі гази
	2.2	Незайmistі нетоксичні гази
	2.3	Токсичні гази

Продовження таблиці 1.1

Клас	Під-клас	Найменування підкласу
3		Легкозаймисті рідини
4.1		Легкозаймисті тверді речовини
4.2		Речовини, здатні до самозаймання
4.3		Речовини, які виділяють займисті гази, взаємодіючи з водою
5.1		Речовини, що окиснюють
5.2		Органічні пероксиди
6.1		Токсичні речовини
6.2		Інфекційні речовини
7		Радіоактивні матеріали
8		Корозійні (їдкі) речовини
9		Інші небезпечні речовини і вироби

Транспортування НВ мають суттєві обмеження для виконання перевізних операцій. Дані вантажі, при порушенні техніко-технологічних умов перевезення, можуть призвести до аварійних ситуацій різного ступеню наслідків, в тому числі нанести значну шкоду життю, здоров'ю та безпеці людей.

На сьогоднішній день для забезпечення нормативних засад щодо перевезення НВ використовується велика кількість міжнародних договорів, конвенцій, правил та стандартів, що носять, як правило рекомендаційний характер. Дана документація розроблена міжнародними організаціями та використовується при міжнародних та внутрішніх перевезеннях НВ. [12].

До основних міжнародних урядових транспортних організацій відносяться:

- Міжурядова організація з міжнародних перевезень залізницею (ОТІФ);
- Організація співробітництва залізниць (ОСЗ).

Метою діяльності ОТІФ є забезпечення комплексного розвитку, удосконалення та спрощення порядку здійснення міжнародного залізничного сполучення. В даний час членами Організації є 45 держави на території Європи, Штаб-квартира Організації знаходиться в м. Берні.

Метою організації ОСЗ є створення передумов для здійснення міжнародних залізничних перевезень в напрямку між Європою і Азією. Україна стала учасницею ОСЗ в червні 1992 року. Участь України в ОСЗ має безумовно позитивні наслідки і є необхідною умовою інтеграції залізничного транспорту України в транспортну систему Європи і Азії.

Зазначені вище організації розробляють та реалізують договори, конвенції та угоди в галузі залізничного транспорту.

До неурядових транспортних організацій відносяться:

- Міжнародний союз залізниць (UIC), її головна мета полягає у сприянні просуванню і розвитку залізничного транспорту у світі;
- Міжнародний комітет залізничного транспорту (CIT), цілі якої є розвиток міжнародного права в області залізничних перевезень на основі укладених конвенцій; розробка додаткових правових статей і матеріалів, пов'язаних з вирішенням суперечок по міжнародним перевезенням; контроль за дотриманням правил перевезень вантажів, багажу та стандартизація проїзних документів;
- Форум залізниць Європи (FTE), головною метою є сприяння прозорій та самостійній співпраці, що уможлиблює для всіх членів планування продуктивності їх міжнародних перевезень [13];
- Рада із залізничного транспорту держав-учасниць співдружності (ЦСЗ), метою Ради є координація роботи залізничного транспорту на міжнародному рівні, вироблення узгоджених умов і принципів роботи залізничного транспорту для забезпечення функціонування і розвитку транспортних і економічних зв'язків між державами СНД, а також із третіми країнами, прийняття нормативних документів по колу своєї діяльності.

Міжнародні організації, що розробляють міжнародні договори, конвенції та угоди з питань перевезення НВ зображена на рисунку 1.1. [12], на якому відображено їх позначення.

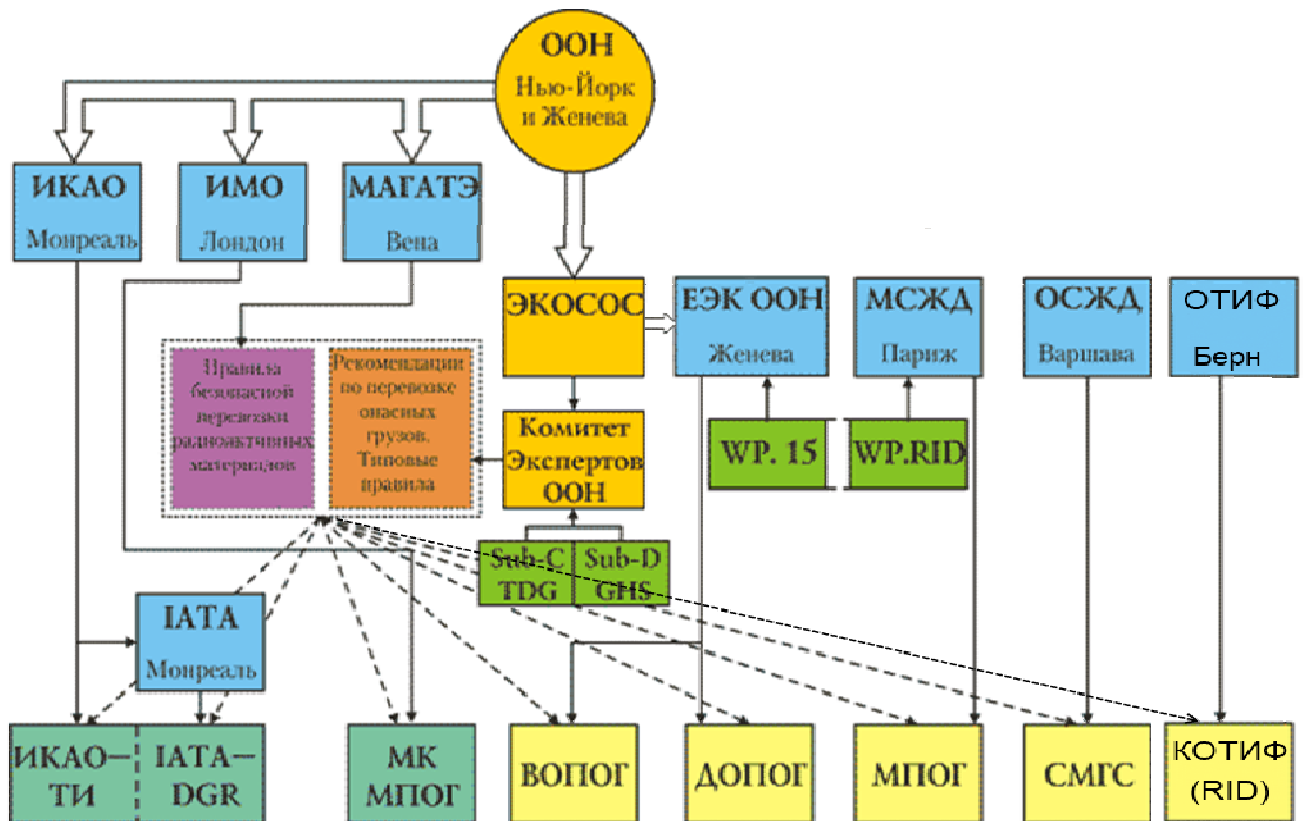


Рисунок 1.1 – Міжнародні організації та їх взаємодія у сфері перевезення небезпечних вантажів

Позначення:

ООН – Організація Об'єднаних Націй;

ІКАО – Міжнародна організація цивільної авіації;

IATA – Міжнародна асоціація повітряного транспорту;

ІМО – Міжнародна морська організація;

МАГАТЭ – Міжнародне агентство з атомної енергії;

ЄЕК ООН – Європейська Економічна Комісія Організації Об'єднаних Націй;

МСЗ – Міжурядова організація з міжнародних перевезень залізницями;

ОСЗ – Організація співдружності залізниць;

ЕКОСОС – Економічна і Соціальна Рада Організації Об'єднаних Націй;

Sub-C TDG – Підкомітет з перевезення небезпечних вантажів;

Sub-D GHS – Підкомітет з узгодженої на глобальному рівні системи класифікації небезпеки та маркування хімічних речовин;

WP. 15 – Робоча група з перевезення небезпечних вантажів;

WP. RID – Робоча група з перевезення небезпечних вантажів по залізницях;

ІКАО-ТІ – Технічні інструкції з безпечного перевезення НВ по повітрю;

IATA DGR – IATA Правила перевезень небезпечних вантажів;

МК МПОГ – Міжнародний морський кодекс з перевезення НВ;

ВОПНВ – Європейська угода про міжнародне перевезення небезпечних вантажів внутрішніми водними шляхами;

ДОПНВ – Європейська угода про міжнародне дорожнє перевезення НВ;

МПОГ – Правила міжнародного перевезення НВ по залізницях.

СМГС – Угода про міжнародне вантажне сполучення.

Рекомендації ООН є основоположними правилами, які регламентують операції з НВ, їх викладено у вигляді Типових правил перевезення. Розробка Типових правил здійснюється Комітетом експертів з перевезення небезпечних вантажів і погодженої на глобальному рівні системі класифікації та маркування хімічних речовин Економічної і Соціальної Ради Організації Об'єднаних Націй. На їх основі міжнародні організації та національні органи влади розробляють нормативні документи, які регламентують перевезення НВ різними видами транспорту та носять рекомендаційний характер, на основі правил розробляються міжнародні конвенції, правила та угоди.

До основних угод та правил, що регламентують міжнародні перевезення НВ відносяться:

– в рамках ОСЗ – додатком 2 до Угоди про міжнародне вантажне залізничне сполучення (Додаток 2 до СМГС, у 2-х томах);

– регламент міжнародних залізничних перевезень небезпечних вантажів в рамках СOTIF – додаток С до Конвенції про міжнародні залізничні перевезення в редакції 1999 року (Регламент про міжнародне перевезення небезпечних вантажів RID зі змінами на 2004 р). Даний регламент [14] застосовується до міжнародних перевезень НВ залізницями на території держав-учасниць. Кожна країна-член

зберігає право регулювати або вводити обмеження на міжнародні перевезення небезпечних вантажів на своїй території, керуючись іншими міркуваннями, ніж викладеними у Регламенті. Перевезення, для яких є дійсним цей Регламент, підпорядковуються загальним національним приписам щодо перевезень вантажів залізницями:

- Конвенція про цивільну відповідальність за шкоду, заподіяну при перевезенні небезпечних вантажів автомобільним, залізничним та внутрішнім водним транспортом від 10.10 1989 р. Україна участі не приймає, але ця конвенція відкрита для приєднання до неї всіх держав. Депозитарієм цієї конвенції є Генеральний секретар ООН;

- Конвенція про міжнародні змішані перевезення від 24.05.1980 р. (Україна участі не приймає);

- Базельська конвенція про контроль за транскордонними перевезеннями небезпечних відходів та їх видаленням від 22.03.1989 р. Ця конвенція відкрита для підписання або приєднання. Структурно включає преамбулу, 29 статей, 6 додатків;

- Митна конвенція про міжнародне перевезення вантажів із застосуванням книжки МДП (автотранспортом) від 14.11.1975 р.;

- Конвенція про договір міжнародного перевезення вантажів від 19.05.1956 р. (зокрема застосовується у випадках, коли транспортний засіб з вантажем без вивантаження здійснює частину шляху залізницями);

- Міждержавний стандарт ДСТУ ГОСТ 30333:2009 Паспорт безпеки химической продукции. Общие требования (ГОСТ 30333–2007, IDT), діє з 01.01.2010 взамін ГОСТ 30333–95. Даний стандарт [15] встановлює основні вимоги до паспорту безпеки речовини або матеріалу, змісту та форми представлення інформації. Він є обов'язковою складовою частиною технічної документації на речовину (матеріал), відходи промислового виробництва. Паспорт призначений для забезпечення споживача достовірною інформацією про конкретну речовину (матеріал);

- інші угоди.

Як видно з проведеного аналізу існує велика кількість діючих міжнародних урядових та неурядових організацій, що розроблюють нормативно-правову

документацію в сфері перевезення НВ, це свідчить про існуючі відмінності в організації перевізного процесу для таких вантажів. Даний факт впливає на роботу оперативного персоналу залізничних станцій, адже транспортування НВ не здійснюється окремо від інших вантажів та пасажирського руху і має бути пов'язаний з єдиним транспортним процесом, який спирається на нормативну базу, що включає в себе ІРП, ПТЕ, ТРА та технологічний процес роботи станції.

Внутрішньодержавні перевезення НВ регламентуються Законом України «Про перевезення небезпечних вантажів» [10]. Даний Закон визначає основні правові, організаційні та економічні засади діяльності, пов'язаної з перевезенням НВ різними видами транспорту.

Внутрішньодержавне законодавство з питань перевезення НВ складається з даного закону, а також міжнародних договорів, згода на дотримання яких надана Верховною Радою України та інших нормативно-правових актів, що визначають умови перевезення НВ, вимоги до типів та обладнання транспортних засобів, порядку підготовки, перепідготовки, навчання, підвищення та підтвердження кваліфікації працівників, зайнятих перевезенням НВ [13].

На перевезення НВ залізничним транспортом територією України поширюються Правила перевезення небезпечних вантажів (ППНВ), що визначають основні вимоги, які забезпечують прийнятний рівень безпеки при організації перевізного процесу з НВ [16].

ППНВ [16] містять у собі: класифікацію НВ; вимоги до їх пакування; підготовку НВ до перевезення; маркування НВ; охорона та супроводження НВ; вимоги до вагонів і контейнерів, які використовуються для перевезення небезпечних вантажів; положення щодо навантаження, кріплення, вивантаження та обробки вантажів; організацію перевезення радіоактивних вантажів; додаткові положення, які застосовуються до окремих категорій вантажів [16].

Незважаючи на великий спектр охоплених питань в ППНВ без уваги залишаються певні аспекти, які впливають на безпеку перевізного процесу. Зокрема, згідно з ППНВ, а саме розділу 7 (таблиця 5,6) не дозволено сумісне пакування з різними знаками безпеки в один вагон через їх небезпечні

властивості та здатність до ініціювання одного вантажу через ініціювання іншого зі збільшеною зоною враження та більш негативних наслідків [16]. Однак дані положення стосуються тільки завантаження в один вагон і не враховуються на рівні формування поїзду, тобто вагони з НВ різних груп сумісності не розділяються вагонами з іншими категоріями вантажів, окрім вагонів прикриття від ведучого локомотиву.

Питання катастрофічних наслідків при настанні транспортних подій з НВ стоять дуже гостро перед АТ «УЗ». Тільки в результаті фосфорної аварії під Львовом, яка сталася 16 липня 2007 року, перекинулось 15 вагонів з жовтим фосфором, пожежу гасили 500 пожежників та 220 співробітників поліції, було пошкоджено 50 м залізничної колії, близько 100 м контактної мережі і три опори. Під час гасіння пожежі утворилася отруйна хмара з продуктів горіння із зоною враження 90 квадратних кілометрів [17]. В результаті пожежі продуктами горіння отруїлося 16 осіб, з яких 13 в стані важкої і середнього ступеня тяжкості було госпіталізовано. Наслідки при аналогічній аварійній ситуації можуть бути тяжкими, якщо поряд знаходяться НВ класу 1 (вибухові матеріали), через незначний повітряний проміжок між вагонами. З метою обґрунтування викладених положень доцільно провести аналіз аварійності з НВ при перевезенні їх залізничним транспортом.

### 1.3 Аналіз статистичних даних перевезення небезпечних вантажів та аварійних ситуацій з ними

На сьогоднішній день сучасна промисловість не може обійтися без використання або виділення небезпечних для навколишнього середовища та життя людини речовин. Споживачами речовин, виробів і матеріалів, які мають небезпечні властивості, є всі галузі промисловості, що викликає необхідність в їх практично безперервному перевезенні на мережі залізниць.



У найбільш промислово розвинутих державах–членах Євросоюзу частка перевезень НВ становить близько 20% від загального обсягу перевезень, з них майже 40% припадає на легкозаймісті рідини (зокрема, паливо) [18]. Територією України перевозяться понад 1000 найменувань різних НВ, що складає близько 15% від загальної кількості вантажів.

Відповідно до даних, які надані АТ «Укрзалізницею» за 2019 рік було перевезено 14 180,077 тис. т вантажу, з яких 2 733,433 тис. т відправлено на експорт, 4 325,163 тис. т імпорتنі перевезення та 1 629,809 тис. т. транзитні перевезення [19].

Всього було перевезено 352 279 вагонів та 27 642 контейнерів з НВ. Порівняльний аналіз вантажообігу небезпечних вантажів за 2018–2019 роки наведено в таблиці 1.2 [19, 20] та зображено на рисунку 1.2.

Таблиця 1.2 – Порівняльний аналіз вантажообігу небезпечних вантажів за 2018–2019 роки

Вид перевезень	2018 рік	2019 рік
Експортні перевезення, тис. т	2 365,654	2 733,433
Імпорتنі перевезення, тис. т	2 525,776	4 325,163
Транзитні перевезення, тис. т	2 001,570	1 629,809
Внутрішні перевезення, тис. т	5 485,147	5 491,672
Всього, тис. т	12 378,147	14 180,077

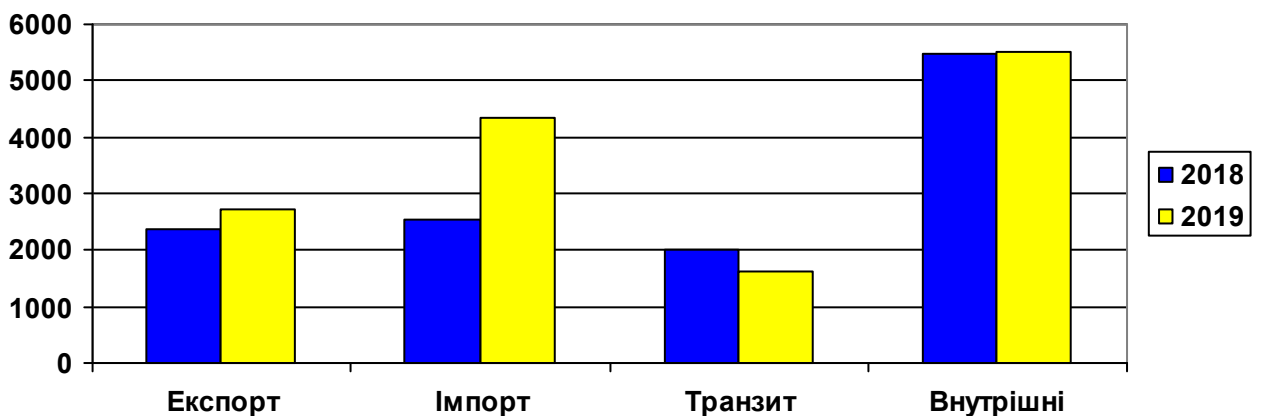


Рисунок 1.2 – Динаміка зміни кількості перевезених вантажів за видами перевезень у 2019 році в порівнянні з 2018 роком.

За даними Державної служби статистики, обсяги залізничних вантажоперевезень у січні–липні поточного року впали на 7,5% (проти аналогічного періоду 2019 року). Так, від початку року залізниця перевезла 168,3 млн тонн вантажів, вантажообіг склав 96 737 млн ткм, що на 9% менше [21].

На сьогодні резерви технічних потужностей залізничного транспорту, його провізної спроможності практично вичерпані, що ставить під загрозу можливість безперервного задоволення зростаючих потреб суспільства у транспортному обслуговуванні та гармонійний розвиток міжнародного співробітництва.

Основними проблемами галузі залізничного транспорту є:

- значний знос основних виробничих фондів, насамперед рухомого складу;
- недостатній обсяг інвестицій, необхідних для оновлення основних виробничих фондів та забезпечення інноваційного розвитку галузі;
- перехресне субсидування збиткових пасажирських перевезень за рахунок вантажних перевезень;
- недосконалість організаційної структури та системи управління галуззю.

Проводячи аналіз можливостей видів транспорту слід зазначити, що залізниця України є не тільки вагомою частиною народногосподарського комплексу України, а також є значним транзитним коридором між Сходом і Заходом. На сьогодні українська залізниця межує із залізницями Польщі, Словаччини, Угорщини, Румунії, Молдови, Білорусі та Росії, і забезпечує роботу по 56 міжнародним залізничним переходам, а також обслуговує 18 морських портів та річок Дніпра і Дунаю [22]. Важливий показник, що характеризує міжнародне співробітництво між залізницями світу є об'єм транзитних перевезень. Як видно з рисунку 1.3, об'єм транзитних перевезень за 2019 рік зменшився на 2236,54 млн.ткм у порівнянні з 2018 роком, що становить близько 13% [23]. Це свідчить про важливість впровадження інноваційних розробок в галузі, що дозволить покращити якість роботи та надасть можливість підвищити рівень конкурентоспроможності АТ «Укрзалізниця» серед інших видів транспорту.

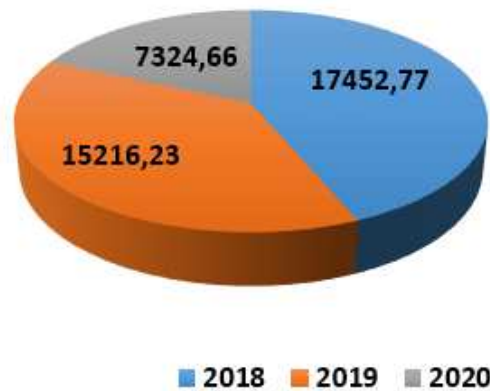


Рисунок 1.3 – Об’єм транзитних перевезень за 2018, 2019 та перше півріччя 2020 року

Доцільно провести розширений аналіз виконання показників експлуатаційної роботи для виявлення тенденцій щодо їх погіршення або покращення. Зокрема обіг вантажного вагону – основний комплексний показник роботи, який характеризує якість використання вагонного парку не має суттєвих змін за останні роки в сторону покращення. Даний показник має важливе значення, адже його збільшення вказує на недосконалу систему управління перевезеннями, що впливає на експлуатаційну роботу мережі, дирекцій, напрямків та залізниці в цілому. На рисунку 1.4 наведено аналіз обігу вантажного вагону за останні роки [23].

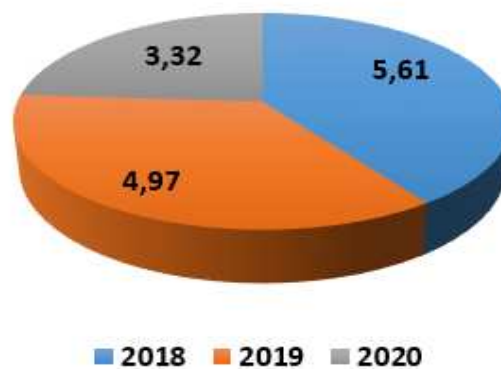


Рисунок 1.4 – Аналіз обігу вантажного вагону за 2018, 2019 та перше півріччя 2020 року

Одним з основних експлуатаційних показників, який в свою чергу є складовою обігу вантажного вагону – середній час знаходження вагону під однією вантажною операцією. Даний показник схильний до постійних коливань, що обумовлено рядом факторів. Як видно з рисунку 1.5 величина простою вагонів під однією вантажною операцією, не дивлячись на незначне покращення залишається занадто великою [23]. Проводячи аналіз даного показника в розрізі перевезення НВ стає зрозумілим необхідність його зменшення, адже такі вантажі несуть в собі потенційну небезпеку викликаючи необхідність в їх швидкому просуванню по мережі залізниці.

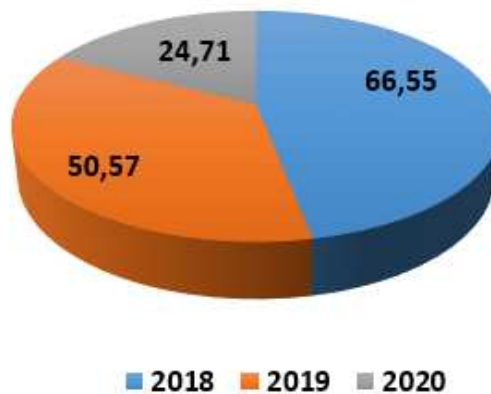


Рисунок 1.5 – Середній час знаходження вагону під однією вантажною операцією за 2018, 2019 та перше півріччя 2020 року

Приведений на рисунку 1.6 аналіз середнього часу простою транзитного вагону на технічній станції показує збільшення показника за 2019 рік до 14,5 годин у порівнянні з 13,3 годин за 2018 рік, що становить близько 7% [23]. Дана тенденція негативно впливає на безпеку руху з огляду на величину частки НВ серед інших вантажів, яка становить близько 15% і продовжує зростати. До цього слід додати, що на коліях призначених для вагонів з НВ значна частка несумісних класів даних вантажів знаходяться поряд один з одним, що негативно впливає на рівень ризику, що зростає в результаті настання аварійної ситуації.



Рисунок 1.6 – Середній час знаходження транзитного вагону на технічній станції за 2018, 2019 та перше півріччя 2020 року

Такі показники, як дільнична та технічна швидкість (рисунок 1.7 та рисунок 1.8) є динамічною складовою обігу вагону.

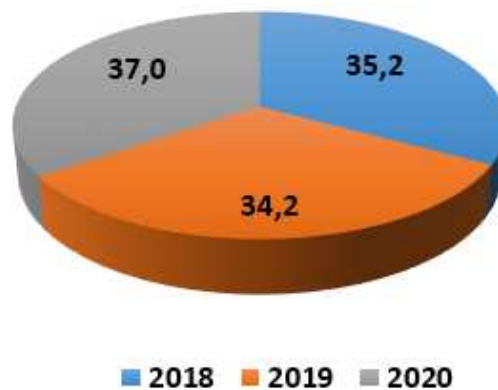


Рисунок 1.7 – Середня дільнична швидкість за 2018, 2019 та перше півріччя 2020 року

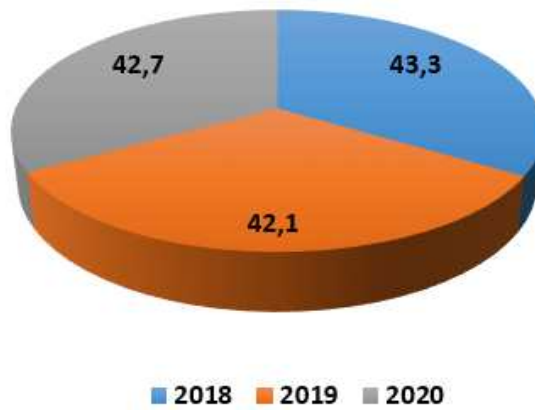


Рисунок 1.8 – Середня технічна швидкість за 2018, 2019 та перше півріччя 2020 року

Збільшення або сталий характер зазначених показників вказує на недосконалість роботи систем планування та управління поїздопотоками, особливо це стосується одноколійних перегонів в умовах приймання та пропуску поїздів на станції, тому актуальним є розробка нових та удосконалення діючих технологій просування поїздів з використанням інтелектуальних методів для їх швидкої та ефективної роботи.

Перевезення НВ є стратегічно важливим з точки зору забезпечення високого рівня безпеки на транспорті. Протягом 2019 року спостерігалось збільшення в 3 рази кількості транспортних подій під час перевезення небезпечних вантажів залізничним, авіаційним, морським і річковим транспортом (з 11 подій у 2018 році до 34 у 2019). Втрачено 9,86 тон вантажу проти 74,9 тон у 2018 (рисунок 1.9) [19].

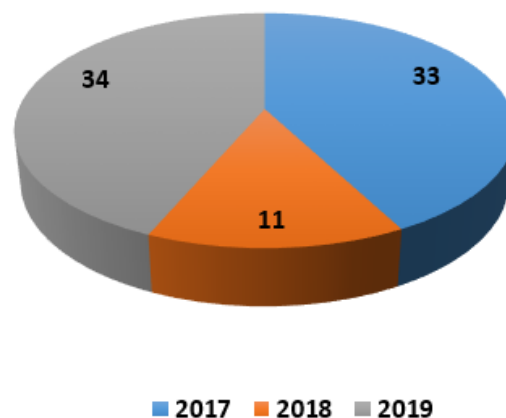


Рисунок 1.9 – Транспортні події під час перевезення НВ за 2017–2019 рр усіма видами транспорту.



Слід зазначити, 100% від загальної кількості транспортних подій під час перевезення НВ залізничним, авіаційним, морським і річковим транспортом у 2017–2019 роках сталися на залізничному транспорті. Дана негативна тенденція пояснюється, з одного боку, недосконалістю систем управління перевізним процесом, про це свідчить погіршення основних експлуатаційних показників, що характеризують якісну роботу залізничної мережі. З іншого, відсутністю обґрунтовано виділеної класифікаційної компоненти для НВ різних класів небезпеки [16], що спричиняє більшу зону враження при настанні аварійної ситуації з НВ. Так на рисунках 1.10, 1.11 показані наслідки аварійних ситуацій, що сталися при перевезенні НВ залізничним транспортом.



Рисунок 1.10 – Наслідки аварійної ситуації з небезпечним вантажем класу 2



Рисунок 1.11– Наслідки аварійної ситуації з небезпечним вантажем класу 2

Як видно з рисунків 1.10 та 1.11 вагони з НВ в складі поїзда не розділяються додатково вагонами зі звичайними вантажами або порожніми, що спричиняє більш значні наслідки в результаті аварійних ситуацій з ними. В складних умовах роботи на залізничній станції оперативному персоналу практично неможливо узагальнити та систематизувати потік вхідної інформації. Діючі технології, що використовуються на сьогоднішній день мають застарілу реалізацію в технічному аспекті, тому доцільним буде провести їх розширений аналіз.

1.4 Аналіз автоматизованих інтелектуальних технологій в сфері перевезення небезпечних вантажів

Інформатизація перевезень – найважливіший засіб підвищення ефективності роботи галузі та вимагає постановки і вирішення низки задач. Для забезпечення



високого рівня інформатизації та виконання технологічного процесу роботи на залізничному транспорті необхідно використовувати сучасні інформаційні системи та автоматизовані системи управління (АСУ). АСУ орієнтовані на широке й комплексне використання технічних засобів та економіко–математичних методів для розв'язування інформаційних завдань управління [24].

Автоматизація перевізного процесу на залізницях України почалася в середині 70–х років у складі СРСР. Першим розробником АСУ на залізничному транспорті було визначено ПКТБ АСУ ЗТ (м. Москва). Вже на початку 80–х років була розроблена система оперативного управління перевезеннями на рівні залізниці (АСОУП) [25]. З розпадом СРСР перед залізницями України гостро постали проблеми розробки власних технологій для автоматизації перевізного процесу. На теперішній час на залізницях діє близько 1000 автоматизованих систем, із яких можна особливо виділити єдину автоматизовану систему керування вантажними перевезеннями Укрзалізниці (АСКВПУЗ–Є). АСКВПУЗ–Є була введена в експлуатацію у 2012 році, над її створенням працювало 150 українських розробників на протязі трьох років, складено близько 5 тисяч томів технічної документації, забезпечували запуск понад 500 спеціалістів Укрзалізниці та залізниць України [26].

АСКВПУЗ–Є являє собою модернізовану версію автоматизованої системи керування вантажними перевезеннями (АСКВПУЗ) [26]. До основних переваг АСКВПУЗ–Є можна віднести:

- оперативність надходження інформації, яка веде за собою значну економію часу на переробку та аналіз документації;
- надійність безперебійного забезпечення даними. Це стало можливим після придбання та встановлення на базі Головного інформаційно–обчислювального центру в Києві найсучаснішого обладнання в цій галузі;
- економія фінансових коштів, яка досягається завдяки встановленню одного потужного комплексу замість шести окремих для кожної із залізниць;
- можливість надання потрібної інформації не лише безпосереднім учасникам перевізного процесу (службі перевезень) і галузевим господарствам,

які забезпечують безпечність та надійність функціонування залізниць (служби локомотивного, колійного, енергетичного господарств та інших), а й самим відправникам і одержувачам вантажів (клієнтам залізниць);

– наявність так званого «штучного інтелекту» системи, тобто можливість не тільки приймати та передавати інформацію, а й аналізувати, осмислювати, узагальнювати її та автоматично формувати довідки. Наприклад, якщо при прийманні вантажів до перевезення документи містять некоректні дані або не відповідають формі, система миттєво знаходить помилки і повертає документи на доопрацювання;

– можливість інтегрування вже розглянутих вище автоматизованих систем для швидкого і точного отримання потрібних даних. На сьогоднішній день налагоджена взаємодія з бухгалтерською системою «ФОБОС» та АС РОДУЗ НФ, в подальшому планується інтегрування в АСКВПУЗ-Є систем диспетчерської сигналізації, автоматизованої системи управління майновим комплексом та іншими, які будуть з'являтися на залізницях [27].

Безумовно подальше впровадження та удосконалення на залізничному транспорті АСКВПУЗ-Є надасть позитивний результат в питанні автоматизації управління перевізним процесом.

На сьогоднішній день з метою використання систем диспетчерського управління, що дозволяють керувати перевізним процесом під контролем людини активно впроваджуються такі системи як МСДЦ «КАСКАД» [28]

Мікропроцесорна система диспетчерської централізації «КАСКАД» (МСДЦ «КАСКАД»), призначена для застосування на залізничному транспорті з метою забезпечення заданої пропускної спроможності залізниць і безпеки руху при централізованому (диспетчерському) управлінні об'єктами автоматики на станціях, а також автоматизації та максимального спрощення операцій по управлінню рухом поїздів, зменшення навантаження на поїзних диспетчерів, забезпечення доступу до інформації про поїзний стан та іншим користувачам центру управління перевезеннями (ЦУП) регіонального рівня, а також

інформаційного забезпечення автоматизованих систем управління вантажними перевезеннями через локальну і глобальну мережі.

МСДЦ «КАСКАД» побудована за модульним принципом, максимально уніфікована, розроблена з використанням сучасних технологій. Програмне забезпечення має високу ступінь супроводу і максимальну незалежність від апаратної платформи [29].

Автоматизоване робоче місце поїзного диспетчера (АРМ ДНЦ) в складі мікропроцесорної системи диспетчерської централізації «КАСКАД» забезпечує контроль і управління перевізним процесом на підставі інформації отриманої від пристроїв СЦБ.

Інформація відображається на трьох або більше моніторах у вигляді: загальної схеми ділянки, детальної мнемосхеми однією зі станцій керованої ділянки, графіка руху на ділянці. Управління відбувається за допомогою клавіатури або маніпулятора «миша».

Комп'ютери АРМ ДНЦ взаємодіють через локальну мережу з сервером ділянки, який в свою чергу через комунікаційний сервер взаємодіє з комп'ютерами лінійних станцій (ЛП КАСКАД).

Основні функції які забезпечує АРМ ДНЦ при управлінні перевізним процесом:

- детальне відображення поїзної ситуації та стану об'єктів контролю на ділянці;
- управління об'єктами СЦБ (пряме, з програмним стеженням, по заданих або накопичених маршрутах, прогнозне управління);
- автоматичну реєстрацію проходження поїзда по ділянці;
- ідентифікацію рухомої одиниці;
- автоматичне керування схрещенням, обгоном і пропуском поїздів на заданих станціях;
- інтерпретацію процесу проходження поїздів на ділянці у вигляді графіка виконаного руху в реальному режимі часу;
- автоматичне формування графіка прогнозного руху;

- автоматичне ведення системного журналу з реєстрацією сигналів телеуправління, телесигналізації, діагностики і дій поїзного диспетчера;
- відображення за минулі періоди часу (до 30 діб) поїзної ситуації та стану об'єктів контролю на ділянці у вигляді «фільму»;
- взаємодія з системою АСОУП.

В країнах ЄС реалізована так звана цифрова залізниця, що стало можливим шляхом поєднання систем автоматичного захисту поїздів (Automatic Train Protection (ATP)) та автоматичного контролю поїздів (Automatic Train Control (ATC)) [30]. В основу розробленої та діючої сучасної технології автоматичного керування рухом поїздів Європейської системи управління рухом на залізничному транспорті (European Rail Traffic Management System, ERTMS) покладено ідею безперервного контролю за перевізним процесом за допомогою сукупності різних технічних засобів, завдяки чому досягається безпечне зменшення інтервалу попутного прямування, а значить збільшення пропускної здатності на мережі залізниць. До складу ERTMS входять:

- Європейська система управління рухом поїзду (European Train Control System, ETCS) – стандарт для управління рухом поїзда у кабіні машиніста;
- GSM–R, стандарт мобільного зв'язку GSM для залізничних перевезень. GSM–R забезпечує захищені лінії голосового зв'язку і передачу даних між залізничними службами і поїздами.

Технологія координатного регулювання забезпечує гнучку зміну інтервалів в залежності від динамічно мінливої довжини гальмівного шляху складу поїзда та розташування локомотивів і кінцевих вагонів за даними супутникової навігації. Залежно від вимог, що пред'являються до конкретної ділянки залізниці, виділяють чотири основних рівня ETCS: від нульового до третього.

- Рівень 0: наявні підлогові пристрої СЦБ не включені в ETCS. Бортова система контролює тільки дотримання швидкісного режиму для даного типу рухомого складу на ділянці. Даний рівень реалізації не застосовується на міжнародних маршрутах, оскільки через те, що видимі сигнали в різних країнах

відрізняються, при проходженні кордону стає необхідним обов'язкова зміна локомотивних бригад.

– Рівень 1: перегони поділяються на блок-ділянки прохідними сигнальними точками, довжина кожної не менше ніж гальмівний шлях поїзду. Дана організація руху найбільш наближена до системи автоблокування. Інформація про характеристику колії, а також дані світлофорів кодуються колійним електронним блоком та передається через євробалізи або євролуп (випромінюючий кабель).. Спеціальний зчитувач під днищем поїзда приймає її, бортовий комп'ютер дешифрує дані, після чого розраховує оптимальну швидкість, криву гальмування, виводячі дані на пульт машиніста. Інформація оновлюється при кожному наступному проходженні баліз.

– Рівень 2: характеризується безперервним обміном інформацією по двосторонньому цифровому радіоканалу стандарту GSM-R. Дані про рух поїзду з бортової системи передаються в цент управління, де порівнюються з запланованим графіком руху, після чого вже оновлені та відкореговані дані по мережі цифрового радіозв'язку передаються в бортову інформаційно-керуючу систему рухомого складу для інформування машиніста про відхилення від графіка руху та подальшого прийняття рішень з управління поїздом. Безперервний обмін дозволяє скоротити інтервал попутного прямування в порівнянні з традиційними системами СЦБ.

– Рівень 3: інформація передається через GSM-R, поїзд додатково обладнується системою перевірки цілості рухомого складу, що дозволяє відмовитись від напольного обладнання. Також при застосуванні третього рівня відпадає необхідність поділу перегону на блок-ділянки, що дозволяє безпечно скоротити інтервали попутного прямування і тим самим максимально збільшити пропускну здатність лінії.

Також системою передбачений рівень NTC (National Train Control – національна система управління рухом поїздів), яка передбачає додаткове оснащення поїзда пристроями для взаємодії з національними системами СЦБ, що не є інтегрованими в ETCS. Однак впровадження NTC пов'язано зі значними

матеріальними та трудовими витратами, з цієї причини використання її не знайшло широкого застосування.

Впровадження штучного інтелекту до управління перевізним процесом веде до глобальних змін в транспортній галузі. Окрім безумовних переваг, таких як зменшення «людського фактору», який відіграє не останню роль в допущенні помилок та прийнятті неправильних рішень збільшуючи ризик настання несприятливої події з негативними наслідками, залишаються відкритими питання скорочення трудових ресурсів та етичні проблеми, що стосуються рішень, які приймаються штучним інтелектом, це в свою чергу можна віднести до так званого «фактору штучного інтелекту». Тому доцільним є приділити увагу розробці СППР, які будуть формувати готові управлінські рішення з остаточним вибором людиною–оператором до перетворення їх в дію [5].

В подальших дослідженнях автоматизованих технологій перевізного процесу доцільно провести аналіз наукових досліджень спрямованих на удосконалення систем оперативного планування та управління експлуатаційною роботою.

#### 1.5 Аналіз наукових досліджень з питань технології формування та просування поїздів з небезпечними вантажами

При перевезенні НВ необхідно приділяти увагу, як питанням превентивних заходів попередження аварійної ситуації, так і зменшенням величини негативних наслідків у випадку її настання.

Питаннями формування та просування поїздопотоків у тому числі із НВ займалися такі вчені, як Абрамов А.А., Акулінічев В.М., Архангельський Є.В., Бернгард К.А., Бобровський В.І., Бутько Т.В., Вернигора Р.В., Губенко В.К., Данько М.І., Жуковицький І.В., Іловайський М.Д., Киман А.М., Козаченко Д.М., Козлов В.Є., Ковальов А.О., Котенко А.М., Кузнецов Г.А., Лаврухін О.В., Ломотько Д.В., Мацюк В.І., Міроненко В.К., Музикіна С.І., Нагорний Є.В.,

Негрей В.Я., Нечаєв Г.І., Огороков А.М., Прохоров В. М., Прохорченко А.В., Угрюмов А.К., Скалозуб В.В., Сміхов А.О., Сотніков Є.А., Стасюк О.І., Тевельов Ф.А., Тихоміров І.Г., Чернюгов А.Д., Чехунов Д.М., Шаров В.А., Шибасєв О.Г., Яновський П.О.

До класичних робіт, що відносяться до напрямку удосконалення оперативного планування та управління експлуатаційною роботою можливо віднести наступні дослідження [31-48], в яких основну увагу приділено формуванню основних технологічних аспектів, що є базою існуючої системи оперативного управління вантажними перевезеннями на залізничному транспорті.

У більш сучасних наукових роботах [49-50], що можна віднести до розробок у галузі удосконалення технології оперативного планування розглядаються питання формування системи електронного документообігу та розробки принципів побудови системи підтримки прийняття рішень при управлінні вантажними перевезеннями, які дозволяють частково впливати на процес просування поїздопотоків.

В наукових роботах [51-62] використовуються принципово нові підходи до організації перевізного процесу оперативними працівниками залізничного транспорту. Для формування СППР з розподіленим штучним інтелектом застосовуються іноваційні математичні апарати та нестандартні методи, зокрема: апарат нечіткої логіки та нечітких множин (Fuzzy Logic), генетичний алгоритм (Genetic Algorithm), мурашиний алгоритм (ant colony optimization, ACO), штучний алгоритм бджолиних колоній (artificial bee colony optimization, ABC). Використання іноваційних підходів дозволило перейти на якісно новий рівень в питаннях інтелектуальної автоматизації залізниць.

Перевезення НВ є специфічною сферою господарювання та вимагає беззаперечного дотримання положень викладених в нормативно-правових документах, які мають, як обов'язковий, так і рекомендаційний характер виконання.

Так, важливість чіткого виконання вимог нормативних документів та міжнародних конвенцій щодо перевезення НВ розглянуто в роботі [63]. В дослідженні йдеться про транспортування радіоактивних матеріалів та речовин

залізничним транспортом, що при нормальній експлуатації мінімізує небезпеки техногенного характеру, як на особовий склад перевезення спеціальних вантажів, так і на довколишнє середовище.

В роботах [64] на основі проведеного аналізу надзвичайних транспортних подій під час перевезення НВ виявлено різні причини. Значна частка таких подій відбувається через технічну несправність вагонів й катастрофічний знос основних фондів, а також через порушення вимог безпеки, які призводять до значної матеріальної шкоди. Тому питання вдосконалення саме технології перевезення небезпечних вантажів на різних ланках процесу транспортування на сьогодні є надзвичайно важливим та можливе лише за умови вдосконалення усіх чинників перевізного процесу: організаційно–технічного, технологічного, інформаційного, кадрового та ін.

На сьогоднішній день вирішення питання щодо формування та просування поїздів з НВ не повинно залежати тільки від документації, яка зазвичай носить рекомендаційний характер та суб'єктивного фактору. В даному випадку мова йде про застосування сучасних засобів обробки інформації – комп'ютерних технологіях.

Так в роботі [65] проведено дослідження основних показників, що відносяться до перевізного процесу НВ в сучасних умовах функціонування залізничного транспорту з метою формування іноваційних методів підвищення безпеки перевезення НВ залізничним транспортом, а також технологічних і організаційних заходів, які спрямовані на зниження ризиків виникнення аварійних ситуацій з ними. В даній роботі розроблено деталізовану структуру факторів, які впливають на умови роботи залізничних станцій під час транспортування НВ та запропоновано заходи щодо вдосконалення технології роботи станцій мережі залізниць, з впровадженням яких стає можливим підвищити рівень безпеки перевезення таких вантажів.

В роботі [66] формалізовано систему перевезення НВ залізничним транспортом у вигляді орієнтованого графу станів: безпечного функціонування системи перевезень, настання надзвичайної ситуації при транспортуванні НВ, її оцінювання, локалізації та ліквідації її наслідків, а також повернення системи у



вихідний стан. Сформовано математичні моделі, які покладено в основу роботи технології, що дозволяє розраховувати ймовірності перебування системи залізничних перевезень НВ у стані безпечного функціонування в залежності від застосування тих чи інших технологічних та організаційних заходів підтримання системи у стані надійності для зменшення негативних економічних та екологічних наслідків надзвичайної ситуації.

В роботі [67] сформовано модель оцінки імовірності виникнення аварій з вагоном із небезпечним вантажем на сортувальній станції з використанням математичного апарату байєсових мереж та нечіткої логіки. Дана модель дозволяє детально оцінити ризик виникнення аварій з вагоном із НВ і побудувати функції ненадійності від часу, надає можливість використовувати інформацію про події та поточний стан об'єктів на сортувальній станції. В рамках дослідження розглянуто оцінку імовірності виникнення аварії з вагоном з НВ тільки під час його перебування на сортувальній станції та не приділено увагу просуванню поїздопотоків з такими вантажами по мережі залізниць при підтримці оперативного персоналу інтелектуальними системами.

В роботі [68] сформовано модель оперативного управління процесом просування вагонів з небезпечними вантажами в підсистемі «технічна станція – прилегла ділянка» на базі нечіткої ситуаційної мережі. Впровадження представленої моделі дозволяє зменшити ризики виникнення потенційно можливої транспортної події й пов'язаних з нею збитків під час виконання поїзної або маневрової роботи шляхом інтелектуальної підтримки планування на оперативному рівні. Розроблення та подальше впровадження її до системи підтримки прийняття рішень надасть можливість знизити кількість транспортних подій з причин організаційного характеру. При цьому, в роботі недостатню увагу приділено ризикам, що можуть виникати при прямуванні поїздів з НВ в умовах пасажирського руху, як на перегонах, так і розмежувальних пунктах, що в свою чергу може призвести до більш значних наслідків в результаті аварійної ситуації.

Проблеми аварійності при перевезенні НВ стоять перед всім залізницями світу і шляхи їх вирішення ґрунтуються на широкомасштабному застосуванні

передових комп'ютерних технологій. Їх впровадження та застосування дозволяють обробляти заочні потоки оперативної та нормативної вхідної інформації з послідуною обробкою та наданням конкретного рішення.

Значна кількість іноземних вчених займалися питаннями удосконалення технології перевезення НВ, а саме М Bagheri, A. Conca, S Chenouri, B. Drzewieniecka, L. Fu, , T. Luan, R. Macciotta, M. Nowak, F Saccomanno , M. Solc.

В більшості робіт закордонних вчених основну увагу при перевезенні НВ приділено питанням управління ризиків, а саме їх мінімізації. Управління ризиками являє собою процес прийняття і виконання управлінських рішень, спрямованих на зниження ймовірності виникнення несприятливої події та мінімізацію можливих втрат в результаті її настання.

Для ефективного управління ризиками, першочерговим є:

- ідентифікація ризиків;
- виявлення рівню небезпеки, що включає аналіз та оцінку ризиків;
- виявлення стратегії реагування на ризик шляхом підбору відповідних методів боротьби з ними;
- контроль, моніторинг, оцінка результатів впливу обраних методів на ризик, регулярне відстеження змін;
- розвиток подальшої стратегії впливу на ризик.

Як зазначалось раніше одним з головних етапів в процесі управління ризиками є їх аналіз та оцінка, як кількісна, так і якісна. Як правило, якісна оцінка ризиків проводиться за допомогою експертів в конкретній галузі. Але на сьогоднішній день не існує офіційно встановлених критеріїв підбору та оцінки компетентності експертів, немає єдиної методики, що дозволяє оцінити ризики на підставі відповідей експертів, ні в цілому, ні по галузях промисловості.

Так, в роботі [69] розглянуто специфіку перевезення НВ залізничним транспортом. Проведено детальний аналіз діючою нормативно–правовою документації забезпечення перевезення НВ у міжнародному сполученні. Основну увагу приділено розробленню методів по управлінню ризиками таких перевезень, що включають в себе ідентифікацію окремих ризиків, визначення зон

найбільшого ризику при настанні аварійної ситуації, якісну та кількісну оцінку ризиків експертними методами та методами дерева рішень. Використання розроблених методів дозволить мінімізувати ступінь ризику до прийнятного рівня. Одним з представлених методів є – матриця ризику, яка використовується для оцінки ризику, визначення основних зон, де може виникнути високий рівень ризику, а також для визначення ризиків низького рівня, якими можна знехтувати.

В роботі [70] проведено аналіз безпеки руху та аварійності на залізничному транспорті, виявлено, що найбільші збитки та негативні наслідки виникають через транспортні події при перевезенні НВ. Вказано, що понесені втрати можуть бути зменшені за рахунок комплексного впровадження різнопланових заходів, щоб запобігти виникненню аварійних ситуацій. Окремі дії тільки зменшують імовірність виникнення конкретного ризику, тоді як сума адекватно обраних заходів дозволить знизити рівень ризику до прийнятого рівня. При цьому, авторами проігноровані питання розробки технологій в області інтелектуального моделювання, методам ситуаційного управління та методам лінгвістичного моделювання в неklasичних логіках.

В дослідженні [71] показано, що рівень збитків через аварійні ситуації з НВ на залізничному транспорті постійно зростає, що пов'язано з високим рівнем ризиків таких перевезень. Це, в свою чергу, викликає необхідність враховувати всі види небезпек, які можуть виникнути при транспортуванні таких вантажів. В дослідженні проведено моделювання в програмі ALOHA, яке дозволяє проілюструвати наслідки, ступінь загрози та масштаб інциденту через викид аміаку з цистерни в результаті аварійної ситуації. Показано, що найбільш часта причина виникнення таких ситуацій – є зіткнення вагонів. В дослідженні проведено імітаційне моделювання можливих сценаріїв при перевезенні НВ та надані загальні рекомендації щодо запобігання транспортних подій. Однак в дослідженні не приділено уваги динамічному коригуванню поїзної ситуації для приймання швидких, управлінських рішень оперативним персоналом.

В роботі [72] метою є розробка елементів інтегрованої системи безпеки для зони ризику виникнення транспортних подій з НВ, з подальшим її використанням

в міжнародному сполученні та іншими видами транспорту. Рішення основних задач дослідження вирішувались використанням комп'ютерного моделювання, порівняльної типології, кругових експертних оцінок, статистичного аналізу, теорії ймовірності, теорії подібності та ін.

В роботі [73] розроблено інструмент оцінки та систематизації ризиків при перевезенні небезпечних вантажів залізничним транспортом. Дані ризики пов'язані з найбільш розповсюдженими причинами сходу рухомого складу з колії та іншими аварійними ситуаціями на перегонах зареєстрованих в Канаді на основі частоти проходження поїздів по дільниці, швидкості руху, характеристики залізничної колії та інших факторів. Однак в посиланнях [72, 73] не використовуються інтелектуальні методи, які б надали можливість коригувати дії диспетчерського апарату відносно поїзної ситуації з високим рівнем ризику настання аварійної ситуації, яка вже склалася на полігоні або станції. Це, в свою чергу, не дає можливості уникнути більш значних наслідків в її результаті.

Питаннями формування «достатньо безпечної» композиції рухомого складу в умовах визначення та мінімізації ризиків займалися провідні вчені Канади та США, що вказує на зацікавленість і перспективність даного напрямку досліджень.

Так, в роботах [74, 75] розроблено технологію оцінки ризику сходження рухомого складу з колії при перевезенні НВ. Представлена технологія використовує імовірність сходження поїзду з колії, враховуючи розміщення вагонів з НВ по відношенню один до одного та застосовується до імітаційного транспортного коридору з метою демонстрації отриманих результатів. Однак в посиланнях [74, 75] не враховуються експлуатаційні витрати, які зростають в результаті збільшення кількості маневрових операцій.

В роботах [76-79] представлені підходи щодо управління ризиками при перевезенні НВ автомобільним, авіаційним та морським транспортом, виявлено, зростаючий об'єм таких вантажів в міжнародному сполученні різними видами транспорту. Однак розглянуті підходи [76-79] використовують стандартні математичні методи моделювання без формалізації інструктивної мови диспетчерського персоналу та не враховують специфіки перевезення НВ саме

залізничним транспортом, що в свою чергу вказує на важливість розробки передових ризик-орієнтованих технологій по перевезенню таких вантажів залізницею для підвищення рівня її конкурентоспроможності з іншими видами транспорту і для покращення якості мультимодальних, інтермодальних та контрейлерних перевезень.

Проводячи аналіз наукових досліджень, виявлено, що основну увагу приділено ідентифікації причин настання транспортних подій при перевезенні НВ, розроблено нормативно-правову базу, яка не в повній мірі охоплює специфіку таких перевезень. Враховуючи мінливі умови функціонування залізничних станцій, для поліпшення роботи оперативних працівників необхідна розробка та впровадження автоматизованої технології, яка б надавала можливість приймати зважені рішення на основі обробки великої кількості вхідної інформації за відносно короткий проміжок часу з динамічним корегуванням поїздопотоків з НВ.

## 1.6 Висновки до першого розділу

1. Проведено аналіз діючою технології експлуатаційної роботи під час якого виявлено основні засади на яких базується структура, послідовність виконання операцій по формуванню та просуванню поїздопотоків у тому числі із небезпечними вантажами. Виявлено, що при виконанні процедури з розформування-формування поїздів на технічній станції персонал спирається на нормативну базу, що включає в себе Інструкцію з руху поїздів (ІРП), Правила технічної експлуатації (ПТЕ), технічно-розпорядчий акт станції (ТРА), технологічний процес роботи станції. Діюча технологія роботи по розформуванню-формуванню поїздів не передбачає використання ризик-орієнтованих підходів щодо формування «достатньо безпечного поїзду» з небезпечними вантажами різних груп сумісності, тобто композиція такого поїзду має довільний характер, що може призвести до серйозних наслідків в результаті аварійної ситуації, як на станції, так і на перегоні.

2. В результаті аналізу вітчизняного та закордонного досвіду виявлено, що питанням раціонального та безпечного формування поїздів з НВ приділено недостатню увагу. Діюча технологія передбачає випадковий порядок постановки вагонів з небезпечних вантажів різних класів в склад поїзду відповідно ПФП. До того ж, відповідно до вітчизняної та міжнародної нормативно–правової бази зазначено, що пакування з різними знаками безпеки не повинні завантажуватись в один вагон або контейнер сумісно, якщо сумісне завантаження не дозволяється. Дані положення стосуються тільки завантаження таких вантажів в один вагон і не враховуються на рівні формування поїзда, хоча перевезення даних вантажів поруч можуть призвести до більш негативних наслідків в результаті аварійної ситуації з ними. Це вимагає дій по створенню гнучкої автоматизованої технології формування та подальшого просування поїздопотоків, які мають в своєму складі вагони з небезпечними вантажами, враховуючи різні класи безпеки.

3. Проведено аналіз статистичних даних основних показників роботи АТ «Укрзалізниця», в результаті якого виявлено, що об'єм транзитних перевезень з 2018 року зменшився на 2236,54 млн.ткм, що становить близько 13%, частка НВ з яких складає, в залежності від сезону – майже 15%. Слід зауважити, що середній час простою транзитного вагону на технічній станції з 2018 року збільшився на 1,2 години, що становить близько 7%, обіг вантажного вагону – основний комплексний показник роботи не має суттєвих змін за останні роки в сторону покращення. На основі проведеного аналізу офіційних даних, наданих Міністерством Інфраструктури України, стану аварійності при перевезенні небезпечних вантажів, визначено, що за 2017–2019 роки по всіх видах транспорту зафіксовано загалом 78 транспортних подій, з яких 100% припадає на залізничний транспорт. Такий стан ситуації вимагає швидкої розробки техніко–технологічних заходів щодо усунення причин аварійних ситуацій та зменшення негативних наслідків від них. Визначені негативні тенденції свідчать про недосконалість існуючих технологій формування та просування вагоно– та

поїздопотоків, що веде до втрати позицій залізничного транспорту в умовах зростаючої конкуренції з іншими видами транспорту.

4. Автоматизовані технології, що використовуються на сьогоднішній день на залізничному транспорті України носять в основному довідковий характер та не мають реалізованої в повній мірі складової частини з елементами штучного інтелекту, що могло б допомогти оперативному персоналу приймати рішення на основі обробки вхідного потоку інформації. Тому основним напрямком розвитку галузі, її автоматизації та інформатизації є розробка інтелектуальних систем і технологій на основі еволюційних методів, що базуються на ситуаційних принципах управління з використанням елементів систем підтримки прийняття рішень, які дозволять автоматизувати процес формування та просування поїздо- та вагонопотоків з небезпечними вантажами враховуючи сумісність класів безпеки таких вантажів на глобальному рівні.

5. На основі аналізу наукових робіт в сфері перевезення небезпечних вантажів виявлено майже повну відсутність розмеження між організацією перевізного процесу для звичайних вантажів і небезпечних. Основну увагу приділено ідентифікації причин настання транспортних подій при перевезенні небезпечних вантажів, розроблено нормативно-правову базу, яка не в повній мірі охоплює специфіку таких перевезень, при цьому недостатню увагу приділено ризикам, що можуть виникати при прямуванні поїздів з небезпечними вантажами в умовах пасажирського руху, як на перегонах, так і розмежувальних пунктах. Враховуючи динамічний характер роботи залізничних станцій, вплив «людського» фактору, потребу в підвищенні рівня безпеки перевізного процесу та задоволення потребі клієнтів АТ «Укрзалізниця» у високій якості послуг, що надаються, постає наукове завдання формування автоматизованої технології, яке буде знаходити компроміс між прийнятним рівнем експлуатаційних витрат та ризиками, а також допоможе оперативним працівникам приймати правильні рішення за відносно короткий проміжок часу.

## РОЗДІЛ 2

# РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ФОРМУВАННЯ ПОЇЗДІВ З НЕБЕЗПЕЧНИМИ ВАНТАЖАМИ НА ОСНОВІ РИЗИК–ОРІЄНТОВАНИХ ПІДХОДІВ

### 2.1 Передумови розробки автоматизованої технології формування поїздів з небезпечними вантажами

Головною метою при перевезенні вантажів та пасажирів на залізничному транспорті є забезпечення високого рівня безпеки під час перевізного процесу. При перевезенні НВ необхідно приділяти увагу усім етапам транспортування, адже дані вантажі несуть в собі потенційну небезпеку, а наслідки від аварійних ситуацій можуть бути непередбачуваними для навколишнього середовища та здоров'я людей. Аналіз попередніх досліджень та діючих нормативних документів в сфері перевезення небезпечних вантажів залізничним транспортом показав, що приділено недостатню увагу питанням формування состава поїзда до складу якого входять вагони з НВ різних категорій та класів безпеки, особливо їх розташування по відношенню один до одного.

При постановці у вантажні поїзди вагони з вантажами окремих категорій, зазначених в правилах перевезень вантажів на залізничному транспорті та Правилах перевезень небезпечних вантажів по залізницях, повинні мати відповідне прикриття з вагонів з безпечними вантажами або порожніх вагонів. Розташування в вантажних поїздах вказаних вагонів, здійснюється відповідно до порядку, встановленого Інструкцією з руху поїздів і маневрової роботи на залізницях України, виходячи з вимог правил перевезень вантажів на залізничному транспорті, Правил перевезень небезпечних вантажів по залізницях та інших нормативних актів адміністрації залізничного транспорту України. В Правилах перевезення небезпечних вантажів [16] вказано, що пакування з різними знаками безпеки не повинні завантажуватись в один вагон або



контейнер сумісно, якщо сумісне завантаження не дозволяється відповідно до таблиці 5. Вантажні одиниці, що містять речовини або вироби класу 1 і мають знаки небезпеки відповідно до зразків 1, 1.4, 1.5 або 1.6, але належать до різних груп сумісності, не дозволяється завантажувати в один вагон або контейнер, якщо відповідно до таблиці 6 для певних груп сумісності сумісне завантаження не дозволяється. Дані положення стосуються тільки завантаження таких вантажів в один вагон і не враховуються на глобальному рівні, при формуванні поїзда [80-85].

## 2.2 Розробка загальної стратегії автоматизованої технології формування поїздів з небезпечними вантажами на основі ризик-орієнтованих підходів

Технологія формування вантажних поїздів та пропуск їх по залізничних підрозділах, на даний час, практично однакова на всьому просторі СНД. Це ствердження справедливе в тому числі і для вантажних та сортувальних станцій, обладнаних гірками різних потужностей. Процес розформування-формування поїздів представляє собою доволі складну інженерну задачу, вирішення якої на залізничному транспорті України покладено на оперативних працівників станції таких як маневровий диспетчер, черговий по станції, черговий по гірці [86, 87]. В основу технології формування вантажних поїздів покладено параметр мінімальних експлуатаційних витрат, які в свою чергу залежать від часу знаходження вантажних вагонів на залізничній станції під різними операціями (обробка по прибуттю, очікування розформування, під накопиченням та ін.), часу роботи гіркових та маневрових локомотивів, який впливає на витрати паливно-енергетичних ресурсів та вантажів, які містяться у вагонах знову сформованого поїзда [88]. В першу чергу це стосується вагонів завантажених небезпечними вантажами різних класів [74, 89].

Логічно припустити, що на ризик виникнення транспортної події із поїздом, в складі якого містяться вагони з НВ, впливає не тільки їх наявність, але й їх кількість, клас та порядок розстановки у составі. Це припущення ґрунтується на основних вимогах діючих державних та міжнародних правил, стандартів та угод [10, 11, 16], в

яких наголошується, що НВ певних груп сумісності забороняється завантажувати у один вагон із–за підвищеної небезпеки впливу одного небезпечного вантажу на інший. Тобто ініціація одного небезпечного вантажу може призвести до ініціації іншого НВ, що в сукупності може призвести до більш серйозних наслідків зі збільшеною зоною ураження. Однак такі ситуації, на так званому глобальному рівні, тобто не у межах одного вантажного вагону, а у межах цілого поїзду у технологічних документах та відповідних правилах не визначені. Необхідність врахування такої вимоги виходить з порівняно незначної величини повітряного простору, який відділяє один вагон від іншого. При ініціюванні певних вантажів першого класу небезпеки така відстань не має принципового значення. Також, якщо вибухнуть цистерни з другим класом небезпеки, такий вибух розповсюдиться і на ті вагони, що знаходяться поряд, тим самим виникне ланцюгова реакція, яка може збільшити ступінь та зону ураження. Найбільш яскравим прикладом такої ситуації може бути розташування в одному складі поїзду один біля одного вагонів, завантажених вантажем першого класу (вибухові матеріали) та сьомого класу (радіоактивні матеріали) небезпеки. В даному випадку окрім вражаючого фактору вибуху додається радіоактивне ураження з ефектом розкидання [15].

Отже в основу формування технології составоутворення одноступінчастих поїздів повинні бути покладені принципи досягнення мінімальних експлуатаційних витрат та ризиків. Відповідно до цього стає можливим сформулювати цільову функцію математичної моделі, яка у повній мірі буде описувати визначену технологію. У неявному вигляді цільова функція може бути представлена наступним чином

$$C(v) = \left( \sum_{j=1}^{n_j(v,w)} I(v), R(v), M(v) \right) \rightarrow \min \quad (2.1)$$

де  $v$  – змінний вектор, який співставляє кожному елементу із множини вихідного потоку вагонів, із номером составу, що формується на станції, і одночасно визначає положення кожного вагону у складі поїзда;

$\sum_{i=1}^{\kappa} I(v)$  – загальні експлуатаційні витрати, які припадають на: розформування поїздів з боку сортувальної гірки, формування поїзду з боку витяжної колії, простій вагонів в очікуванні визначених технологічних операцій, грн.;

$R$  – величина ризику, яка залежить від певної композиції складу вантажного поїзда з НВ, грн;

$M$  – параметр, який відповідає раціональній перестановці груп  $n$  з вагонами  $m_n$ .

У явному вигляді цільова функція може бути представлена наступним чином

$$C(v) = \frac{1}{N_{\text{ваг}}} \sum_{i=1}^{N(v,w)} \left( \sum_{j=1}^{n_i(v,w)} \left( 2(a_{ij}^{BK} + a_{ij}^{CK}) + \frac{V^{\text{ман}}}{V_{ij}^{\text{HB}}(g_{ij}(v,w))} (b_{ij}^{BK} + b_{ij}^{CK}) m_{ij} \right) e^{\text{ман}} + \right. \\ \left. U\left(\{n_i(v,w), \bar{m}_{ij}(v,w), g_i(v,w), b_i(v,w)\}, K\langle \tilde{n}, \tilde{m}, \tilde{g}, \tilde{b} \rangle\right) \sum_{a=1}^l E(w_a) \right) \rightarrow \min \quad (2.2)$$

де  $w$  – змінний вектор, який співставляє кожен елемент із множини вхідного потоку вагонів, що надходять до станції, із номером складу, і одночасно дозволяє визначити положення кожного вагону у складі поїзда;

$v$  – змінний вектор, який співставляє кожному елементу із множини вихідного потоку вагонів, із номером складу, що формується на станції, і одночасно визначає положення кожного вагону у складі поїзда;

$a_{ij}^{BK}$  та  $b_{ij}^{BK}$  – коефіцієнти формули Фролова для визначення тривалості маневрового напіврейсу при переміщенні групи вагонів із небезпечним вантажем із витяжної або підгорочної колії, яка спеціально виділена для відстоювання вагонів із небезпечним вантажем групи  $g_{ij}$ ;

$N_{\text{ваг}}$  – потужність множини вантажних вагонів у складі поїздів що прибули на станцію;

$a_{ij}^{CK}$  та  $b_{ij}^{CK}$  – коефіцієнти формули Фролова для визначення тривалості маневрового напіврейсу при переміщенні групи вагонів із колії яка спеціально

виділена для відстоювання вагонів із небезпечним вантажем групи  $g_i$  до колії сортувального парку або парку відправлення на якій відбувається формування відповідного складу поїзда;

$V^{ман}$  – середня швидкість маневрових переміщень груп вагонів на станції;

$V_{ij}^{HB}(g_{ij}(v, w))$  – максимальна швидкість, із якою дозволяється здійснювати

маневрові переміщення із вагонами групи небезпеки  $g_{ij}$ ;

$e^{ман}$  – витратна ставка за годину проведення маневрових робіт,  $\frac{грн}{ваг \cdot год}$ ;

$N(v, w)$  – кількість складів, що будуть сформовані з множини вагонів вхідного вагонопотоку, яка залежить від векторів  $v$  та  $w$ ;

$n_i(v, w)$  – кількість груп вагонів із небезпечними вантажами у  $i$ -му складі поїзда, що формується;

$m_{ij}(v, w)$  – кількість вагонів у  $j$ -й групі вагонів із небезпечним вантажем  $i$ -го складу;

$g_{ij}(v, w)$  – група небезпеки  $j$ -ї групи вагонів із небезпечним вантажем  $i$ -го складу;

$U$  – умовна впевненість у можливості виникнення небажаної події, в результаті якої рівень наслідків досягає масштабу аварії, яка обчислюється за допомогою моделі нечіткого виводу, вхідними даними якої є кількість груп вагонів із небезпечними вантажами у складі поїзда  $n_i(v, w)$ , середня кількість вагонів у групі із НВ  $\bar{m}_{ij}(v, w)$ ;

$g_i(v, w)$  – групи небезпеки та комбінації груп небезпеки  $b_i(v, w)$ ;

$K\langle \tilde{n}, \tilde{m}, \tilde{g}, \tilde{b} \rangle$  – база нечітких правил, вхідними даними якої є нечіткі лінгвістичні змінні: “кількість груп вагонів з НВ”, “кількість вагонів в групі”, “група небезпеки”, “комбінація груп”;

$E(w_a)$  – усередненні витрати, приведені на одну аварійну ситуацію, які складаються з:

$E(w_1)$  – усереднені приведені витрати, які припадають на виплату грошової компенсації за нанесення людині негативних наслідків (смерть, травмування, втрата працездатності);

$E(w_2)$  – усереднені приведені витрати, які виникають внаслідок нанесення шкоди навколишньому середовищу;

$E(w_3)$  – усереднені приведені витрати, які припадають на пошкодження інфраструктури (колія, вагони, будівлі та споруди);  $l$  – кількість складових усереднених витрат.

Оптимізація даної цільової функції повинна здійснюватись при наступних обмеженнях:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{j=x_{i,1}}^{x_{i,1}^{перм}-1} 1_0(g_{ij}(v, w)) \geq m^{прискр}(g_{i,1}(v, w)), \quad \forall i \in N(v, w) \\ \sum_{j=x_{i,q}^{осм}+1}^{x_{i,q+1}^{перм}-1} 1_0(g_{ij}(v, w)) \geq m^{позд}(g_{i,q}(v, w), g_{i,q+1}(v, w)), \quad \forall i \in N(v, w) \\ \sum_{j=1}^{n_i} \sum_{k=j}^{n_i} \Upsilon(g_{ij}(v, w), g_{ik}(v, w)) = 0, \quad \forall i \in N(v, w) \\ m_{\min} \leq \sum_{j=1}^{N_{ваг}} 1_i(v_j) \leq m_{\max}, \quad \forall i \in N(v, w) \\ \operatorname{sgn} \sum_{j=x_{i,1}}^{x_{i,m_i}} [g_{ij}(v, w) = 1] + \operatorname{sgn} \sum_{k=x_{i,1}}^{x_{i,m_i}} \psi_{ik}(v, w) \leq 1, \quad \forall i \in N(v, w) \end{array} \right. , \quad (2.3)$$

де  $1_x(y)$  – індикаторна функція, яка приймає значення 1 у разі якщо змінна  $y$  дорівнює змінній  $x$ , в іншому випадку функція приймає значення 0;

$x$  – вектор, який містить порядкові номери вагонів відносно вектора  $v$ , які відповідають  $i$ -му составу поїзда, що формується, тобто субвектору  $v_i$ ;

$x_{i,1}$  – елемент вектора  $x$  який містить порядковий номер, що відповідає першому вагону  $i$ -го составу поїзда, що формується;

$x_{i,1}^{перш}$  – елемент вектора  $x$  який містить порядковий номер, що відповідає першому вагону першої групи вагонів з НВ  $i$ -го составу поїзда, що формується;

$x_{i,q}^{ост}$  – елемент вектора  $x$  який містить порядковий номер, що відповідає останньому вагону  $q$ -ої групи вагонів з НВ  $i$ -го составу поїзда, що формується;

$x_{i,q+1}^{перш}$  – елемент вектора  $x$  який містить порядковий номер, що відповідає першому вагону  $(q+1)$ -ої групи вагонів з НВ  $i$ -го составу поїзда, що формується;  $m^{прикр}(g_{i,1}(v, w))$  – мінімальна чисельність групи вагонів, яка необхідна для прикриття першої групи вагонів з НВ, яка відноситься до  $g_{i,1}(v, w)$  групи небезпеки, від локомотиву;

$m^{розд}(g_{i,q}(v, w), g_{i,q+1}(v, w))$  – мінімальна чисельність групи вагонів, яка необхідна для розділення сусідніх груп вагонів з НВ, які відносяться до груп небезпеки відповідно  $g_{i,q}(v, w)$  та  $g_{i,q+1}(v, w)$ , у складі  $i$ -го составу;

$\Upsilon(g_{ij}(v, w), g_{ik}(v, w))$  – функція, яка приймає значення 0 у разі попарної сумісності постановки у склад  $i$ -го поїзда груп вагонів з НВ, які відносяться до груп небезпеки  $g_{ij}(v, w)$  та  $g_{ik}(v, w)$ ;

$m_{\min}$  та  $m_{\max}$  – граничні значення чисельності вагонів, що відповідають нормі складу поїзда при формуванні на даному напрямку;  $\text{sgn}(x)$  – знакова функція;

$x_{i,1}$  та  $x_{i,m_i}$  – індекси, що відповідають елементам вектору  $v$ , які представляють перший і останній вагони відповідно у складі  $i$ -го поїзда;

$\psi_{ik}$  – булева змінна, яка приймає значення 1 у разі наявності у вантажа  $k$ -го вагона  $i$ -го поїзда верхньої третьої, нижньої третьої і більших ступенів негабаритності та/або бічної четвертої і більших ступенів негабаритності, та 0 в іншому випадку.

Перше обмеження необхідне для забезпечення відповідного прикриття для першої групи вагонів із НВ від локомотиву в залежності від групи небезпеки. Друге обмеження забезпечує необхідні чисельності вагонів у складі розділюючих груп, які необхідні для постановки до складу поїзда з метою розмежування між собою груп вагонів з НВ в залежності від груп їх небезпеки. Третє обмеження запобігає одночасному потраплянню до складу поїзда вагонів або груп вагонів з НВ, групи небезпеки яких є несумісними. Четверте обмеження забезпечує дотримання норми довжини складу поїздів, що формуються на станції. П'яте обмеження запобігає одночасній постановці до складу поїзда вагонів або груп вагонів з НВ, які мають найвищу групу небезпеки та вагонів із верхньою третьою, нижньою третьою і більшими ступенями негабаритності та/або бічною четвертою і більшими ступенями негабаритності.

Пошук рішення запропонованої моделі стандартними методами, які передбачають повний перебір з області можливих рішень, не є ефективним, оскільки, як зазначалося раніше, результат даного рішення буде використовуватися в мінливих оперативних обставинах експлуатаційної діяльності залізничної станції та залізничних підрозділів.

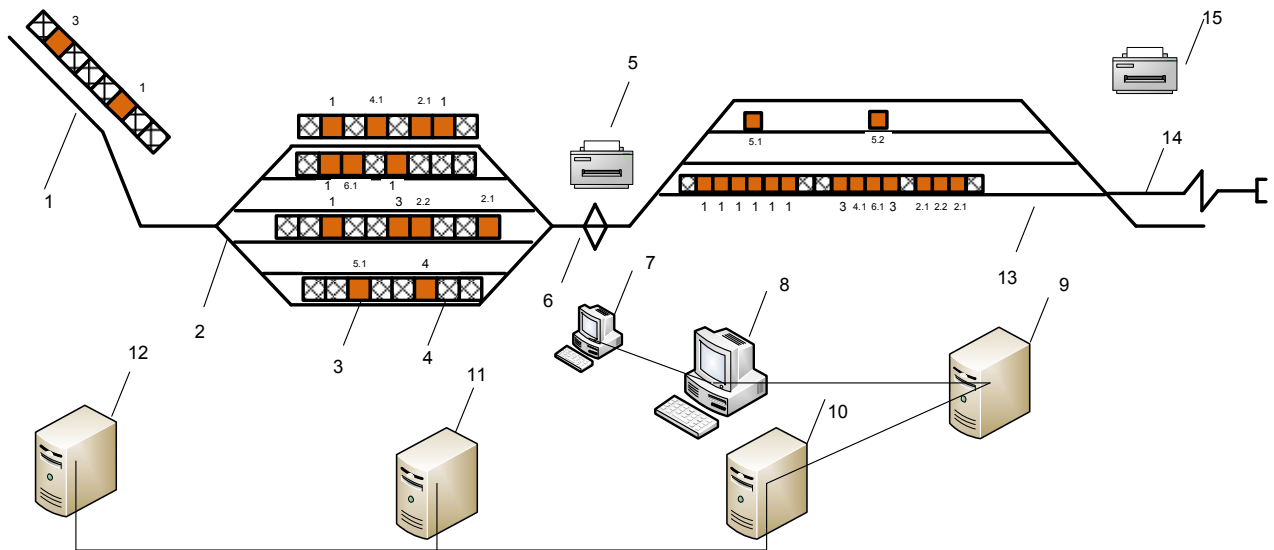
### 2.2.1 Визначення експлуатаційної складової технології формування поїздів з небезпечними вантажами

Витрати на роботу з одним вагоном в кожній групі небезпеки, які припадають на розформування–формування

$$I(v) = \sum_{j=1}^{n_i(v,w)} \left( 2(a_{ij}^{BK} + a_{ij}^{CK}) + \frac{V^{ман}}{V_{ij}^{HB}(g_{ij}(v,w))} (b_{ij}^{BK} + b_{ij}^{CK}) m_{ij} \right) e^{ман} \quad (2.4)$$

Складність завдання проілюстровано на рисунку 2.1, що відображає довільну можливу оперативну ситуацію на залізничній станції, в результаті якої

на станції та на підходах до неї знаходяться поїзди (відображено у лівій частині рисунку), у складі яких містяться вагони з небезпечними вантажами (позначено оранжевим кольором). Результатом роботи моделі є визначення раціональної композиції вантажного поїзду, в складі якого знаходяться вагони з НВ різних груп сумісності (відображено у правій частині рисунку).



Умовні позначення:

1 – колії перегону, що примикає до станції; 2 – парк приймання; 3 – вагон з НВ; 4 – вагон зі звичайним вантажем або порожній; 5 – друкуючий пристрій, розташований в районі сортувальної гірки; 6 – сортувальна гірка; 7 – автоматизоване робоче місце (АРМ) чергового по гірці; 8 – АРМ маневрового диспетчера; 9 – сервер станції; 10 – сервер дирекції залізничних перевезень; 11 – сервер регіональної філії ПАТ «УЗ»; 12 – сервер головного обчислювального центру ПАТ «УЗ»; 13 – сортувальний парк; 14 – маневрова витяжна колія; 15 – друкуючий пристрій, розташований в районі «хвоста» сортувального парку.

Рисунок 2.1 – Візуалізація процедури формування одноступеневого поїзда з вагонами, завантаженими небезпечними вантажами



Дуже складним постає завдання отримання раціональної композиції вантажного поїзда з вагонами з НВ після розформування составів поїздів, що знаходяться в парку приймання станції, з сортувальної гірки 6. Для остаточного формування такого поїзду доцільно використовувати вільні колій сортувального парку 13 та витяжну маневрову колію 14. При цьому передбачається, що оперативна інформація про порядок розформування буде надходити бригадам складачів поїздів у вигляді сортувального листка через друкуючі пристрої 5 та 15. Ця інформація є результатом роботи математичної моделі з цільовою функцією (2.2). Попередня інформація для роботи математичної моделі буде надходити по каналах автоматизованої системи керування вантажними перевезеннями Укрзалізниці (АСКВПУЗ–Є), яка схематично представлена пристроями 7–12.

Відповідно до визначеного постає задача вибору методу пошуку рішення запропонованої цільової функції. Одним з таких методів є метод на базі генетичного алгоритму [90-94]. Завдяки застосуванню визначеного методу стає можливим отримувати раціональні рішення за порівняно незначний час, що є необхідною умовою виконання експлуатаційної роботи в оперативних умовах, про які було зазначено раніше.

Доцільно навести основні етапи роботи генетичного алгоритму (ГА) стосовно поставленого завдання. На першому етапі роботи ГА необхідно сформувати так звану батьківську пару хромосом [95]. В даному контексті під хромосомою будемо розуміти визначену послідовність вантажних вагонів з НВ та без них в поїзді. В загальному вигляді для поставленої задачі хромосома буде складатися з певної кількості генів  $g$ , яка буде дорівнювати загальній кількості вагонів визначеного призначення  $V$  (ці вагони можуть знаходитися як на станції так і на підходах до неї), тобто  $ch_i = \{g_1, g_2, \dots, g_v\}$ ,  $v \in V$ .

На рисунку 2.2 наведено графічну візуалізацію роботи трьох точкового оператора кросинговеру з батьківською парою хромосом  $ch_1$  та  $ch_2$ , які необхідні для формування наступних популяцій. Чисельні значення, які записані в комірках відповідають групі сумісності (номер небезпеки) [16], а сама комірка відповідає поняттю – ген.

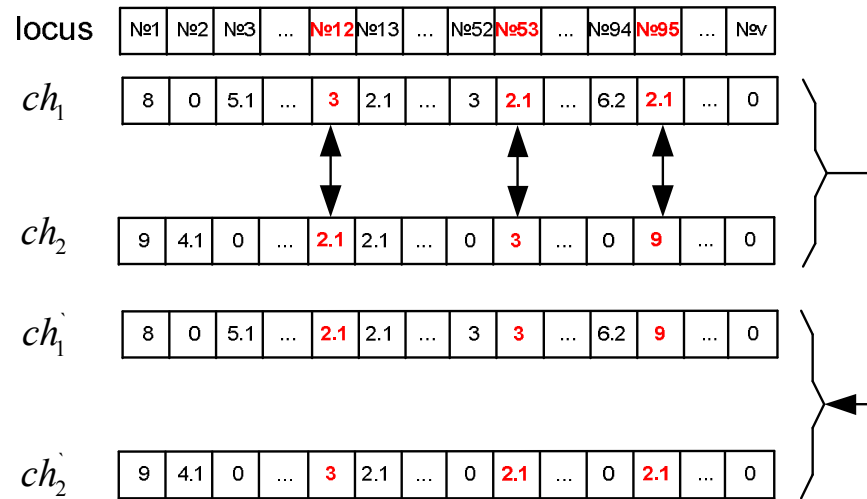


Рисунок 2.2 – Візуалізація роботи трьох точкового оператора кроссинговеру

Згідно основних положень теорії ГА у кожного гену хромосоми є своє певне місце під назвою locus [95], який відповідає порядку розставлення вагонів в складі вантажного поїзду. В результаті роботи представленого оператора кроссинговеру одразу відбувається обмін трьох генів батьківської пари хромосом, в результаті чого формується наступна пара хромосом  $ch_1'$  та  $ch_2'$ .

Слід зауважити, що попереднє формування батьківської пари хромосом  $ch_1$  та  $ch_2$  повинне базуватися на умові включення до неї тільки тих значень груп сумісності, які відповідають реальній наявності таких вагонів на станції для певного напрямку або на підходах до неї з додаванням довільної кількості вагонів без НВ. Для даного випадку буде справедливим  $g \in G$ , де  $g$  – значення гену хромосоми,  $G$  – область допустимих значень, яка відповідає множині вагонів з НВ. При цьому для функціонування ГА необхідно сформувати матрицю суміжності, яка буде відповідати можливості постановки вантажних вагонів з НВ з відповідними знаками небезпеки. Основу такої матриці буде складати таблиця 5 пункту 7.5 [16] з додаванням нульового значення, яке буде відповідати вантажному вагону завантаженому звичайним вантажем (таблиця 2.1).

Таблиця 2.1– Основа формування матриці суміжності для вагонів з НВ

номер знака небезпеки	0	1	1.4	1.5	1.6	2	3	4.1	...	9
0	1	1	1	1	1	1	1	1	...	1
1	1	0	0	0	0	0	0	0	...	0
1.4	1	0	0	0	0	0	0	0	...	0
1.5	1	0	0	0	0	0	0	0	...	0
1.6	1	0	0	0	0	0	0	0	...	0
2	1	0	0	0	0	1	0	0	...	1
3	1	0	0	0	0	0	1	1	...	1
4.1	1	0	0	0	0	0	1	1	...	1
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
9	1	0	0	0	0	1	1	1	...	1

Складність визначення раціональної послідовності розстановки вагонів з НВ у складі вантажного поїзда полягає в тому, що потрібно передбачити умову розділення таких вагонів вагонами зі звичайними вантажами або порожніми, яким відповідає нульове значення таблиці 2.1. В даній роботі пропонується розділяти такі групи вагонів з НВ трьома вагонами нульової категорії. Таке припущення ґрунтується на дотриманні умов прикриття, максимальне значення якого згідно [16] дорівнює трьом вагонам. Для реалізації даної умови при роботі ГА доцільно використовувати такі оператори як «видалення» (delete) та «вставлення» (paste) [96]. Тобто в певні моменти роботи алгоритму довжина хромосоми може змінюватися, але в остаточному результаті вона повинна задовольняти умові

$$50 \leq locus \leq 60. \quad (2.5)$$

Даний вираз відповідає умові формування поїзда нормативної довжини.

Слід зауважити, що для коректної роботи операторів «видалення» та «вставлення» необхідно передбачити наступну умову – імовірність використання

оператора «delete» повинна, приблизно, бути вдвічі більшою ніж «paste» [97, 98], тобто

$$P(\text{paste}) = P(\text{delete}) \cdot 0,5, \quad (2.6)$$

Таким чином вираз (2.6) відповідає за виконання умови (2.5) і одночасно за збільшену кількість варіацій. Зазвичай для вирішення оптимізаційних задач ймовірність використання оператора «delete» знаходиться в діапазоні  $P(\text{delete}) \in (0,6; 0,99)$  [99, 100].

Основою отримання результатів при застосуванні генетичного алгоритму є фітнес функція (fitness function). В даному випадку у якості fitness function, яка визначає ступінь пристосування одержаного рішення, буде використано цільову функцію (2.1), яку можливо представити наступним чином

$$\text{Fit}(v) = C(v) \rightarrow \min, \quad (2.7)$$

Таким чином передбачається, що параметр  $M$  буде реалізовано у вигляді перетворення хромосоми, яка буде відтворювати раціональну послідовність розташування груп вагонів з НВ в складі поїзду. Візуальний результат роботи ГА наведено на рисунку 2.3.

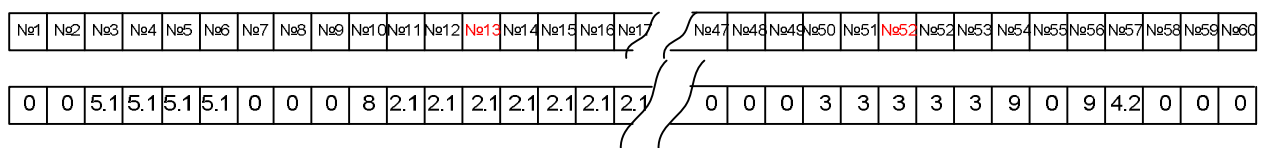


Рисунок 2.3 – Візуальна інтерпретація хромосоми, яка відповідає раціональній композиції вантажного поїзда з НВ

З наведеного рисунка видно, що отримана хромосома налічує 60 локусів. Це в свою чергу відповідає 60 вантажним вагонам. При цьому видно, що варіант формування складу поїзду у повній мірі відповідає таблиці 2.1 та раніше визначеному обмеженню (2.3). Слід зауважити, що отриманий результат може вважатися майже ідеальним, однак на практиці досягнення такої послідовності можливо лише при детальній настройці моделі шляхом підбору відповідних генетичних операторів та імовірності їх виконання.

### 2.2.2 Визначення компоненти ризику на основі нечіткої логіки та загальне рішення моделі

Однією з головних проблем при формуванні составів поїздів з вагонами, що завантажені НВ, є відсутність наукового обґрунтування залежності величини наслідків аварійних ситуацій від комбінації вагонів з НВ в таких поїздах [101]. Тому важливим завданням є розробка комплексного критерію оцінювання наслідків аварійних ситуацій з небезпечними вантажами з урахуванням сумісного розташування вагонів з НВ різних класів при формуванні «достатньо безпечного» поїзда. Під «достатньо безпечним» поїздом мається на увазі такий поїзд, состав якого максимально виключить кількість небезпечних сумісних розташувань вагонів з НВ несумісних класів. Це, в свою чергу, призведе до мінімізації можливих наслідків в результаті настання аварійної ситуації [102, 103].

Загальні витрати на формування «достатньо безпечного» поїзда залежать від експлуатаційних витрат на маневрову роботу та величини ризику. На зазначені витрати мають вплив наступні параметри, які носять найбільш суттєвий вплив на експлуатаційну роботу при формуванні та просуванні «достатньо безпечного» поїзду, в складі якого є вагони з НВ [2]:

- кількість груп вагонів з небезпечними вантажами в составі поїзда, що формується ( $n$ );
- загальна кількість вагонів з небезпечними вантажами ( $m_n$ );

– ступінь небезпеки групи до якої віднесено вагони з небезпечними вантажами ( $g$ );

– кількість випадків сумісного розташування вагонів різних груп небезпеки ( $b$ ).

Визначені параметри залежать від оперативних обставин, які носять динамічно мінливий характер у часі. Відповідно до цього, ефективність прийняття рішень оперативним персоналом визначається на основі розрахунку ряду окремих критеріїв та параметрів. Але їх використання не дозволяє у повній мірі оцінити ефективність роботи залізничного підрозділу у цілому. Тому необхідно використати узагальнену оцінку змін основних показників діяльності визначеного підрозділу та їх вплив на кінцевий результат. Проблема полягає у тому, що існує список обмежень досягнення кінцевої мети, яка у загальному випадку не може бути описана чітко і однозначно. Це пов'язано з такими факторами, як оперативні зміни в межах залізничного підрозділу, різноманітність характеру досліджуваних параметрів, вплив людського фактору та інше. Оскільки врахувати абсолютно всі обмеження та параметри не представляється можливим, виникає необхідність формалізації кінцевої мети з використанням математичного апарату нечітких множин [104-107].

В дослідженні прийняття рішення оперативним персоналом приймається не в умовах зміни наслідків аварійних ситуацій, а з метою попередження виникнення більш серйозних наслідків. Вартісне оцінювання наслідків [108] та його розміри залежать від можливої реакції несумісних НВ, на яку впливає розташування вагонів з несумісними НВ один біля одного в складі поїзда.

Представимо параметри  $n$ ,  $m_n$ ,  $g$ ,  $b$  у вигляді нечітких змінних з відповідними функціями приналежності. Вихідним параметром моделювання обрано умовний критерій оцінювання наслідків аварійних ситуацій  $U$  [3].

Таким чином, згідно поставленого проміжного завдання визначення  $U$  необхідно задати чотири лінгвістичні змінні у вигляді [109, 110]:  $\langle n, H_1, Q \rangle$ ,  $\langle m_n, H_2, F \rangle$ ,  $\langle g, H_3, J \rangle$ ,  $\langle b, H_4, V \rangle$ . На рисунку 2.4 наведено загальну графічну інтерпретацію формування чотирьох нечітких змінних в середовищі Matlab при використанні Toolbox Fuzzy Logic.

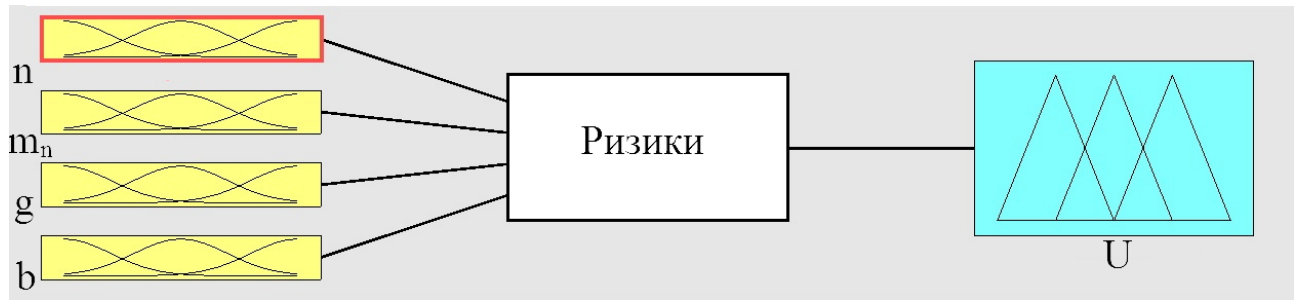


Рисунок 2.4 – Графічна інтерпретація формування нечітких змінних

Безпосередньо, переходячи до формалізації, лінгвістичну змінну  $\langle n, H_1, Q \rangle$  можливо представити в наступному вигляді

$$\langle n, H_1, Q \rangle \rightarrow \langle \text{"Кількість груп"}, H_1, [q_{\min}, q_{\max}] \rangle, \quad (2.8)$$

де  $H_1 = \{ \text{"низька небезпека"}, \text{"висока небезпека"} \}$

$q_{\min}, q_{\max}$  – область визначення  $Q = \{q\}$  відповідної нечіткої змінної, яка відповідає за кількість груп вагонів з небезпечними вантажами в складі поїзда.

Нечітку підмножину множини  $Q$  можна представити у наступному вигляді

$$\tilde{q}_i = \{ \langle \mu_{q_i}(q) / q \rangle \}, \quad (q \in Q), \quad (2.9)$$

де  $\mu_{q_i}(q)$  – функція приналежності, яка описує нечітку змінну  $\tilde{q}_i$ .

В даному випадку значення лінгвістичної змінної "Кількість груп" з термножиною  $Q$  описується функціями належності з відповідними назвами і обмеженнями на можливі значення. Згідно з цим параметри нечітких змінних  $\tilde{q}_i$  можуть бути відтвореними в аналітичному вигляді наступним чином

$$\begin{aligned} \langle \text{"низька небезпека"}, [q_{\min}, q_{\max}], \tilde{q}_1 \rangle, & \Rightarrow \langle \text{"низька небезпека"}, [60, 0], \tilde{q}_1 \rangle, \\ \langle \text{"висока небезпека"}, [[q_{\min}, q_{\max}]], \tilde{q}_2 \rangle. & \Rightarrow \langle \text{"висока небезпека"}, [0, 60], \tilde{q}_2 \rangle. \end{aligned} \quad (2.10)$$

В даному випадку сенс значень терм-множини «низька небезпека» – максимальна впевненість в низькій небезпеці у тому випадку коли  $n=0$ , а мінімальна якщо  $n=60$ . Терм-множина «висока небезпека» – це максимальна впевненість у високій небезпеці при  $n=60$ , а мінімальна впевненість у високій небезпеці при  $n=0$ .

Графічне уявлення визначених функцій приналежності нечіткої змінної  $n$  наведено на рисунку 2.5.

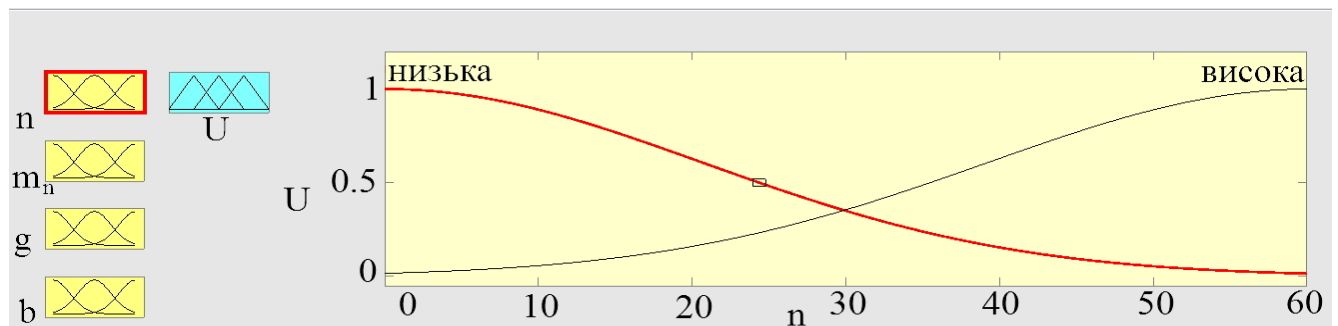


Рисунок 2.5 – Графічна інтерпретація формування функцій приналежності нечіткої змінної  $n$

Лінгвістичну зміну  $\langle m_n, H_2, F \rangle$  можливо представити в наступному вигляді

$$\langle m_n, H_2, F \rangle \rightarrow \langle \text{"Кількість вагонів"}, H_2, [f_{\min}, f_{\max}] \rangle, \quad (2.11)$$

де  $H_2 = \{ \text{"низька небезпека"}, \text{"висока небезпека"} \}$ ,

$f_{\min}, f_{\max}$  – область визначення  $F = \{f\}$  відповідної нечіткої змінної, яка відповідає за кількість вагонів з небезпечними вантажами в составі поїзда.

Нечітку підмножину множини  $F$  можна представити у наступному вигляді

$$\tilde{f}_z = \left\{ \langle \mu_{f_z}(f) / f \rangle \right\}, \quad (f \in F), \quad (2.12)$$

де  $\mu_{f_z}(f)$  – функція приналежності, яка описує нечітку змінну  $\tilde{f}_z$ .



В даному випадку значення лінгвістичної змінної "Кількість вагонів" з терм-множиною  $F$  описується функціями належності з відповідними назвами і обмеженнями на можливі значення. Згідно з цим параметри нечітких змінних  $\tilde{f}_z$  можуть бути відтвореними в аналітичному вигляді наступним чином

$$\begin{aligned} \langle \text{"низька небезпека"}, [f_{\min}, f_{\max}], \tilde{f}_1 \rangle, & \Rightarrow \langle \text{"низька небезпека"}, [60, 0], \tilde{f}_1 \rangle, \\ \langle \text{"висока небезпека"}, [[f_{\min}, f_{\max}]], \tilde{f}_2 \rangle. & \Rightarrow \langle \text{"висока небезпека"}, [0, 60], \tilde{f}_2 \rangle. \end{aligned} \quad (2.13)$$

Як і у випадку з нечіткою змінною терм-множини «низька небезпека» відповідає максимальній впевненості в низькій небезпеці у тому випадку коли  $m_n=0$ , а мінімальна якщо  $m_n=60$ . Терм-множина «висока небезпека» – це максимальна впевненість у високій небезпеці при  $m_n=60$ , а мінімальна впевненість у високій небезпеці при  $m_n=0$ .

Графічне уявлення визначених функцій приналежності нечіткої змінної  $m_n$  наведено на рисунку 2.6.

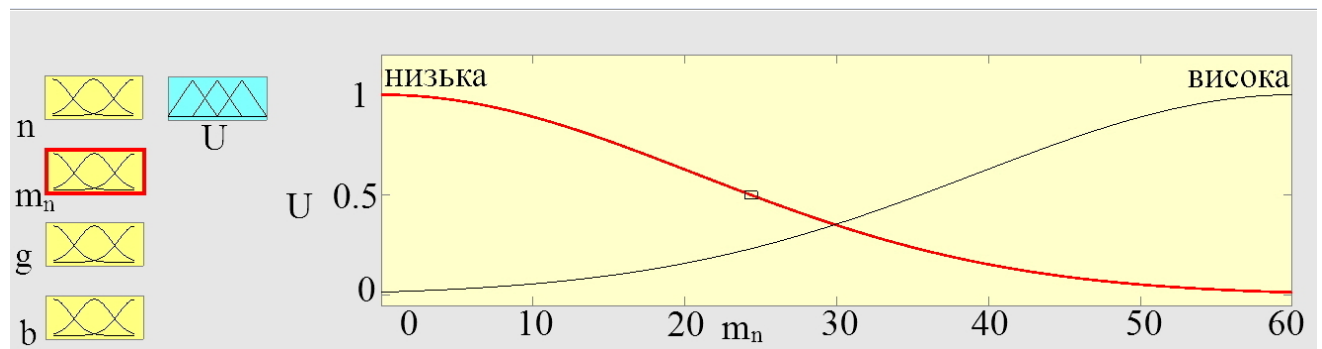


Рисунок 2.6 – Графічна інтерпретація формування функцій приналежності нечіткої змінної  $m_n$

Для можливості опису лінгвістичної змінної  $\langle g, H_3, J \rangle$ , яка відповідає за ступінь небезпеки НВ в термінах нечіткої логіки доцільно сформуванати підхід переходу від діючої системи класифікації НВ, яка налічує різну кількість класів небезпеки в залежності від нормативних джерел. Використання діючої

класифікації (від 9 класів небезпеки до 13) робить неможливим формування лінгвістичних змінних, тому пропонується перехід до груп небезпеки з розподіленням до них відповідних класів небезпеки. Визначення та реалізація запропонованих груп можлива з використанням якісно нового методу оцінки ступенів небезпеки на основі групування визначених класів. Відповідно до цього доцільно використовувати нормативно–правову документацію та характеристику властивостей НВ при їх ініціюванні визначити ступені небезпеки на основі класів небезпеки та їх сумісності. Згідно з цим, при постановці вагонів з НВ в один вантажний поїзд пропонується використовувати таблиці розділу 7 і таблицю 5 «Сумісне завантаження в один вагон або контейнер» [16] та п. 5.8.3. «Пріоритет небезпеки» [11]. В даному дисертаційному вперше пропонується логічне припущення щодо розбивання всіх класів небезпеки на чотири групи:

- 1 група небезпеки – класи: 8, 9 – low (низький рівень небезпеки);
- 2 група небезпеки – класи: 2. 4.3; 5.1 – med (середній рівень);
- 3 група небезпеки – класи: 3. 2; 3; 4.1; 4.2; 5.2; 6.1; 6.2; 7 – high (високий рівень)
- 4 група небезпеки – клас 1 – high\_high (надвисокий рівень небезпеки).

4 групу обрано відповідно до вимог визначених у ППНВ [16] щодо заборони сумісного завантаження з безпечними іншими класами (т. 5 р. 7.5) та вимог ДСТУ 4500–3 п. 5.8.3., оскільки властиві класу 1 види небезпеки завжди мають пріоритет.

3 групу обрано також відповідно до вимог визначених у ППНВ [16] НВ таких класів можуть бути завантажені разом з деякими небезпечними вантажами інших класів. Але згідно з ДСТУ 4500–3. Притаманні НВ таких класів основні види небезпеки завжди мають пріоритет.

2 групу згідно з ДСТУ класи 4.3 та 5.1 в більшості випадків мають пріоритет над групою 1 (особливо це стосується груп пакування I та II) (табл.5 п 5.8.3)

1 групу було обрано відповідно згідно ДСТУ оскільки відповідно до табл. 3 п 5.8.3. вони мають менший пріоритет у порівнянні з класами віднесеними до групи 2.

Відповідно до зазначеного вище лінгвістичну зміну  $\langle g, H_3, J \rangle$  можливо представити в наступному вигляді

$$\langle g, H_3, J \rangle \rightarrow \langle \text{"Ступінь небезпеки"}, H_3, [j_{\min}, j_{\max}] \rangle, \quad (2.14)$$

де  $H_1 = \{ \text{"перша ступінь"}, \text{"друга ступінь"}, \text{"третя ступінь"}, \text{"четверта ступінь"} \}$ ,

$j_{\min}, j_{\max}$  – область визначення  $J = \{j\}$  відповідної нечіткої змінної, яка відповідає за ступінь небезпеки групи до якої віднесено вагони з небезпечними вантажами.

Нечітку підмножину множини  $J$  можна представити у наступному вигляді

$$\tilde{j}_o = \{ \langle \mu_{j_o}(j) / j \rangle \}, \quad (j \in J), \quad (2.15)$$

де  $\mu_{j_o}(j)$  – функція приналежності, яка описує нечітку змінну  $\tilde{j}_o$ .

В даному випадку значення лінгвістичної змінної "Ступінь небезпеки" з терм–множиною  $J$  описується функціями належності з відповідними назвами і обмеженнями на можливі значення. Згідно з цим параметри нечітких змінних  $\tilde{j}_o$  можуть бути відтвореними в аналітичному вигляді наступним чином

$$\begin{aligned} \langle \text{"низький ступінь"}, [j_{\min}, j_{\max}], \tilde{j}_1 \rangle, & \quad \langle \text{"низький ступінь"}, [1, 2], \tilde{j}_1 \rangle, \\ \langle \text{"середній ступінь"}, [j_{\min}, j_{\max}], \tilde{j}_2 \rangle, & \quad \langle \text{"середній ступінь"}, [1, 3], \tilde{j}_2 \rangle, \\ \langle \text{"високий ступінь"}, [j_{\min}, j_{\max}], \tilde{j}_3 \rangle, & \quad \langle \text{"високий ступінь"}, [2, 4], \tilde{j}_3 \rangle, \\ \langle \text{"надвисокий ступінь"}, [j_{\min}, j_{\max}], \tilde{j}_4 \rangle, & \quad \langle \text{"надвисокий ступінь"}, [3, 4], \tilde{j}_4 \rangle. \end{aligned} \quad (2.16)$$

В даному випадку терм–множина «низький ступінь» відповідає максимальній впевненості при низькому ступеню небезпеки у тому випадку якщо  $j=1$ . Терм–множина «середній ступінь» відповідає максимальній впевненості при

середньому ступеню небезпеки у тому випадку якщо  $j=2$ . Терм-множина «високий ступінь» відповідає максимальній впевненості при високому ступеню небезпеки у тому випадку якщо  $j=3$ . Терм-множина «надвисокий ступінь» відповідає максимальній впевненості при надвисокому ступеню небезпеки у тому випадку якщо  $j=4$ . Визначені параметри відповідають графічним залежностям при використанні гаусівського розподілу.

Вибір кількості функцій приналежності та відповідних терм-множин здійснено відповідно до [11] п. 5.8.3. «Пріоритет небезпеки» та [16] розділ 7 таблиця 5 «Сумісне завантаження в один вагон або контейнер». В дослідженні прийнято припущення щодо розділення всіх класів небезпеки на чотири групи:  $\mu_{j_1}(j)$  – (8 клас; 9 клас) – "низький ступінь";  $\mu_{j_2}(j)$  – 4.3 клас; 5.1 клас – "середній ступінь";  $\mu_{j_3}(j)$  – (2 клас; 3 клас; 4.1 клас; 4.2 клас; 5.2 клас; 6.1 клас; 6.2 клас; 7 клас) – "високий ступінь";  $\mu_{j_4}(j)$  – (1 клас) – "надвисокий ступінь".

Функцію приналежності  $\mu_{j_4}(j)$  обрано відповідно до вимог, визначених у [16], щодо заборони сумісного завантаження небезпечних вантажів різних класів та вимог [11], оскільки притаманні класу 1 види небезпеки завжди мають пріоритет. Функцію приналежності –  $\mu_{j_3}(j)$  обрано також відповідно до вимог визначених у [16]. НВ таких класів можуть бути завантажені разом з деякими небезпечними вантажами інших класів. Але згідно з [11], притаманні НВ таких класів основні види небезпеки завжди мають пріоритет. Функцію приналежності  $\mu_{j_2}(j)$  обрано наступним чином: згідно з [11] класи 4.3 та 5.1 в більшості випадків мають пріоритет над класами, що входять до  $\mu_{j_1}(j)$ , особливо це стосується груп пакування I та II. Функцію приналежності  $\mu_{j_1}(j)$  було обрано відповідно до [11], оскільки вони мають менший пріоритет у порівнянні з класами віднесеними до  $\mu_{j_2}(j)$ .

Графічне уявлення визначених функцій приналежності нечіткої змінної  $g$  наведено на рисунку 2.7.

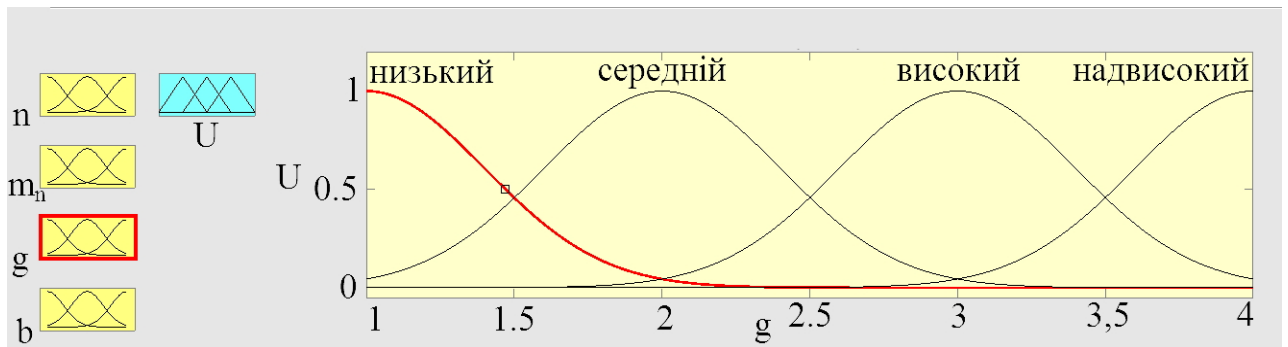


Рисунок 2.7 – Графічна інтерпретація формування функцій приналежності нечіткої змінної  $g$

Лінгвістичну зміну  $\langle b, H_4, V \rangle$  можливо представити в наступному вигляді

$$\langle b, H_4, V \rangle \rightarrow \langle \text{"Небезпечна комбінація"}, H_4, [v_{\min}, v_{\max}] \rangle, \quad (2.17)$$

де  $H_4 = \{ \text{"низька небезпека"}, \text{"висока небезпека"} \}$ ,

$v_{\min}, v_{\max}$  – область визначення  $V = \{v\}$  відповідної нечіткої змінної, яка відповідає за кількість випадків сумісного розташування вагонів різних груп безпеки.

Нечітку підмножину множини  $V$  можна представити у наступному вигляді

$$\tilde{v}_x = \left\{ \left\langle \mu_{v_x}(v) / v \right\rangle \right\}, \quad (v \in V), \quad (2.18)$$

де  $\mu_{v_x}(v)$  – функція приналежності, яка описує нечітку змінну  $\tilde{v}_x$ .

В даному випадку значення лінгвістичної змінної «небезпечна комбінація» з терм–множиною  $V$  описується функціями належності з відповідними назвами і обмеженнями на можливі значення. Згідно з цим параметри нечітких змінних  $\tilde{v}_x$  можуть бути відтвореними в аналітичному вигляді наступним чином:

$$\begin{aligned} \langle \text{"низька небезпека"}, [v_{\min}, v_{\max}], \tilde{v}_1 \rangle, \\ \langle \text{"висока небезпека"}, [v_{\min}, v_{\max}], \tilde{v}_2 \rangle \Rightarrow \langle \text{"низька небезпека"}, [0, 10], \tilde{v}_1 \rangle, \\ \langle \text{"висока небезпека"}, [10, 59], \tilde{v}_2 \rangle. \end{aligned} \quad (2.19)$$

Графічне уявлення визначених функцій приналежності нечіткої змінної  $b$  наведено на рисунку 2.8.

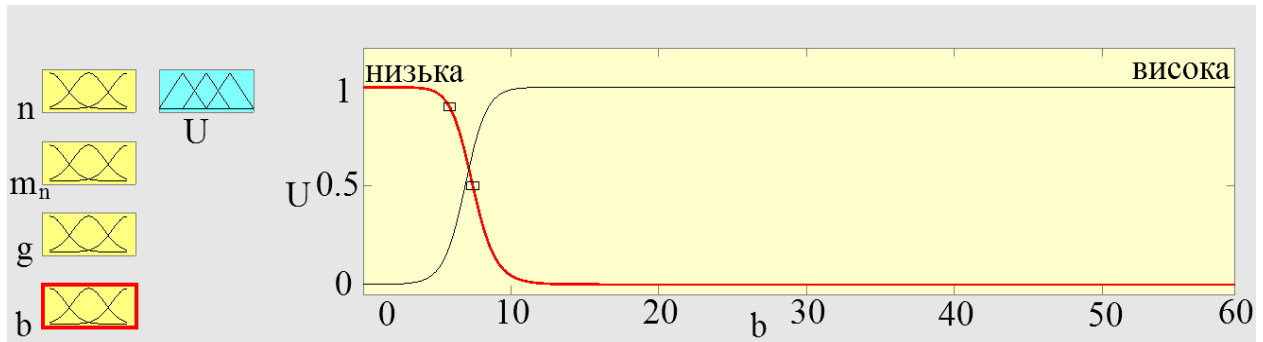


Рисунок 2.8 – Графічна інтерпретація формування функцій приналежності нечіткої змінної  $b$

Терм–множина «низька небезпека» відповідає максимальній впевненості при низькому ступеню небезпеки у тому випадку якщо  $v=10$ . Терм–множина «висока небезпека» відповідає максимальній впевненості при максимальному ступеню небезпеки в діапазоні з 10 до 59 комбінацій тобто  $v \in [10, 59]$ .

Після визначення залежностей  $U$  від досліджуваних параметрів  $n$ ,  $m_n$ ,  $g$ ,  $b$  стає можливим визначити його остаточний характер. Таким чином,  $U$  – це умовна впевненість виникнення більш значних наслідків в результаті аварійної ситуації (критерій оцінювання наслідків аварійних ситуацій). Це припущення ґрунтується на логічній залежності значень  $U$  від величини визначених параметрів.

В термінах нечіткої логіки вираз комплексного критерію оцінювання наслідків аварійних ситуацій з НВ при перевезенні їх залізничним транспортом має вигляді

$$U = n \cup m_n \cup g \cup b. \quad (2.20)$$

Цей вираз у аналітичному вигляді свідчить про необхідність об'єднання визначених параметрів в єдину систему з метою досягнення кінцевої мети – мінімізації наслідків аварійної ситуації, яка обумовлена величиною ризику.

Відомі методи визначення величини ризику [111, 112] враховують значення імовірності та наслідків несприятливої події. Такий підхід носить загальний характер і не дозволяє в повній мірі врахувати взаємозалежність параметрів запропонованого комплексного критерію.

Таким чином, в дослідженні величина ризику залежить від величини визначеного комплексного критерію  $U$  та наслідків настання несприятливої події

Верифікацію запропонованого комплексного критерію проведено на граничних та середньому значеннях складових умовної впевненості виникнення більш значних наслідків.

В роботі наведено результати визначення умовної впевненості виникнення більш значних наслідків в результаті аварійної ситуації.

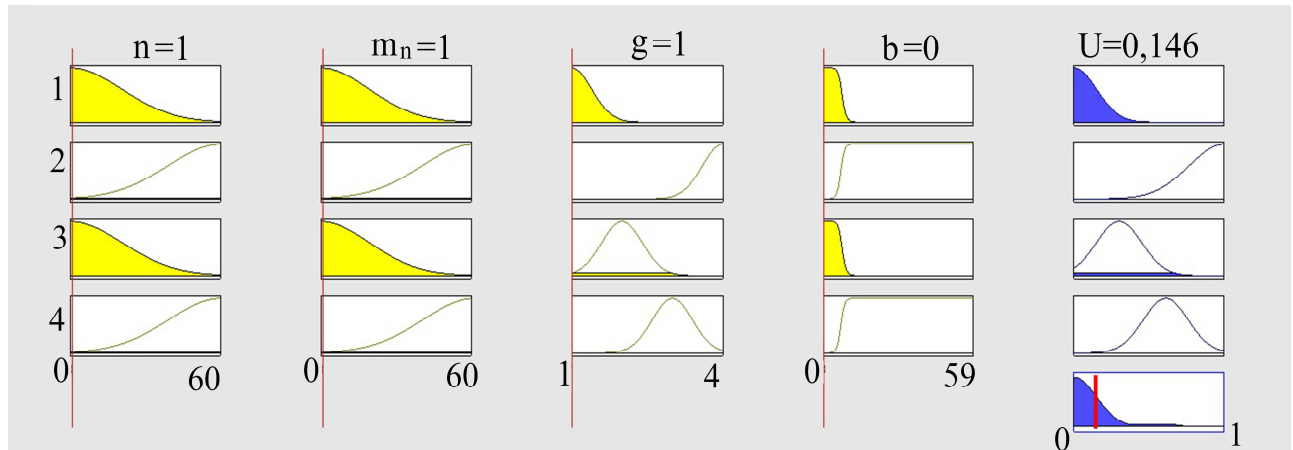
Під сумісним розташуванням розуміється розташування поруч різних груп небезпеки без розділення їх вагонами з безпечними вантажами або порожніми вагонами (рисунки 2.9–2.11).

Таким чином, передбачається, що на вхід сформованої моделі нечіткого логічного виводу подаються параметри, які відповідають за основні критичні фактори впливу на безпеку при перевезенні НВ.

Доцільно виконати проміжну тестову перевірку адекватності функціонування нечіткої моделі логічного висновку на крайніх та середніх значеннях.

На рисунку 2.9 відтворена ситуація, при якій в складі вантажного поїзду з НВ знаходиться один вагон з небезпечним вантажем, це логічним чином свідчить про те, що кількість груп таких вагонів також буде одна. Також вхідний вектор запропонованої ситуації передбачає, що ступінь небезпеки групи, до якої віднесено вагон з небезпечним вантажем, має самий низький рівень. Кількість випадків сумісного розташування вагонів різних груп небезпеки – мінімальне з можливих, тобто при одному вагоні і одній групі кількість небезпечних суміщень буде дорівнювати нулю.

В результаті отримано нечіткий логічний висновок зі значенням  $U=0,146 \approx 0,1$ , що логічним чином свідчить про низький рівень умовної впевненості виникнення більш значних наслідків в результаті аварійної ситуації.



Рисунку 2.9 – Результат моделювання при параметрах [1;1;1;0]

На рисунку 2.10 змодельована штучна, найбільш несприятлива, ситуація, за умови якої в складі вантажного поїзду з НВ знаходиться максимальна кількість вагонів з небезпечним вантажем (за умов сформованої моделі це значення дорівнює 60). При цьому передбачається, що кількість груп вагонів з НВ в складі поїзда також максимальне (тобто також 60). Запропонована ситуація передбачає, що ступінь небезпеки груп до яких віднесено вагони з НВ має найвищий рівень, а кількість випадків сумісного розташування вагонів різних груп небезпеки приймає максимальне з можливих значень. Тобто на одну позицію менше ніж кількість вагонів з НВ, а саме 59. В результаті отримано нечіткий логічний висновок зі значенням  $U=0,805 \approx 0,8$ , що логічним чином свідчить про високий рівень умовної впевненості виникнення більш значних наслідків в результаті аварійної ситуації.



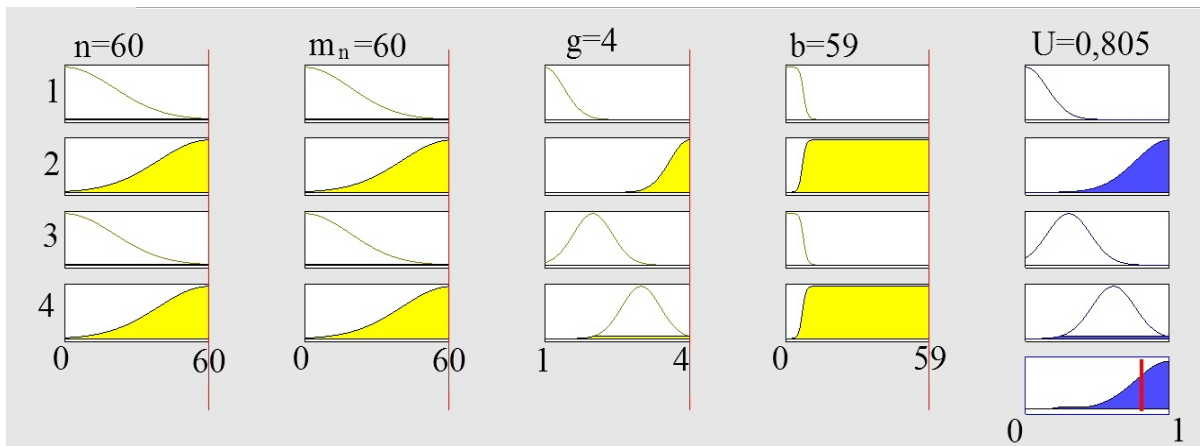


Рисунок 2.10 – Результат моделювання при параметрах [60;60;4;59]

З метою логічної перевірки адекватного функціонування сформованої моделі наступний вектор вхідних даних сформовано з приблизно середніх значень. Таким чином на рис. 8 обрано вектор, який передбачає наявність 20 груп вагонів з НВ, кількість вагонів з НВ дорівнює 40. Визначена ситуація також передбачає, що ступінь небезпеки груп до яких віднесено вагони з НВ має приблизно середній рівень, а кількість випадків сумісного розташування вагонів різних груп небезпеки приймає значення, яке дорівнює 10. В результаті отримано нечіткий логічний висновок зі значенням  $U=0,569 \approx 0,6$ , що логічним чином свідчить про приблизно середній рівень умовної впевненості виникнення більш значних наслідків в результаті аварійної ситуації.

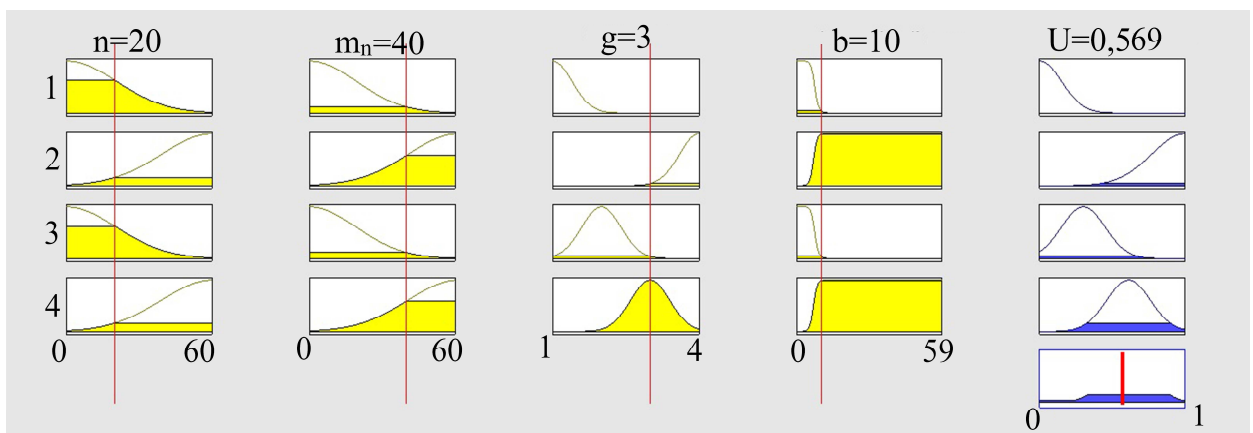


Рисунок 2.11 – Результат моделювання при параметрах [20;40;3;10]

Результати моделювання свідчать про пряму залежність величини значень вхідних нечітких параметрів величині значення умовної впевненості виникнення більш значних наслідків в результаті аварійної ситуації.

З метою візуального відтворення сформованих правил доцільно побудувати відповідні поверхні відгуку на основі попарного варіювання параметрів комплексного критерію  $U$ . Визначені комбінації побудовані в середовищі MatLab Toolbox Fuzzy Logic (рисунки 2.12–2.14). В комп'ютерній моделі визначені параметри одночасно впливають на графічне уявлення поверхні відгуку, однак через можливість сприйняття визначенні параметри в даній роботі представляються попарно. У якості прикладу наведено три довільно обрані комбінації.

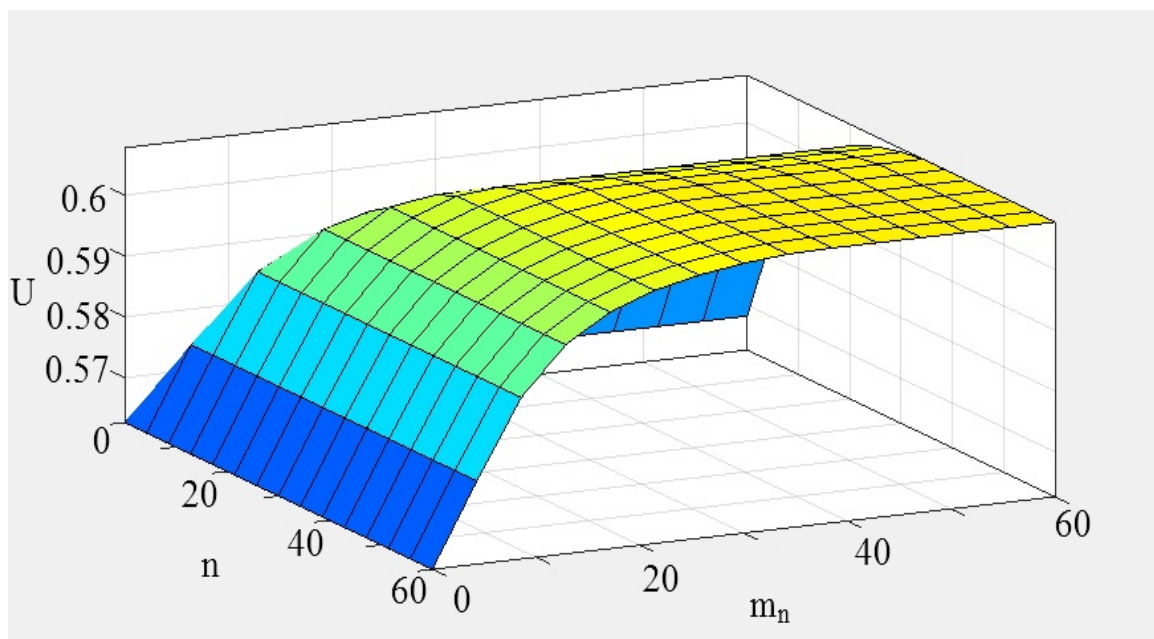


Рисунок 2.12 – Поверхня відгуку при комбінації параметрів: кількість груп вагонів з небезпечними вантажами в складі поїзда, що формується ( $n$ ) та загальна кількість вагонів з небезпечними вантажами ( $m_n$ )

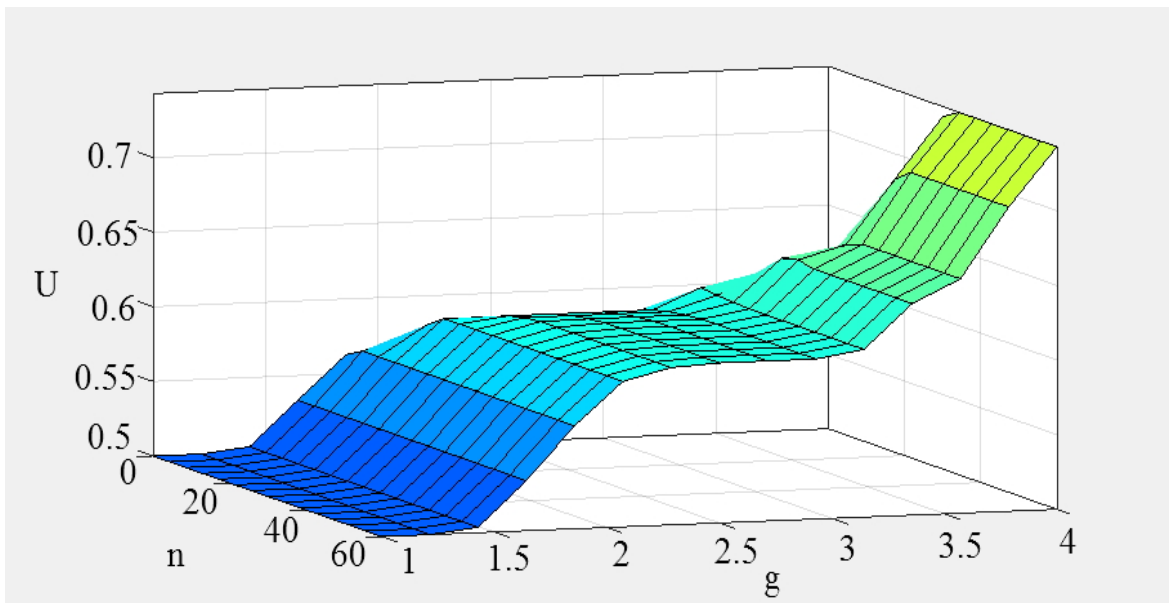


Рисунок 2.13 – Поверхня відгуку при комбінації параметрів: кількість груп вагонів з небезпечними вантажами в складі поїзда, що формується ( $n$ ) та ступінь небезпеки групи до якої віднесено вагони з небезпечними вантажами ( $g$ )

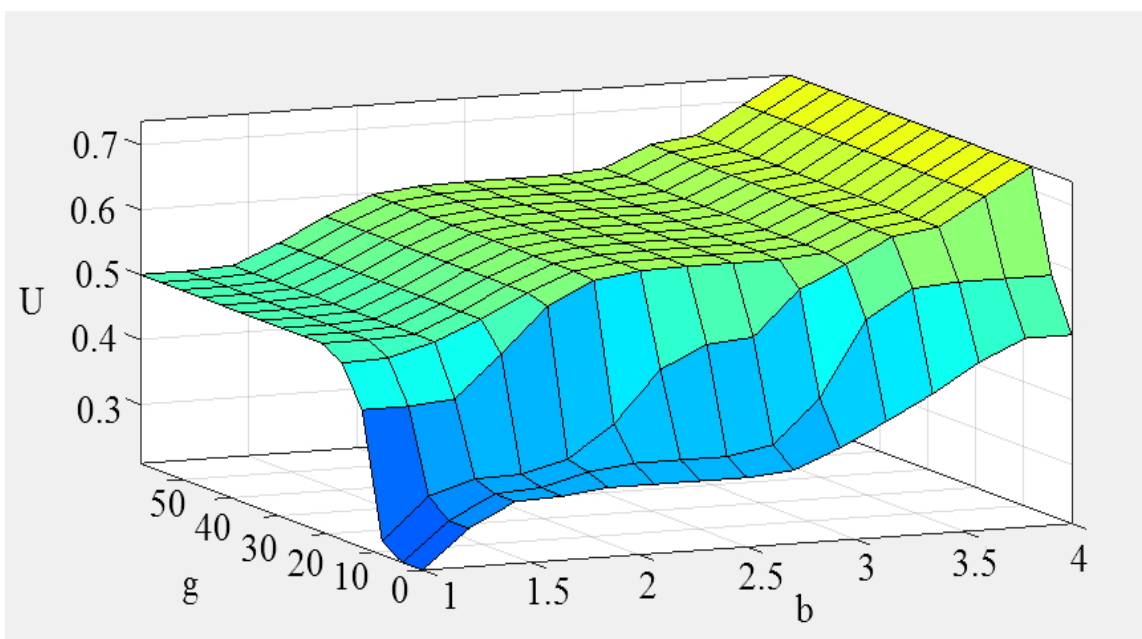


Рисунок 2.14 – Поверхня відгуку при комбінації параметрів: ступінь небезпеки групи до якої віднесено вагони з небезпечними вантажами ( $g$ ) та кількість випадків сумісного розташування вагонів різних груп небезпеки ( $b$ )

Як видно з рисунків 2.12 – 2.14, збільшення значення будь-яких нечітких параметрів та їх комбінацій вказує на зростання загального значення величини умовної впевненості виникнення більш значних наслідків в результаті аварійної ситуації.

В дослідженні сформовано параметри, що впливають на величину ризику настання більш значних наслідків при настанні аварійної ситуації. Ці досліджувані параметри комплексно пов'язані при визначені критерію оцінювання наслідків аварійної ситуації. Вони було обрано, оскільки носять найбільш суттєвий вплив на експлуатаційну роботу при формуванні та просуванні «достатньо безпечного» поїзду, в складі якого є вагони з НВ.

При визначенні умовної впевненості виникнення більш значних наслідків в результаті аварійної ситуації отримане наступне:

– при параметрах змінних  $[1;1;1;0]$  отримано величину  $U$  рівною 0,146 (рисунок 2.9);

– при параметрах змінних  $[60;60;4;59]$  отримано величину  $U$  рівною 0,805 (рисунок 2.10);

– при параметрах змінних  $[20;40;3;10]$  отримано величину  $U$  рівною 0,569 (рисунок 2.11).

Логічним є висновок про виникнення більш значних наслідків при наявності в складі поїзда максимальних значень нечітких змінних, середніх – при середніх значеннях, а мінімальних наслідків при найменших значеннях нечітких змінних. Це підтверджує коректність функціонування даної моделі, а також можливість її роботи при будь-яких вхідних значеннях в мінливих оперативних умовах, що є безумовною перевагою моделі у порівнянні з існуючими.

Для прикладу наведено поверхні відгуку при комбінації параметрів:

– кількість груп вагонів з небезпечними вантажами в складі поїзда, що формується ( $n$ ) та загальна кількість вагонів з небезпечними вантажами ( $m_n$ ) (рисунок 2.12);

– кількість груп вагонів з небезпечними вантажами в складі поїзда, що формується ( $n$ ) та ступінь небезпеки групи до якої віднесено вагони з небезпечними вантажами ( $g$ ) (рисунок 2.13);

- ступінь небезпеки групи до якої віднесено вагони з небезпечними вантажами (g);
- кількість випадків сумісного розташування вагонів різних груп небезпеки (b) (рисунок 2.14).

Особливий інтерес має інтерпретація результатів дослідження комбінацій різних параметрів, що впливають на запропонований комплексний критерій. Аналіз рисунків 2.12–2.14 доводить, що при збільшенні значення будь-яких нечітких параметрів (та їх комбінацій) зростає загальне значення величини умовної впевненості виникнення більш значних наслідків в результаті аварійної ситуації. Такі висновки корисні при визначенні величини ризику при перевезенні НВ і використовуються оперативними працівниками при формуванні складу поїзда.

Наразі отримано можливість щодо вирішення оптимізаційної ризик-орієнтованої моделі формування «достатньо безпечного» поїзда при додаванні експлуатаційної та ризикової компоненти на основі застосування ГА. Таким чином на рисунку 2.15 наведено графічну інтерпретацію результатів моделювання, яка відтворює залежність сумарних витрат, а саме цільової функції від кількості популяцій рішень, що свідчить про збіжність цільової функції та адекватність моделі під час роботи генетичного алгоритму.

В свою чергу на рисунку 2.16 відтворено графічне вирішення ризик-орієнтованої моделі у вигляді тривимірної поверхні відгуку. Як видно з рисунку 2.16 найкращим рішенням для моделі при формуванні «достатньо безпечного» поїзда з небезпечними вантажами різних класів небезпеки та різних груп сумісності буде наявність від двох до трьох груп вагонів з небезпечними вантажами в складі поїзда ( $n=2,42$ ), що формується та від чотирьох до п'яти вагонів в кожній групі ( $m=4,77$ ). В даному випадку витрати на один вагон при формуванні «достатньо безпечного» поїзда складуть 120,04 грн/ваг.

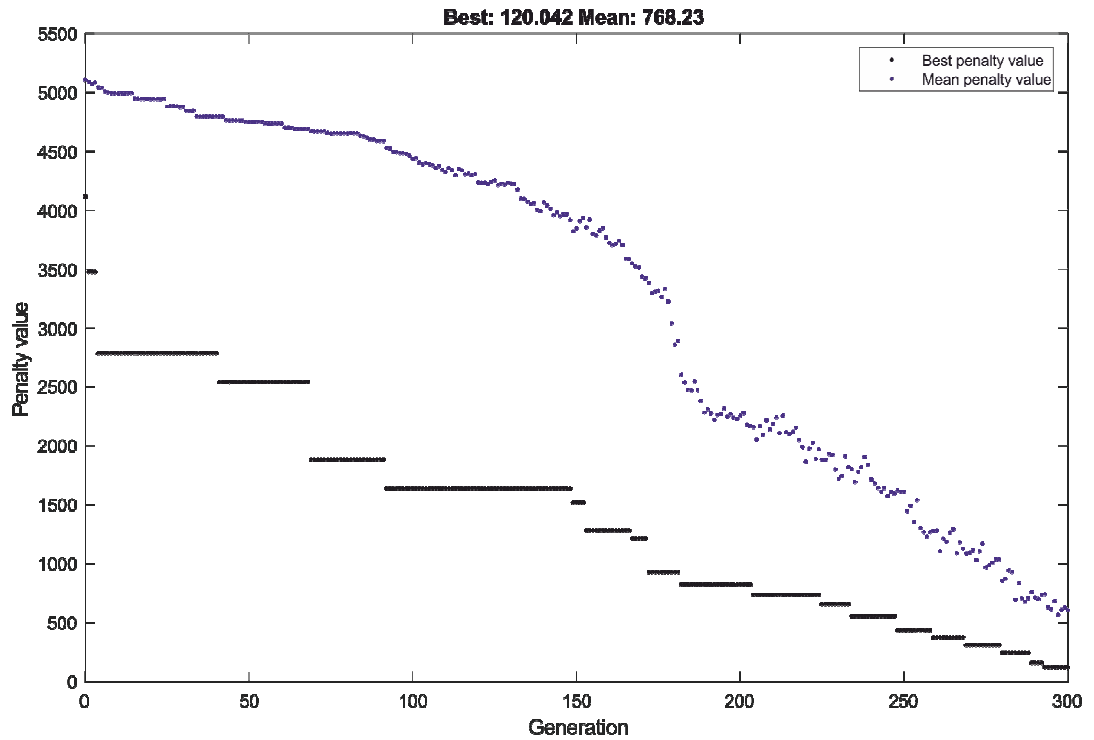


Рисунок 2.15 – Графічна інтерпретація результатів моделювання, яка відтворює залежність сумарних витрат від кількості популяцій рішень

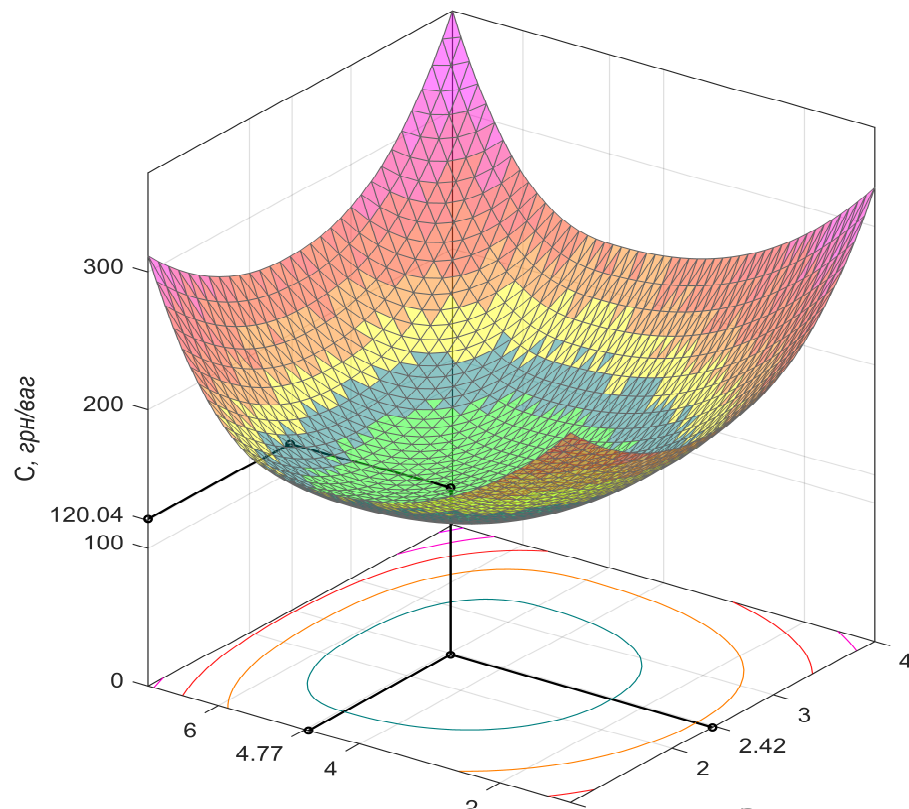


Рисунок 2.16 – Графічне вирішення ризик-орієнтованої моделі у вигляді тривимірної поверхні відгуку

У якості пояснення отриманого рішення слід зауважити, що функція досягає мінімуму при значеннях середньої кількості груп вагонів з НВ у складі поїзда  $n = 2,42$  та середньої кількості вагонів у групі  $m = 4,77$ . Із рисунку видно, що при одночасному зменшенні кількості груп та кількості вагонів в групі сумарні експлуатаційні витрати збільшуються за рахунок збільшення обсягів маневрової роботи.

Наведені підходи у подальшому можуть бути удосконалені при вирішенні завдання по вибору найбільш безпечного маршруту прямування составів з НВ.

### 2.3 Вибір раціонального маршруту прямування поїздів з небезпечними вантажами

Як зазначалося раніше основні витрати, які можуть виникнути від транспортної події з небезпечними вантажами складаються з витрат які припадають на [108]

$$E(w_1) = A_1 + A_2 + A_3, \quad (2.21)$$

де  $A_1$  – витрати спричинені пошкодженням або повним чи частковим знищенням основних виробничих и невиробничих фондів;

$A_2$  – витрати спричинені пошкодженням або повним чи частковим знищенням колій, локомотивів, вагонів, пристроїв СЦБ тощо;

$A_3$  – витрати спричинені пошкодженням або повним чи частковим знищенням майна третіх осіб.

В свою чергу  $A_1$  можуть виникати при знаходженні на усіх видах роздільних пунктів, а також при схрещеннях та обгонах.  $A_2$  можуть виникати також при знаходженні поїзду на перегоні і проходженні населених пунктів.  $A_3$  можуть виникати при проходженні поїзда населених пунктів.

$E(w_2)$  можуть виникати при знаходженні поїзда на усіх видах роздільних пунктів, при схрещеннях та обгонах, знаходженні на перегоні і проходженні населених пунктів

$$E(w_2) = B_1 + B_2 + B_3 + B_4 + B_5, \quad (2.22)$$

де  $B_1$  – витрати спричинені забрудненням атмосфери;

$B_2$  – витрати спричинені забрудненням водних ресурсів;

$B_3$  – витрати спричинені забрудненням верхньої будови колії ;

$B_4$  – витрати спричинені знищенням біологічних ресурсів;

$B_5$  – інші витрати спричинені негативними наслідками від аварійної ситуації.

$E(w_3)$  будуть приймати максимальні значення при проходженні поїзда населених пунктів та при знаходженні на технічних станціях, тобто

$$E(w_3) = C_1 + C_2, \quad (2.23)$$

де  $C_1$  – соціально–економічні витрати, які припадають на виплату грошової компенсації в результаті смерті, інвалідності або травми зі стійкою втратою працездатності, травми без стійкої втрати працездатності;

$C_2$  – витрата спричинені вибуттям трудових ресурсів [108].

Як відомо, процес доставки вантажів від відправника до одержувача можна розглядати, як систему масового обслуговування (СМО) [113-115]. Функціонування будь–якої СМО можна представити через можливі її стани та інтенсивності переходів з одних станів в інші. Для більш коректного та точного визначення всіх складових різних витрат доцільно визначити імовірність знаходження составу поїзда з НВ в різних станах в процесі перевезення:

$S_1$  – знаходження составу поїзда з вагонами, завантаженими НВ між роздільними пунктами всіх видів (за межами населених пунктів);

$S_2$  – проходження составом поїзда з вагонами, завантаженими НВ, населених пунктів без зупинки;



$S_3$  – знаходження составу поїзда з вагонами, завантаженими НВ, під технічними операціями на технічних станціях (зміна локомотива, локомотивної бригади, виду струму, напрямку руху та ін.);

$S_4$  – знаходження составу поїзда з вагонами, завантаженими НВ, під схрещенням;

$S_5$  – знаходження составу поїзда з вагонами, завантаженими НВ, під обгоном.

Тоді граф станів составу поїзда з вагонами, завантаженими НВ, буде мати вигляд (рис. 2.17).

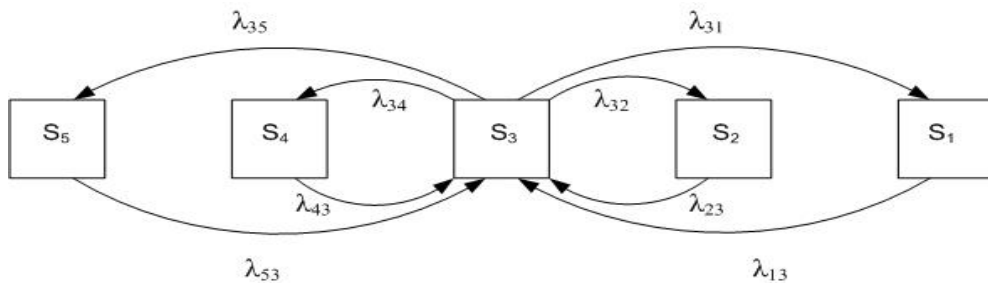


Рисунок 2.17 – Граф станів составу поїзда

Система диференціальних рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{dp_1}{dt} = -(\lambda_{12} + \lambda_{13} + \lambda_{14} + \lambda_{15}) \cdot P_1 + \lambda_{21}P_2 + \lambda_{31}P_3 + \lambda_{41}P_4 + \lambda_{51}P_5 \\ \frac{dp_2}{dt} = -\lambda_{21}P_2 + \lambda_{12}P_1 \\ \frac{dp_3}{dt} = -\lambda_{31}P_3 + \lambda_{13}P_1 \\ \frac{dp_4}{dt} = -\lambda_{41}P_4 + \lambda_{14}P_1 \\ \frac{dp_5}{dt} = -\lambda_{51}P_5 + \lambda_{15}P_1 \end{cases} \quad (2.24)$$

Нормувальна умова

$$P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 = 1 \quad (2.25)$$

Після розрахунку ймовірностей знаходження складу поїзда з вагонами, завантаженими НВ, величина усереднених витрат, приведених на одну аварійну ситуацію  $E(w_a)$  буде розрахована наступним чином

$$E(w_a) = E(w_1) + E(w_2) + E(w_3) = P_1 A_2 + (P_3 + P_4 + P_5) \cdot (A_1 + A_2) + P_2 (A_2 + A_3) + E(w_2) + (P_2 + P_3) E(w_3) \quad (2.26)$$

Таким чином, отримані в (2.26) результати дозволяють більш точно спрогнозувати величину можливих витрат при настанні аварійної ситуації з НВ при виборі маршруту слідування складу поїзда.

Для прикладу наведено розрахунок умовного полігону перевезення НВ (рисунок 2.18) при послідовному проходженні складом поїзда:

1. двох великих населених пунктів, однієї технічної станції (заміна локомотива) та одного схрещення;
2. трьох населених пунктів та двох технічних станцій з відповідними інтенсивностями переходу складу поїзда із стану в стан.

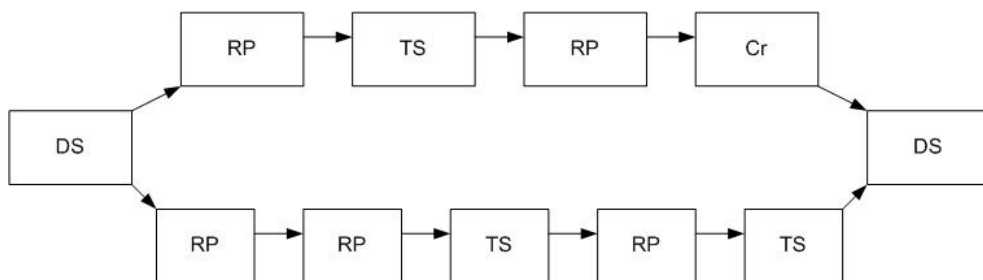


Рисунок 2.18 – Умовний полігон перевезення НВ

Для розрахунку першого маршруту перевезення використано типовий граф (рисунок 2.17), відомі принципи побудови системи диференціальних рівнянь, в середовищі Matlab та отримано наступні результати (рисунок 2.19).

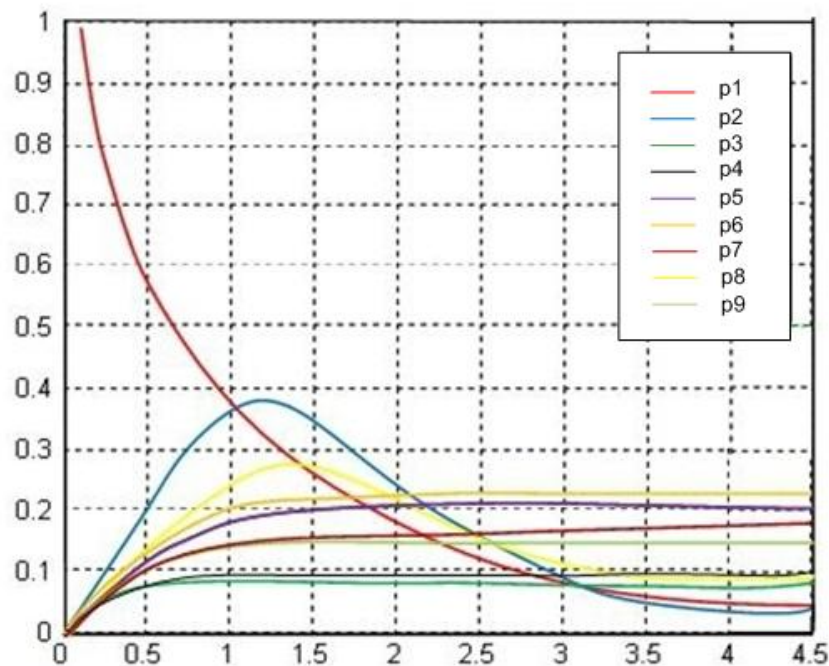


Рисунок 2.19 Результати розрахунків ймовірностей знаходження состава поїзда в різних станах

Ймовірність знаходження составу поїзда з вагонами, завантаженими НВ між роздільними пунктами всіх видів (за межами населених пунктів) складається з P1, P3, P5, P7 та P9 (0,556); ймовірність проходження составом поїзда з вагонами, завантаженими НВ, населених пунктів без зупинки складається з P2 та P6 (0,262); ймовірність знаходження составу поїзда з вагонами, завантаженими НВ, під технічними операціями на технічних станціях (зміна локомотива) відповідає P4 (0,093); ймовірність знаходження составу поїзда з вагонами, завантаженими НВ, під схрещенням відповідає P8 (0,089); ймовірність знаходження составу поїзда з вагонами, завантаженими НВ, під обгоном дорівнює 0.

Таким чином, розрахунок (2.26) буде мати вигляд

$$E(w_a) = E(w_1) + E(w_2) + E(w_3) = 0,556A_2 + 0,182 \cdot (A_1 + A_2) + 0,262(A_2 + A_3) + E(w_2) + 0,355E(w_3)$$

Аналогічним способом розраховується другий (паралельний) маршрут доставки НВ з пункту відправлення до пункту призначення.

Результати розрахунків другого маршруту

$$E(w_a) = E(w_1) + E(w_2) + E(w_3) = 0,483A_2 + 0,231 \cdot (A_1 + A_2) + 0,286(A_2 + A_3) + E(w_2) + 0,392E(w_3)$$

Таким чином, перший маршрут перевезення НВ є більш доцільним з економічної точки зору.

## 2.4 Висновки до другого розділу

1. З метою розробки автоматизованої технології формування «достатньо безпечного» поїзду з небезпечними вантажами різних груп сумісності сформовано оптимізаційну, математичну модель комбінаторного типу в основу якої покладено ризик-орієнтовані підходи. Цільова функція моделі дозволяє забезпечити прийнятний рівень експлуатаційних витрат на маневрову роботу, що зростають зважаючи на додаткові умови, які виникають при формуванні «достатньо безпечного» поїзда на сортувальній станції, мається на увазі розстановка вагонів з небезпечними вантажами по групам безпеки та їх розділення звичайними або порожніми вагонами та мінімізації компоненту ризику настання більш значних наслідків в результаті аварійної ситуації.

2. Формалізовано підхід щодо раціональної композиції складу поїзда з вагонами з небезпечними вантажами різних груп сумісності, що адекватно відображають властивості окремих класів з використанням якісно нового підходу оцінки ступенів безпеки на основі групування існуючих класів. В даному дисертаційному дослідженні вперше пропонується розбиття всіх класів безпеки на чотири групи: низький рівень (8, 9 класи), середній рівень (2, 4.3; 5.1 класи),

високий рівень (3.2; 3; 4.1; 4.2; 5.2; 6.1; 6.2; 7 класи) та надвисокий рівень небезпеки (1 клас). Зазначений параметр впливає на величину ризику транспортної події при формуванні поїзда та його подальшого просування.

3. Для вирішення ризикової компоненти цільової функції оптимізаційної математичної моделі виділено критерій – умовну впевненість виникнення більш значних наслідків в результаті аварійної ситуації. Визначено 4 показника, що впливають на критерій: кількість груп вагонів з небезпечними вантажами в складі поїзда, що формується; загальна кількість вагонів з небезпечними вантажами; ступінь небезпеки групи до якої віднесено вагони з небезпечними вантажами; кількість випадків сумісного розташування вагонів різних груп небезпеки. Визначені складові, що описані в термінах нечіткої логіки дозволили комплексно виявити взаємний вплив цих факторів на більш безпечний варіант формування складу поїзда в оперативних умовах. В результаті моделювання можливих ситуацій, що виникають при формуванні вантажних поїздів із вагонами з небезпечними вантажами отримано результати при заданих вхідних параметрах:

- [1;1;1;0] – U дорівнює 0,146;
- [60;60;4;59] – U дорівнює 0,805;
- [20;40;3;10] – U дорівнює 0,569.

Аналіз отриманих результатів моделювання впевнено свідчить про відповідність величини значень вхідних нечітких параметрів величині значення умовної впевненості виникнення більш значних наслідків в результаті аварійної ситуації. Даний підхід надає можливість оперативному персоналу проводити обробку вхідної інформації про поїзди, що знаходяться на підході до станції, в парку приймання та на коліяї сортувального парку, це дозволить планувати роботу станції по розформуванню–формуванню поїздів на 3–8 годин наперед.

4. В результаті моделювання отримано залежність сумарних витрат, а саме цільової функції від кількості популяцій рішень, що свідчить про збіжність цільової функції та адекватність моделі під час роботи генетичного алгоритму. Зазначена автоматизована технологія з елементами штучного інтелекту дозволить

маневровому диспетчеру в режимі реального часу керувати процесом розформування–формування поїздів та вибору найбільш раціонального маршруту його прямування при попередній оцінці ризиків.

5. При виборі раціонального маршруту прямування поїзду з небезпечними вантажами проводиться попередній розрахунок можливих витрат на конкретному маршруті при настанні аварійної ситуації з поїздом, що має їх в своєму складі. Ризик виникнення більш значних наслідків в результаті аварійної ситуації залежить від витрат, які можуть бути спричинені настанням несприятливої події і складаються з витрат від пошкодження основних фондів (будівлі, споруди), вагонів, колій, локомотивів та майна третіх осіб; витрат від нанесення шкоди навколишньому середовищу та витрати, які припадають на виплату грошової компенсації за нанесення людині негативних наслідків (смерть, травмування, втрата працездатності). Приведені витрати можуть виникати в результаті аварійної ситуації в залежності від того, де саме знаходиться поїзд в складі якого є вагони з небезпечними вантажами. Наприклад пошкодження вагонів, колій та локомотивів можливо при знаходженні поїзда на усіх видах роздільних пунктів, а також при схрещеннях та обгонах, при проходженні ж населених пунктів, окрім зазначених витрат додаються можливі витрати, які припадають на пошкодження або повне чи часткове знищення майна третіх осіб. Таким чином, представляється можливим спрогнозувати величину можливих витрат при настанні аварійної ситуації з небезпечними вантажами при виборі маршруту слідування состава поїзда за умови повної автоматизації розрахунків на основі застосування системи підтримки прийняття рішень (СППР) оперативним персоналом. Представлена технологія дозволить персоналу станції в оперативному режимі обирати маршрут прямування поїзду враховуючи такі параметри, як: кількість вагонів з небезпечними вантажами різних класів, час доби, сезонний фактор, нерівномірність по дням тижня, тощо.

## РОЗДІЛ 3

### ФОРМУВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕВЕЗЕННЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ ВАНТАЖІВ НА ОСНОВІ АБСТРАКТНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ОПЕРАТИВНИХ ПРОЦЕСІВ

#### 3.1 Обґрунтування вибору семіотичної системи моделювання оперативних поїзних ситуацій

В сучасних умовах доволі гостро постають питання підвищення прибутковості від перевезень залізничним транспортом. Це можливо як за рахунок отримання прямих грошових надходжень так и за рахунок збереження існуючого устаткування яке може базуватися на підсиленні технологічної основи організації перевізного процесу.

В даному аспекті особливу увагу привертають перевезення НВ. За перевезення таких вантажів Укрзалізниця отримує значні фінансові надходження це виходить з постійного росту обсягу перевезень. Однак перевезення таких вантажів пов'язані зі значними ризиками виникнення нестандартних небезпечних ситуацій, в тому числі, з нанесенням значних матеріальних збитків [3]. До того ж перевезення таких вантажів несе в собі потенціальну небезпеку для життя та здоров'я людини, а також навколишнього середовища [16].

Відповідно до цього доцільним є вирішення питання забезпечення таких перевезень техніко–технологічними заходами, які дозволять якісно і ефективно реалізовувати основну продукцію залізничного транспорту. Оскільки на даний момент часу в АТ «Укрзалізниця» тривають процеси пов'язані з реформування всієї виробничої структури значні фінанси не можуть бути витраченими на реалізацію окремих проектів. Однак разом із цим доцільно спрямовувати кошти на розвиток технологічної бази, яка є менш витратною і може одразу надавати дохід як за рахунок реалізації продукції транспортного сектору так і за рахунок зменшення витрат на ліквідацію наслідків від несхороних перевезень. Про значні

витрати можуть свідчити показники роботи залізничного транспорту в сфері перевезення небезпечних вантажів.

Подібні проблеми стоять перед всіма залізницями світу і шляхи їх вирішення ґрунтуються на широкомасштабному застосуванні передових комп'ютерних технологій, які дозволяють обробляти заочні потоки оперативної та нормативної вхідної інформації з послідувочою обробкою та наданням конкретного рішення.

З метою реалізації превентивних заходів при перевезенні небезпечних вантажів доцільно розробити та впровадити автоматизовану технологію яка дозволить в режимі реального часу забезпечити керуючі заходи по просуванню транспортних одиниць (локомотиви, вагони). Для успішної реалізації будь-якої подібної системи необхідним є в реальному режимі часу ідентифікувати місцезнаходження вагону або локомотиву. На залізничному транспорті на даний час проходять експерименти з впровадження систем на основі застосування GPS технологій [116]. Дана технологія передбачає встановлення GPS– датчиків на кожен транспортну одиницю, що надає можливість ідентифікувати її в кожен момент часу з наданням наближених до точних координат місця знаходження. До переваг даної технології можна віднести оперативність надходження інформації, порівняно невелику вартість датчиків, наявність готових технічних рішень тощо. Однак слід зауважити, що точність ідентифікації складає від 1 до 5 метрів. Цей факт обмежує застосування даної системи на залізничному транспорті оскільки міжколійна ширина коливається в межах від 4100 міліметрів на перегонах до 5300 міліметрів на станції. Тобто при проходженні поїздів по двох колійній лінії на зустріч вони не можуть бути точно ідентифікованими. Такі ж проблеми постають при ідентифікації вагонів при накопиченні на сортувальних коліях.

Одним з можливих варіантів подолання визначеної проблеми є створення системи ідентифікації рухомого складу в основі якої буде покладено логічний та фізичний контроль місцезнаходження транспортної одиниці з послідувочою автоматизованою інтелектуальною обробкою інформації і наданням



раціонального керуючого рішення по визначенню найкращого варіанту реалізації стратегії роботи оперативного персоналу.

Доцільно навести приблизний опис функціонування визначеної системи з виділенням технічної і технологічної частини. На рисунку 3.1 наведено схематичну реалізацію системи активного моніторингу руху вантажних одиниць.

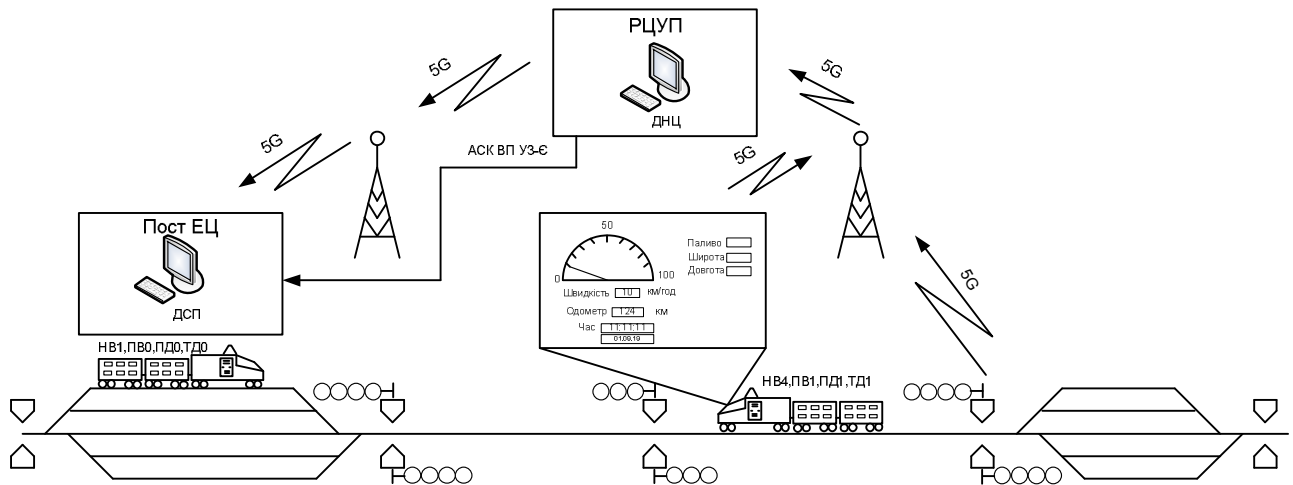


Рисунок 3.1 – Приклад реалізації системи активного моніторингу руху вантажних одиниць.

Дане техніко–технологічне рішення передбачає, що на залізничній станції у вхідній і вихідній горловині буде встановлене додаткове обладнання, яке рахує кількість осей локомотивів і вагонів, які вийшли зі станції на перегін, а потім також рахує ці вісі при входженні на наступну станцію або при проходженні блок–дільниці. Ці дані по каналах бездротового 5G зв'язку надходять до автоматизованої системи диспетчерського управління рухом поїздів (АСДУРП), яка визначає склад поїзда (повний або неповний поїзд). Таким чином диспетчер може контролювати стан перегону або блок–дільниці. Однак для реалізації автоматизованої системи активного моніторингу цього недостатньо. Необхідно, як раніше було зазначено, точно визначати місцезнаходження кожного вагону. Для цього в АСДУРП повинна бути інформація про склад поїзда і характеристику кожного вагону і локомотиву, який здійснює рух. Передбачається, що дані про

вагони та вантаж до АСДУРП будуть надходити з АСК ВП УЗ–Є. Також знадобиться точна інформація в режимі реального часу про швидкість поїзда, яка буде надходити по каналах бездротового 5G зв'язку. На основі об'єднання та аналізу інформації про швидкість руху та довжину поїзду із диференціацією по кожній окремій одиниці стає можливим визначити точну позицію рухомого складу в просторі.

Визначені данні надходять по каналах 5G автоматизованого робочого місця (АРМ) оперативного персоналу регіонального центру управління перевезеннями (РЦУП). Ця інформація є базовою, щодо послідуєчого прийняття рішення щодо подальшої реалізація стратегії пропуску поїздів по дільниці. Якщо дільниця обладнана диспетчерською централізацією (ДЦ) типу КАСКАД то диспетчер самостійно виконує дії по приготуванню маршруту прямуювання поїзду та сам стежить за його просуванням. У разі відсутності ДЦ поїзний диспетчер передає необхідні команди до АРМ чергового по станції по каналах 5G або АСК ВП УЗ–Є.

Зважаючи на значну завантаженість ДНЦ та ДСП постає проблема прийняття оперативного обґрунтованого раціонального рішення щодо пропуску поїздів по дільниці. Оперативному персоналу необхідно постійно вирішувати питання пошуку раціональних варіантів виконання поїзної роботи на станції та дільниці. Такі рішення в основному приймаються на основі власного досвіду кожного працівника. Слід також зауважити, що залізницях колишнього СРСР є певні технічні особливості. В даній науковій роботі, в першу чергу, увагу приділено одноколіїному руху з напівавтоблокуванням оскільки саме цей спосіб виконання поїзної роботи є обмежуючим для всієї залізничної мережі.

### 3.2 Моделювання поїзних станів при просуванні поїздопотоків з НВ на основі абстрактних поїзних конструкцій

Одною з актуальних проблем пропуску поїздів по мережі регіональних філій АТ «Укрзалізниця» є наявність одноколіїних ділянок на яких одночасне

приймання або безупинний пропуск поїздів з протилежних напрямків не є можливим. Ця умова продиктована умовами забезпечення безпеки руху. В даному випадку процедура приймання та безупинного пропуску зустрічних поїздів регламентується дотриманням спеціальних станційних інтервалів. В даному випадку мова йде про інтервал станційний неодночасного прибуття  $\tau_{np}$ , який представляє собою мінімальний проміжок часу від моменту прибуття поїзда на розмежувальний пункт до моменту прибуття чи прослідування через цей пункт поїзда зустрічного напрямку [6, 117, 118].

На рисунку 2 відтворено схематичне уявлення  $\tau_{np}$  (вимірюється в хвилинах) як елементу графіку руху поїздів який відображає вхід непарного поїзда під номером 2101 і парного поїзда під номером 2102 на розмежувальний пункт S, а на рисунку 3 наведено візуальну інтерпретацію визначеної поїзної ситуації.

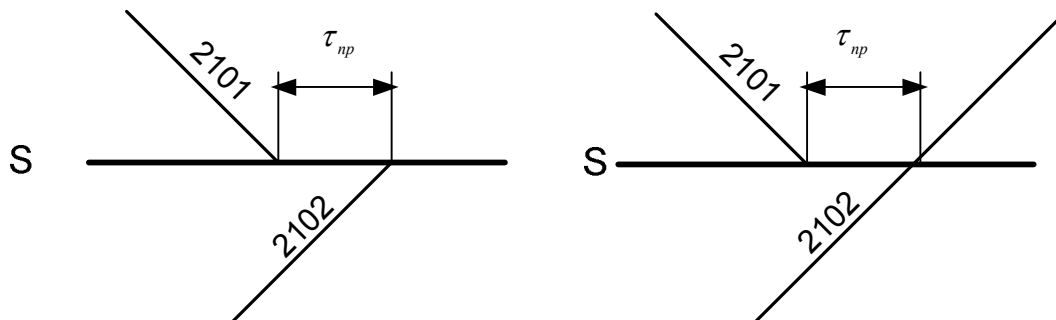


Рисунок 3.2 – Схематичне уявлення  $\tau_{np}$  як елементу графіку руху поїздів

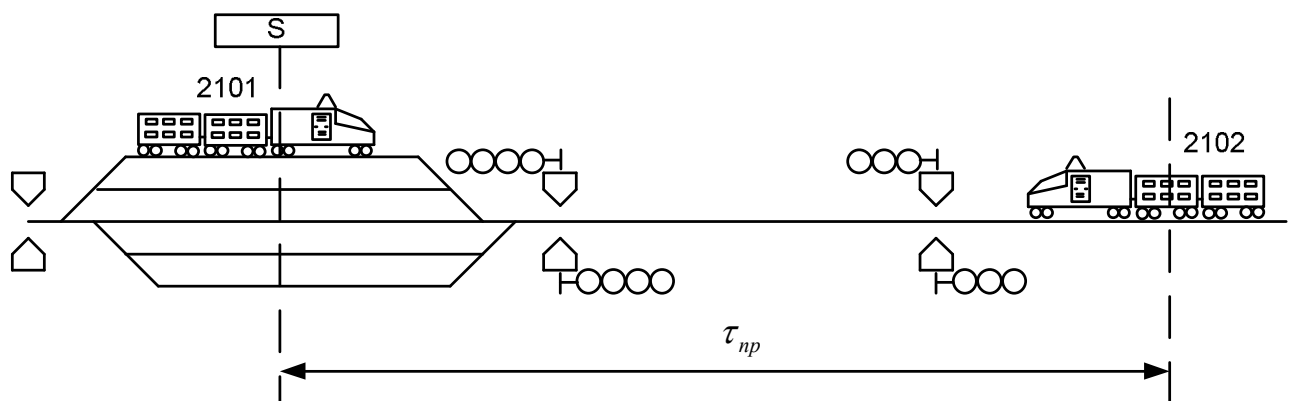


Рисунок 3.3 – Візуальна інтерпретацію станційного інтервалу  $\tau_{np}$

В даному випадку дії ДНЦ та локомотивної бригади повинні бути чітко скоординованими оскільки  $\tau_{np} \in [1;3]$ . З можливих збоїв в русі поїздів з-за можливих оперативних обставин порушення цього інтервалу може призвести до значних затримок в русі і як слідство порушення виконання всього ГРП в цілому. Визначена ситуація стає ще більш ускладненою у випадку прямування вантажних поїздів з небезпечними вантажами. Тому прогнозування в реальному режимі часу та швидке реагування на зміну оперативних обставин є основою мінімізації ризиків при прямуванні поїздів з НВ особливо в умовах пасажирського руху як на перегонах так і розмежувальних пунктах. При цьому необхідно зауважити, що поряд з такими поїздами на залізниці курсують поїзди з негабаритними вантажами, підвищеної ваги, підвищеної довжини, поїзди з вантажами з вичерпаним терміном доставки [119]. В цих умовах поїзний диспетчер доволі часто повинен практично миттєво приймати рішення, які в майбутньому можуть призвести до не виправданих техніко–технологічних втрат.

Відповідно до зазначеного важливим є формування нової або удосконалення існуючої технології прогнозування раціонального розв'язання транспортних подій з мінімальним ризиком та експлуатаційними витратами.

Моделювання реальної поїзної ситуації наведеної на рис. 3.2 та 3.3 з метою її прогнозування та розв'язання у автоматизованому, а в подальшому і в автоматичному режимах складана науково–прикладна задача.

З метою максимально швидкого реагування на зміну транспортних подій в даній науковій роботі як зазначалося раніше буде застосовано модифікацію мови поїзних ситуацій (МПС) [120, 121] у вигляді абстрактного моделювання оперативних процесів (АМОП). Саме цей підхід дозволить забезпечити максимально швидку реалізацію алгоритмів прийняття рішень оперативним персоналом при потужній підтримці автоматизованого комплексу диспетчерського управління.

В подальшому  $\tau_{np}$  буде описаний у термінах АМОП. Відповідно до цього  $\tau_{np}$  доцільно представити у вигляді предикату колізії неодночасного прибуття подібним предикату колізії нагону МПС. На відміну від останнього він буде

надавати безумовний пріоритет одному поїзду перед іншим щодо першочергового приймання або про слідування через розмежувальний пункт при зустрічному русі. Таким чином предикат колізії неодночасного прибуття  $\beta_{np}$  можливо виразити наступним чином [122, 123]

$$\beta_{np}(p_i^{\cdot}, p_j^{\ddot{)}, t_n), \quad (3.1)$$

де  $p_i^{\cdot}$  – умовне позначення поїзда, що рухається в бік розмежувального пункту з непарного напрямку;

$p_j^{\ddot{)}$  – умовне позначення поїзда, що рухається в бік розмежувального пункту з парного напрямку;

$t_n$  – час виконання події (прибуття поїзда на станцію), год.

У загальному вигляді абстрактна модель оперативного процесу прибуття поїздів протилежних напрямків на розмежувальний пункт може бути представлена наступним чином [121]

$$\beta_{np}(p_i^{\cdot}, p_j^{\ddot{)}, t_n) \Rightarrow (p_i^{\cdot} \chi_{\epsilon} s) \tau_{(\bullet)}(t_n) \& (p_j^{\ddot{)} \chi_{\epsilon} s) \tau_{(\bullet)}(t_n), \quad (3.2)$$

де  $\chi_{\epsilon}$  – відносна, яка характеризує подію знаходження певного об'єкту на визначеній інфраструктурній складовій (станція, колія, перегін);

$s$  – позначення фізичної складової моделі, яка інфраструктурної складової залізничного підрозділу (залізнична станція);

$\tau_{(\bullet)}(t_n)$  – часова відносна, яка характеризує здійснення події в момент часу  $t_n$ .

Однак такий запис не задовольняє визначеним умовам неодночасного прибуття та самому сенсу предикату колізії  $\beta_{np}$  [124, 125] тому згідно поставлених вимог абстрактна модель оперативного процесу неодночасного прибуття поїздів протилежних напрямків на розмежувальний пункт буде представлена наступним чином:

$$\beta_{np}(p_i, p_j, t_n) \Rightarrow (p_i \chi_{\in S}) \tau_{(\cdot)}(t_{n-1}) \& (p_j \chi_{\in S}) \tau_{(\cdot)}(t_{n+1}), \quad (3.3)$$

Відповідно виразу 3.3 буде справедливим наступний вираз

$$\tau_{np} = (t_{n+1}) - (t_{n-1}), \quad (3.4)$$

Таким чином складна лінгвістична конструкцію наведена в роботі [119] може бути представлена у вигляді предикату АМОП та похідної базисної конструкції МПС [120].

Цей підхід значно спрощує моделювання будь-яких транспортних процесів в основу яких покладено елементи штучного інтелекту з метою подальшої автоматизації визначених процесів.

У якості прикладу змодельовано поїзну ситуацію, яка може виникнути в реальних оперативних обставинах при порушенні нормативного графіка руху поїздів.

На рисунку 3.4 відтворено приклад нормативного графіка руху поїздів (НГРП). Відповідно до цього фрагменту змодельований варіант його реалізації, який передбачає пропуск наскрізного 2101 поїзда із зупинкою на станції S для схрещення з поїздом 2102.

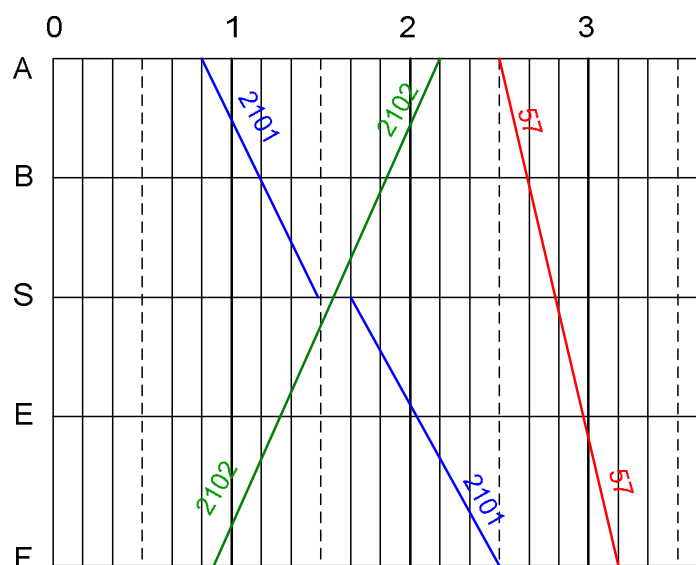


Рисунок 3.4 – Фрагмент діючого нормативного графіка руху поїздів

На визначений час по станції S змодельована оперативна ситуація (рис. 3.5), яка умовно відбиває дотримання розробленого НГРП з рис. 3.4.

Описуючи ситуацію з рис. 3.5 важливо відзначити наступне: непарний поїзд доцільно було б пропускати по I головній колії, однак згідно з НГРП по цій колії буде здійснено безупинний пропуск наскрізного вантажного поїзда 2102. В цих умовах 2101 може бути прийнятим на 3 або 5 колію.

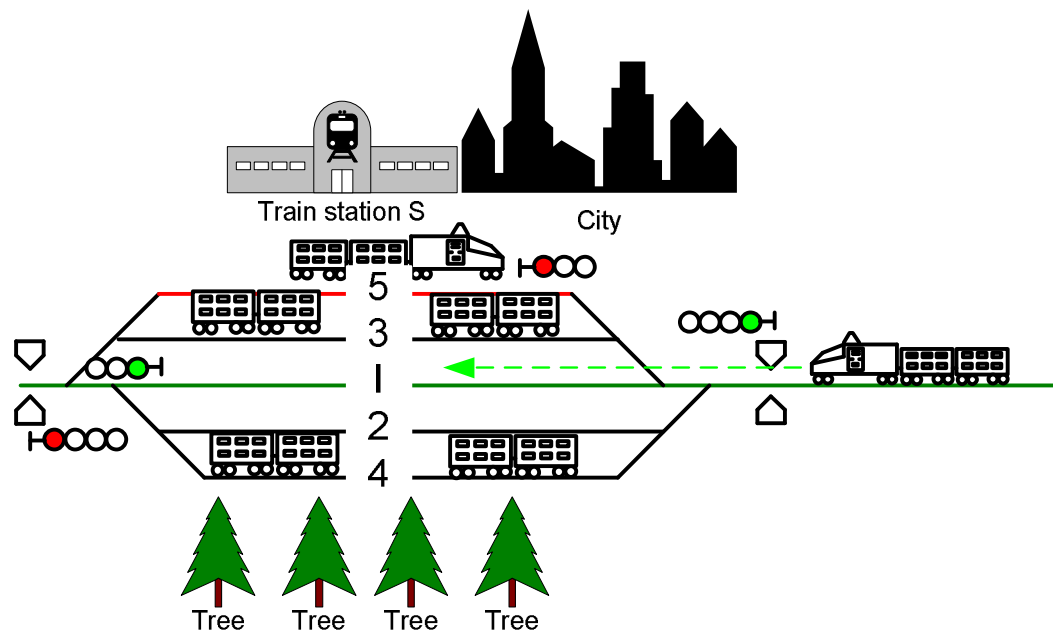


Рисунок 3.5 – Візуальна модель поїзного оперативного стану на станції S відповідно діючого НГРП.

Однак оскільки 3 колія зайнята вантажними вагонами (можливо місцевими під навантаження або під вивантаження), то 2101 можливо прийняти на 5 вільну колію, яка може бути використаною, відповідно технічно-розпорядчого акту станції (ТРА), в тому числі для обслуговування пасажирського руху. Ця колія, як видно з рисунку 5 знаходиться біля пасажирської будівлі розташованої з боку міста.

Слід додати, що на рис. 3.5 змодельований станційний стан який відповідає НГРП з точки зору суворого дотримання розкладу руху всіх категорій поїздів і відповідає умові рівнозначності 2101 та 2102 поїздів (поїзди без особливих ознак, які розглядалися раніше).

Визначена ситуація на станції може бути описана предикатом колізії  $\beta_{np}$ , який відповідає виразу (3.3). При цьому для кожного з цих поїздів будуть застосовані відповідні модифікації базисних продукцій [120, 121, 124].

Для прогнозування підходу з послідуочим прийняттям поїзда 2101 на станцію під схрещення з зупинкою будуть застосовані продукції (3.5) та (3.6)

$$(p_i \chi_{\epsilon} d) \tau_n(t^\mu) \& (p_i \chi_{\epsilon} d) \tau_{\Delta}(l) \Rightarrow (p_i \chi_{\epsilon} d) \tau_k(t^\mu + l), \quad (3.5)$$

де  $\tau_n(t^\mu)$  – момент часу початку виконання події;

$\tau_{\Delta}(l)$  – інтервал часу на протязі якого виконується визначена подія;

$$(p_i \chi_{\epsilon} d) \tau_k(t^\mu) \& P_{vp}(d, t^\mu) \Rightarrow (p_i \chi_{\epsilon} s) \tau_n(t^\mu), \quad (3.6)$$

де  $\tau_k(t^\mu)$  – момент часу закінчення виконання події;

$P_{vp}(d, t^\mu)$  – предикат вільності перегону в момент часу  $t^\mu$ .

Для прогнозування підходу з послідуочим без зупинним пропуском поїзда 2102 по станції S будуть застосовані модифікації продукцій (3.7) та (3.8)

$$(p_j \chi_{\epsilon} d) \tau_n(t^\mu) \& (p_j \chi_{\epsilon} d) \tau_{\Delta}(l) \Rightarrow (p_j \chi_{\epsilon} d) \tau_k(t^\mu + l), \quad (3.7)$$

$$(p_j \chi_{\epsilon} s) \tau_k(t^\mu) \& P_{vp}(d, t^\mu) \Rightarrow (p_j \chi_{\epsilon} d) \tau_n(t^\mu), \quad (3.8)$$

Слід зауважити, що оперативні обставини на лінійних залізничних підрозділах та полігонах постійно змінюються і можуть суттєво відрізнитися від планів, що були складені на зміну чи добу і тим більше на рік. В цих умовах оперативний працівник, в даному випадку поїзний диспетчер повинен



прогнозувати наперед такі зміни, а в окремих випадках миттєво приймати обґрунтовані рішення оперативного корегування НГРП.

На рисунку 3.6 змодельований фрагмент графіку виконаного руху поїздів, який відрізняється від раніше наведеного фрагменту НГРП. Видно, що поїзд 2101 відхилився від нормативного розкладу на 10 хвилин і в його складі містяться вагони з небезпечними вантажами про що свідчить відповідна позначка (2101нв).

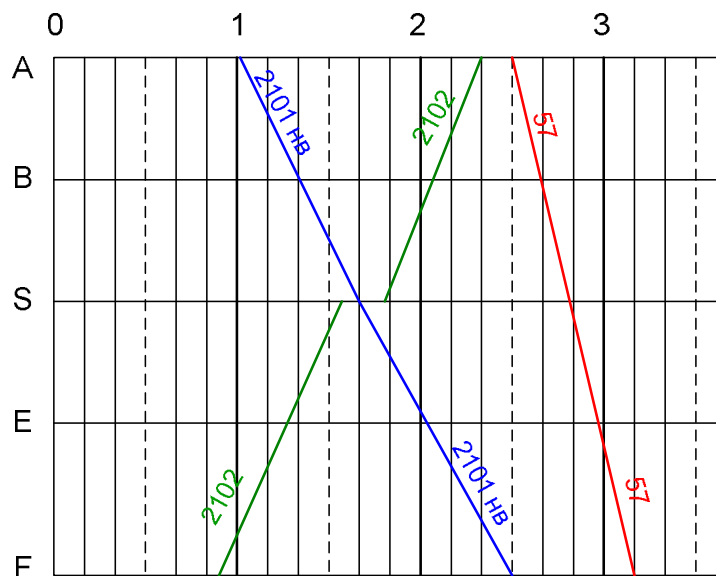


Рисунок 3.6 – Фрагмент графіку виконаного руху поїздів

Ситуація ускладнюється тим, що відповідно до ТРА станції S поїзди з НВ заборонено пропускати по 5 колії оскільки вона використовується для обслуговування пасажирського руху і вона розташована біля пасажирської будівлі (вокзалу), яка знаходиться у безпосередній близькості з містом [126].

ДНЦ повинен відкоригувати ГРП таким чином, щоб максимально забезпечити безпеку пасажирів та населення при цьому мінімально вплинути на загальну стратегію пересування поїздів по напрямку, оскільки це може призвести до ланцюгової реакції і нанести значних збитків.

На рисунку 3.7 наведено графічну інтерпретацію поїзного стану по станції S, який відповідає виконаному графіку руху поїздів (рисунок 3.6).

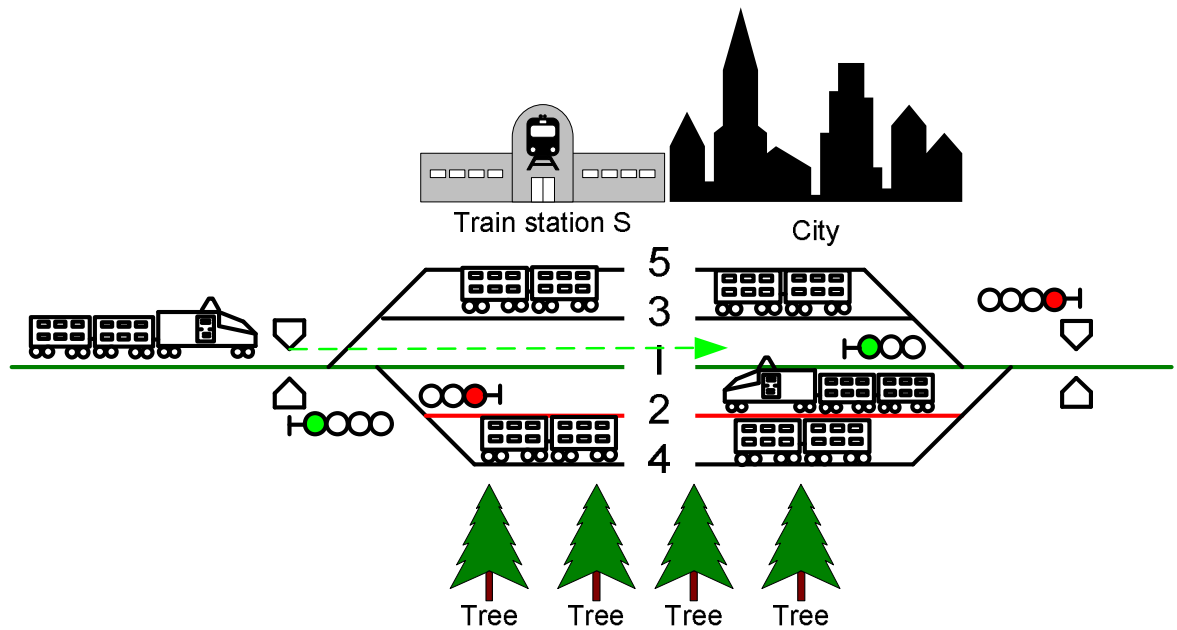


Рисунок 3.7 – Графічна інтерпретація поїзного стану по станції S відповідно виконаного ГРП.

В наведеній ситуації, виконаного ГРП, предикат колізії  $\beta_{np}$  може бути виражений наступним чином [5]

$$\beta_{np}(p_j^{\cdot}, p_i^{\cdot}, t_n) \Rightarrow (p_j^{\cdot} \chi_{\in S}) \tau_{(\bullet)}(t_{n-1}) \& (p_i^{\cdot} \chi_{\in S}) \tau_{(\bullet)}(t_{n+1}), \quad (3.9)$$

Відповідно до змін в НГРП у вигляді виконаного ГРП та предиката колізії  $\beta_{np}$  наведеного у виразі (9) модифікації базисних продукцій для поїздів 2101нв та 2102 будуть інтерпретованими відповідним чином:

– для 2101нв ( $p_i^{\cdot}$ ) продукція, яка відповідає за закінчення руху по перегону буде ідентичною продукції (3.5), а продукція, яка описує початок руху зі станції буде мати наступний вигляд:

$$(p_i^{\cdot} \chi_{\in S}) \tau_k(t^{\mu}) \& P_{vp}(d, t^{\mu}) \Rightarrow (p_i^{\cdot} \chi_{\in d}) \tau_n(t^{\mu}), \quad (3.10)$$

– для 2102 ( $p_j$ ) продукція, яка відповідає за закінчення руху по перегону буде ідентичною продукції (3.7), а продукція, яка описує початок стоянки для виконання процедури схрещення з 2101нв на станції S буде мати наступний вигляд

$$(p_j \chi_{\in d}) \tau_k(t^\mu) \& P_{vp}(d, t^\mu) \Rightarrow (p_j \chi_{\in s}) \tau_n(t^\mu). \quad (3.11)$$

В такий спосіб було змодельоване вирішення оперативної ситуації порушення НГРП, при якій виникла необхідність зміни порядку схрещення парного і непарного поїзда на залізничній станції S. Для оперативного подолання ситуації, що виникла було застосовано предикат колізії та модифіковані базові продукції. Однак визначені інструменту не зможуть допомогти для прийняття адекватного рішення в ситуації коли необхідно прийняти рішення щодо черговості відправлення поїздів готових до відправлення зі станції в одному напрямку. На рис. 3.8 відтворено довільний фрагмент НГРП який відповідає описаній ситуації.

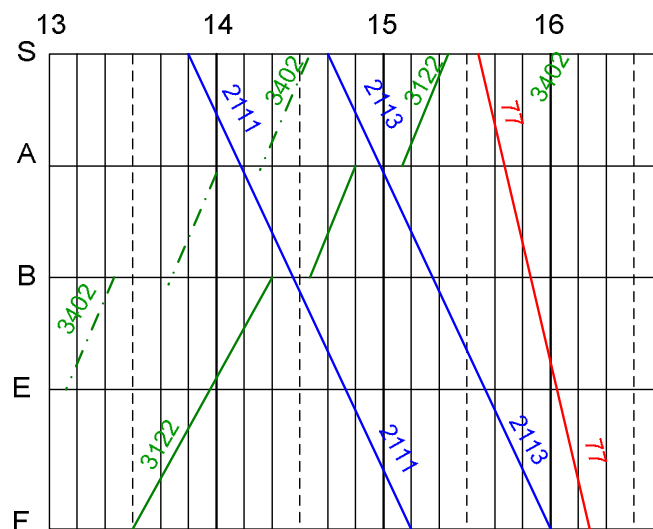


Рисунок 3.8 – Довільний фрагмент діючого нормативного графіка руху поїздів.

Оперативна станційна дислокація поїздів наведена на рисунку 3.9.

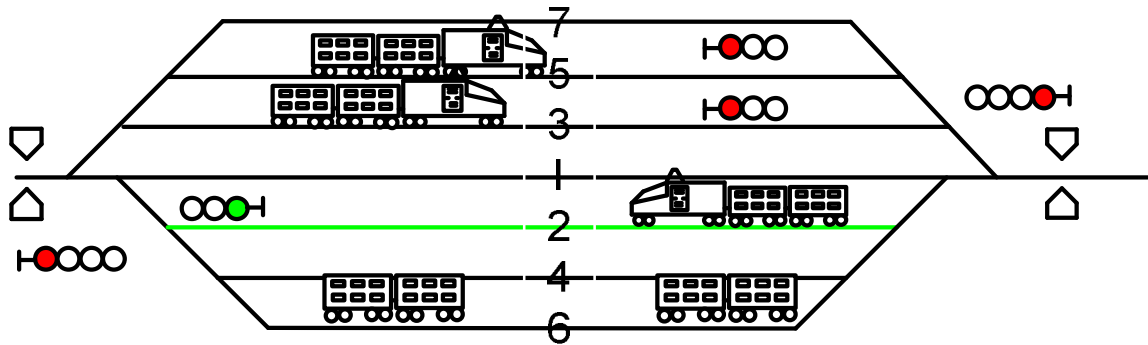


Рисунок 3.9 – Змодельоване уявлення поїзного стану станції S з рисунком 3.8

З ситуації відтвореної на рисунку 8 виходить, що зі станції S повинні бути відправлені два непарних наскрізних поїзда 2111 та 2113. Якщо поїзди, що стоять на 3 та 5 колії мають рівні пріоритети та характеристики то фактично без різниці який з них підв'язати під ту чи іншу нитку ГРП. Тому можна бути використати модифіковану продукцію (3.6) до будь-якого з них.

Однак на залізниці оперативні обставини суттєво відрізняються від тих, що було заплановано на початку зміну і тим більше від тих, що було визначено рік тому. В цих умовах визначені продукції повинні бути розширені за рахунок надання їм додаткових абстрактних конкретизацій.

### 3.3 Формування бази даних семіотичної системи оперативних поїзних ситуацій

Щоб досягти отримання адекватного рішення поставленої задачі необхідно мати відповідну базу даних (БД) [127, 128]. Слід зауважити, що БД в даному випадку буде носити нормативно-довідковий характер про існуючу документальну базу, оперативний стан інфраструктурної складової, а також

типові або унікальні ситуації, які будуть основою прийняття рішення в оперативній поїзній ситуації на перегоні або станції [129].

В даній роботі БД сформовано поетапно у вигляді таблиць, які будуть містити абстрактні формальні позначення з лінгвістичною транскрипцією та керуючими діями.

Дана база повинна передбачати, як було раніше зазначено, забезпечення вирішення ситуацій просування поїздів з НВ в умовах як пасажирського руху так і при врахуванні наявності поїздів, які мають додаткові ознаки і вимагають особливих умов пропуску по залізничних полігонах [130, 131].

Додатковими ознаками повинні бути виражені як статичні об'єкти так динамічні. До статичних віднесено залізничну станцію, станційні колії та перегони. У якості динамічного об'єкту обрано поїзд.

Представимо додаткові ознаки залізничної станції  $S$  у наступному вигляді

$$S \in \{s_1, s_2, \dots, s_g\}, \quad (3.12)$$

де  $s_1, s_2, \dots, s_g$  – набір лінгвістичних ситуацій, які описують техніко–технологічний стан залізничної станції.

Таблиця 3.1 – Лінгвістичні значення абстрактних конкретизацій станційних станів  $S$

Формальне позначення ситуації	Лінгвістична транскрипція	Дія
$s_1$	Станція діє згідно затвердженого «Технологічного процесу» в нормальних умовах	Дозволено прийом поїздів на всі вільні колії згідно спеціалізації
$s_2$	Станція діє в умовах порушення «Технологічного процесу» при нестандартних умовах	Прийом поїздів на певні колії заборонено з-за виконання ремонтних робіт (закрито для руху поїздів парного напрямку)

Провження таблиці 3.1.

Формальне позначення ситуації	Лінгвістична транскрипція	Дія
$s_3$	Станція діє в умовах порушення «Технологічного процесу» при нестандартних умовах	Прийом поїздів на певні колії заборонено з-за виконання ремонтних робіт (закрито для руху поїздів непарного напрямку)
$s_4$	Станція діє по за межами затвердженого «Технологічного процесу»	Рух поїздів по станції заборонено

В таблиці 3.1 наведені основні техніко–технологічні характеристики станції, що свідчать про можливість виконання поїзної роботи відповідно технологічного процесу тобто відповідають умові достатнього набору базових ситуацій для використання в системі підтримки прийняття рішень. Однак слід зауважити, що визначена добірка базових абстрактних конкретизацій типу «ситуація–дія» не відповідає вимогам виконання конкретних дій з окремо обраним об'єктом – залізничною колією [119]. Ця колія може знаходитися в різних парках станції (приймально–відправному або транзитному). Зазначене продиктоване необхідністю та ґрунтується на тому, що в певних випадках коли ситуаційний стан на станції відповідає  $s_1$  то для диспетчерського персоналу додаткових конкретизацій не треба і абстрактні формальні конструкції можуть бути зведені до мінімальних значень як у випадках (3.1)–(3.11). У всіх інших випадках  $s_2$ ,  $s_3$  і тим більше  $s_4$  потрібні детальні конкретизації пов'язані з визначенням дій в ситуації кожної конкретної залізничної колії. Відповідно зазначеного постає завдання визначення ситуаційних станів цих об'єктів у вигляді абстрактних конкретизацій.

Множину базових ситуацій, які відповідають різним станам об'єктів можна представити у вигляді:

$$W \in \{w_1, w_2, \dots, w_m\}, \quad (3.13)$$

де  $w_1, w_2, \dots, w_m$  – позначення ситуацій, які описують техніко–технологічні характеристики станційних колій.

Таблиця 3.2 – Абстрактні конкретизації стану станційних колій  $W$

Формальне позначення ситуації	Лінгвістична транскрипція	Дія
$w_1$	Всі колії на станції вільні	Дозволено приймання або пропуск поїздів всіх категорій
$w_2$	Колія вільна для пропуску пасажирських поїздів	Дозволено приймання або пропуск пасажирських поїздів
$w_3$	Колія вільна для пропуску вантажних поїздів	Дозволено приймання або пропуск вантажних поїздів
$w_4$	Колія вільна для пропуску вантажних поїздів з небезпечними вантажами	Дозволено приймання або пропуск вантажних поїздів з небезпечними вантажами
$w_5$	Колія вільна для пропуску вантажних поїздів з негабаритним вантажем	Дозволено приймання або пропуск вантажних поїздів з негабаритним вантажем
$w_6$	Колія вільна для пропуску вантажних довгосоставних поїздів	Дозволено приймання або пропуск вантажних довгосоставних поїздів
$w_7$	Всі колії на станції зайняті	Заборонено приймання та пропуск поїздів всіх категорій

В таблиці 3.2 наведені абстрактні конкретизації, які свідчать про конкретну можливість виконання дії в залежності від стану колії. Ситуація  $w_7$  свідчить про неможливість приймання–відправлення поїздів оскільки всі колії станції зайняті. Такий стан дуже рідкий однак можливий. Частіше може виникнути ситуація при якій, наприклад, колія призначена для пропуску або прийому вантажних поїздів з небезпечними вантажами може бути зайнята, тобто невиконання ситуації  $w_4$ . Згідно до цього, з метою коректного визначення максимальної кількості базових ситуацій, які в подальшому дозволять адекватно визначати та прогнозувати стратегію поведінки диспетчерського персоналу, необхідно розробити антагоністичні ситуації ситуаціям набору  $W$  і позначити їх  $W'$ . Відповідно до

обраного способу позначень ситуація  $w_4$  буде описувати стан при якому колія для приймання або пропуску поїздів з небезпечним вантажем відсутня. Таким чином було визначено базові ситуації станційної інфраструктури.

Наступним логічним етапом постає задача визначити базовий набір ситуацій, які будуть описувати стан прилеглих до станції перегонів. Необхідність вирішення даної задачі ґрунтується на тому, що в оперативних умовах саме характеристика перегону може відігравати остаточну роль при прийнятті рішення щодо черговості прийняття поїздів на станцію. Представимо множину станів перегону наступним чином

$$D \in \{d_1, d_2, \dots, d_c\}, \quad (3.14)$$

де  $d_1, d_2, \dots, d_c$  – множина ситуацій, які описують стан прилеглих перегонів.

Таблиця 3.3 – Абстрактні конкретизації стану прилеглих до станції перегонів  $D$

Формальне позначення ситуації	Лінгвістична транскрипція	Дія
$d_1$	Без ознак	Дозволено пропуск поїздів всіх категорій без обмежень
$d_2$	Перегін розташований під ухилом в бік станції (спуск)	Доцільно приймання або пропуск поїздів на колії з виходом на тупикові колії
$d_3$	Перегін розташований на підйомі у бік станції	Заборонено затримувати у вхідного сигналу поїзди підвищеної ваги
$d_4$	На перегоні встановлено обмеження швидкості	Віддати перевагу поїздам, що відстають від розкладу руху
$d_5$	Перегін для руху поїздів зачинено	Заборонено пропуск поїздів всіх категорій



Таким чином було визначено основні базові ситуації, що описують техніко–технологічні параметри всіх статичних інфраструктурних складових у вигляді абстрактних конкретизацій.

В подальшому доцільно визначити аналогічні абстракції типу «ситуація–дія» для мобільних транспортних одиниць, а саме поїздів в наступному вигляді

$$Z \in \{z_1, z_2, \dots, z_b\}, \quad (3.15)$$

де  $z_1, z_2, \dots, z_b$  – множина ситуацій, які описують стан поїзда або його ознаки.

Таблиця 3.4 – Абстрактні конкретизації мобільних транспортних одиниць  $Z$

Формальне позначення ситуації	Лінгвістична транскрипція	Дія
$z_1$	Без ознак	Поїзд без пріоритетів може бути прийнятим або відправленим в останню чергу
$z_2$	Пасажирський поїзд	Прийняти поїзд при виконанні умови $w_2$
		Відправити поїзд при виконанні умови $d_1, d_2, d_3, d_4$
$z_3$	Вантажний поїзд з небезпечним вантажем	Прийняти поїзд при виконанні умови $w_4$
		Відправити поїзд при виконанні умови $d_1, d_2, d_3, d_4$
$z_4$	Вантажний поїзд підвищеної ваги	Пріоритетне прийняття поїзда при настанні умови $d_3$
		Пріоритетне відправлення поїзда при настанні умови $d_3$ при виїзді зі станції та $d_1, d_2, d_4$ у будь–якому іншому випадку
$z_5$	Вантажний поїзд підвищеної довжини	Прийняти поїзд при виконанні умови $w_6$
		Відправити поїзд при виконанні умови $d_1, d_2, d_3, d_4$

## Продовження таблиці 3.4

Формальне позначення ситуації	Лінгвістична транскрипція	Дія
$z_6$	Вантажний поїзд з негабаритним вантажем	Прийняти поїзд при виконанні умови $w_5$
		Відправити поїзд при виконанні умови $d_1, d_2, d_3, d_4$
$z_7$	Вантажний поїзд в складі якого містяться вагони з вантажем з порушеним терміном доставляння	Поїзд має пріоритет перед $z_1$ і може бути прийнятим в першу чергу
		Відправити поїзд при виконанні умови $d_1, d_2, d_3, d_4$

На даному етапі визначено всі необхідні ситуаційні параметри статичних і динамічних об'єктів, які знадобляться для побудови абстрактних конструкцій з метою опису діючих поїзних оперативних станів та формування поїзних стратегій на періоди різного темпорального рівня. Таким чином сформовано базу знань, яка є основою надання абстрактним формальним визначенням більш конкретних ознак. Це надасть можливість оперативним працівникам формувати поїзну стратегію ґрунтуючись на врахуванні максимального числа ознак, які впливають на безпеку та якість.

Визначена база знань надає можливість у комплексі з раніше визначеним предикатом вирішити оперативне завдання змодельоване на рис. 3.8 та 3.9 за умови надання поїздам 2111 та 2113 додаткових характеристик, які було визначено при їх формування. Тобто ці поїзди набули певних унікальних характеристик. Так за додатковими умовами поїзд 2111, що знаходиться на 3 колії станції S містить в своєму складі вагони з небезпечним вантажем. До того ж для ускладнення завдання в оперативних умовах з'ясувалося, що в складі цього ж поїзда містяться вагони з терміном, що спливає. Поїзд 2113, який знаходиться на 5 колії додатковими ознаками не наділено тобто – «без ознак».

У загальному вигляді черговість відправлення поїздів зі станції S у вигляді абстрактних конструкцій може бути представленою наступним чином [5]

$$\gamma_{\epsilon}(p_i, p_j, t_n) \Rightarrow (p_i \chi_{\epsilon} d) \tau_{(\bullet)}(t_n) \& (p_j \chi_{\epsilon} d) \tau_{(\bullet)}(t_n), \quad (3.16)$$

Для конкретних оперативних умов вираз (3.16) буде представлено наступним чином:

$$\gamma_{\epsilon}(p_i, p_j, t_n) \Rightarrow (p_i \chi_{\epsilon} d) \tau_{(\bullet)}(t_{n-1}) \& (p_j \chi_{\epsilon} d) \tau_{(\bullet)}(t_{n+1}), \quad (3.17)$$

Однак вираз (3.17) не відтворює причинно–послідовний зв'язок саме такої черговості відправлення поїздів, який у лінгвістичній формі був описаний раніше. Тому детальна оперативна абстрактна команда на першочергове відправлення 2111 поїзда у вигляді предиката колізії неодночасного відправлення прийме наступний вигляд (умовно у виразі 18 поїзд 2111 закодовано оператором  $p_i$ )

$$\gamma_{\epsilon}(p_i, p_j, t_n) \Rightarrow (p_i [z_3 + z_7] \chi_{\epsilon} d_1) \tau_{(\bullet)}(t_{n-1}) \& (p_j [z_1] \chi_{\epsilon} d_1) \tau_{(\bullet)}(t_{n+1}), \quad (3.18)$$

Даний запис у абстрактній компактній формі описує когнітивний процес прийняття рішення поїзним диспетчером, який починається з аналізу ГРП на рис. 3.8. Тобто вираз (3.18) у повному обсязі описує доволі складний процес, який у вигляді програмного коду доволі важко реалізувати, як з точки зору сприйняття так і з точки зору семантики запису.

Аналіз попередніх конкретних оперативних поїзних ситуацій свідчить про складність та великий спектр можливих варіантів оперативних поїзних станів та значної кількості варіантів їх вирішення. Тому з метою формування діючої автоматизованої технології, яку можна буде покласти в основу системи підтримки прийняття рішень для диспетчерського персоналу необхідно, як було раніше зазначено, доцільно сформулювати відповідну БЗ оперативних поїзних

станів. З цією метою необхідно обрати спосіб формування зазначеної БЗ. В даній роботі за основу буде прийнятий дієвий спосіб викладений у [24].

Цей спосіб передбачає ієрархічне упорядкування абстрактних конкретизації мобільних транспортних одиниць  $Z$  в залежності від складності поїзних оперативних станів. Візуальну інтерпретацію ієрархічного упорядкування доцільно представити у вигляді чотирьох рівневої системи наведеної в табл. 3.5.

Таблиця 3.5 – Інтерпретація ієрархічного упорядкування пріоритетів просування поїздпотоків

Позначення рівня пріоритету	Код абстрактної конкретизації мобільних транспортних одиниць
I рівень	$z_2$
II рівень	$z_3$
III рівень	$z_4, z_5, z_6, z_7$
IV рівень	$z_1$

В даній науковій роботі передбачено, що на першому рівні ієрахічної системи визначення пріоритетів просування поїздпотоків розташовані пасажирські поїзди  $z_2$ . Оскільки саме пасажирським поїздам в умовах вантажного руху на АТ «УЗ» віддається перевага. На другому рівні з точки зору забезпечення високіх стандартів безпеки містяться поїзди з НВ  $z_3$ . На третьому рівні доцільно розмістити інші категорії поїздів  $z_4, z_5, z_6, z_7$ . На останньому четвертому рівні доцільно розмістити мобільні транспортні одиниці на залізничному ходу без ознак тобто  $z_1$ . В подальшому при визначенні першочерговості операцій при однакових абстрактних конкретизаціях послідовність обирається за умови більшої кількості конкретизацій, а при їх рівності в довільній формі, яка максимально відповідає НГРП.

Максимальний ефект від реалізації запропонованого підходу, який базується на абстрактному моделюванні АМОП та МПС буде отриманий при

синтезі з системою активного моніторингу просування рухомих одиниць (АМПРО), яка була описана раніше.

Таким чином визначена процедура надала можливість спрогнозувати порушення нормативного ГРП, змодельовати когнітивний процес поїзного диспетчера для раціонального вирішення складної поїзної ситуації в мінливих оперативних умовах при врахування значної кількості факторів, а при інтеграції до АМПРО досягається можливість досягнення безпрецедентного рівня техніко-технологічний та економічної ефективності при забезпеченні високого рівня безпеки.

Аналогічні ситуаційні системи передбачають застосування значної лінгвістичної бази та значного часу на корегування мінливих оперативних умов на різних рівнях планування. Запропонований підхід дозволяє максимально швидко сформувати базу даних та базу знань для формування робочої моделі системи диспетчерського контролю на основі імітації когнітивної діяльності людини оператора тим самим надаючи можливість поглибити впровадження систем штучного інтелекту на залізниці. Ці інновації дозволять досягти максимального рівня безпеки при перевезенні небезпечних вантажів при одночасному без умовному досягненні зменшення експлуатаційних витрат та отримання підвищених прибутків за рахунок виконання основних вимог клієнтів залізничного транспорту щодо отримання європейського рівня якості надання послуг на перевезення.

### 3.4 Висновки до третього розділу

1. Аналіз практичного досвіду реалізації на залізниці України технології ідентифікації місцезнаходження мобільних одиниць у просторі та часі свідчить про недосконалість запропонованої системи через обмеження точної ідентифікації, яка складає від 1 до 5 метрів, оскільки між колійна ширина коливається в межах від 4100 міліметрів на перегонах до 5300 міліметрів на станції, що ускладнює даний процес при проходженні поїздів по двоколійній лінії

на зустріч один одному та при накопиченні вагонів на коліях сортувального парку. За таких умов для подолання визначеної проблеми необхідним є створення системи ідентифікації рухомого складу в основі якої буде покладено логічний та фізичний контроль місцезнаходження транспортної одиниці з послідуною автоматизованою інтелектуальною обробкою інформації і наданням раціонального керуючого рішення по визначенню найкращого варіанту реалізації стратегії роботи оперативного персоналу.

2. З метою отримання ефективного інструменту для динамічного вибору раціональних та безпечних варіантів пропуску та схрещень поїздів з НВ на перегонах та станціях, схрещень поїздів з НВ з пасажирськими, швидкісними та поїздами підвищеної ваги, довжини і негабаритними вантажами формалізовано автоматизовану технологію перевезення небезпечних вантажів на основі абстрактного моделювання оперативних процесів. Дана технологія базується на моделюванні когнітивних процесів прийняття рішення поїзним диспетчером для раціонального вирішення складних поїзних ситуацій в мінливих оперативних умовах при врахуванні значної кількості факторів. Розроблена технологія диспетчерського управління забезпечена модулями інтерпретації, що дозволяє декодувати семіотичну компоненту в готове управлінське рішення, Оперативний персонал буде отримувати вказівки, який поїзд необхідно пропустити, прийняти та відправити в першу чергу, на які колії з узгодженням з ГРП та ПФП.

3. Для реалізації та коректної роботи вище зазначеної технології в дисертаційній роботі розроблена база даних. База даних носить нормативно-довідковий характер про існуючу документальну базу та оперативний стан інфраструктурної складової. Додатковими ознаками було виражено статичні (залізничну станцію, станційні колії та перегони) та динамічні (поїзди) об'єкти. Для формування складової бази даних обрано спосіб, який передбачає ієрархічне упорядкування абстрактних конкретизацій мобільних транспортних одиниць (поїздів) для визначення пріоритетів пропуску в залежності від складності поїзних оперативних станів, що в свою чергу є основою прийняття рішення в оперативній поїзній ситуації на перегоні або станції.

## РОЗДІЛ 4

### РОЗРОБКА УЗАГАЛЬНЕНОЇ РИЗИК–ОРІЄНТОВАНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ФОРМУВАННЯ ТА ПРЯМУВАННЯ ПОЇЗДОПОТОКІВ НА ОСНОВІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ПРОДУКЦІЙНОЇ СИСТЕМИ

4.1 Визначення синергетичного ефекту від реалізації автоматизованої технології перевезення небезпечних вантажів на основі ризик–орієнтованих підходів

В розділі 2 дисертаційного дослідження було сформовано базовий рівень ризик–орієнтованої технології формування «достатньо безпечного» поїзда з НВ різних класів в основу якої було покладено комплексну модель визначення оптимального співвідношення експлуатаційних витрат та можливих витрат на ліквідацію наслідків аварій в результаті ініціації небезпечних вантажів [2, 3]. В даному випадку під базовим рівнем слід розуміти локальний характер сформованої ризик–орієнтованої технології, яка розглядається як окрема частина загальної системи формування та транспортування вантажів від місця зародження вагонопотоків до місць їх погашення. Було зауважено, що дана технологія містить в собі елементи наукової новизни та практичної цінності і в неї фактично відсутні будь–які закордонні і тим більше вітчизняні аналоги. При наданні загальної характеристики сформованої моделі можна виділити її основні позитивні та унікальні переваги:

1. Модель одночасно включає в себе дві розрахункові компоненти визначення експлуатаційної складової формування вантажного поїзда з НВ та визначення ризиків у грошовому еквіваленті, що припадають на обраний варіант формування;

2. Швидкість реакції моделі на стрімко мінливі та в певній мірі невизначені оперативні обставини з можливістю динамічного пристосування до них в режимі реального часу;

3. Функціонування технології в межах нормативно–правової бази як національного так закордонного законодавства в сфері перевезення небезпечних вантажів;

4. Орієнтованість технології на покращення умов діяльності диспетчерського апарату як лінійних підрозділів так і більш високих рівнів ланки оперативного управління перевезеннями.

В розділі 3 даної наукової роботи було сформовано базовий блок інноваційної інтелектуальної технології активного моніторингу за перевезеннями транспортних одиниць з небезпечними вантажами на залізничному транспорті в основу якої покладено інтелектуальну семіотичну систему продукційних правил у вигляді абстрактного моделювання оперативних процесів АМОП [5]. В даному випадку як і при формуванні попередньої технології під базовим блоком слід розуміти локальний характер технології який передбачає диспетчерське керівництво рухом залізничних транспортних одиниць будь–яких категорій без врахування невід’ємної процедури формування даних одиниць. Разом із цим до переваг визначеного способу побудови інтелектуального модулю управління рухомими одиницями на основі семіотики можливо віднести:

1. Скорочені команди, у вигляді порад, оперативному диспетчерському персоналу на тактичному та стратегічному рівні прийняття рішень стосовно динамічних поїзних ситуацій на одноколіїному та двоколіїному перегоні;

2. Опис реального та прогнозного поїзного стану лаконічною мовою семіотичного характеру зрозумілою людині, яку легко інтерпретувати у вигляді програмного коду;

3. Підвищена швидкість та точність реагування запропонованої інтелектуальної системи на динамічно мінливі поїзні стани, яка обумовлена мінімальною кількістю знаків семіотичного характеру;

4. Можливість реалізації динамічного корегування нормативного графіку руху поїздів в реальному режимі часу і отримання графіку виконаного руху, який характеризується максимальним рівнем безпеки при перевезенні небезпечних вантажів.



Таким чином розглянувши основні переваги розроблених технологічних базових модулів постає завдання синтезу їх в єдиний технологічний комплекс, що дозволить отримати максимальний синергетичний ефект [132, 133].

В загальному вигляді формально синергетичний ефект  $\Psi$  може бути представлений наступним чином

$$\Psi = C(v) \cup \theta(S, W, D, Z), \quad (4.1)$$

де  $\theta(S, W, D, Z)$  – набір правил та баз знань семіотичного синтаксису, який є основою АМОП.

Таким чином можна поставити проміжне трьохетапне науково–прикладне завдання отримання  $\Psi$ :

1 етап – детальний опис ризик–орієнтованої технології формування поїзда з НВ в умовах автоматизованих робочих місць оперативного персоналу (АРМ ДСЦ);

2 етап – детальний опис технології активного моніторингу за рухомими одиницями в термінах АМОП;

3 етап – синтез визначених технологій формування та просування поїздопотоків з небезпечними вантажами в єдину екосистему АРМів оперативних працівників.

Однак перш ніж перейти до реалізації визначеної етапності доцільно розглянути більш детально загальні принципи функціонування системи диспетчерського управління, оскільки саме вони повинні бути покладеними в її основу.

#### 4.2. Загальні принципи функціонування системи диспетчерського управління

В рамках питання, яке було визначено, необхідно зауважити, що управління слід розуміти, як вплив цілеспрямованих дій на об'єкт або процес, що призводить в результаті до якісної і кількісної зміни факторів. Дані фактори визначають стан об'єкта або процесу, в результаті чого досягається конкретна

мета. До основних функцій управління можна віднести: планування, облік, оперативне управління та контроль за визначеними процесами [9].

Оперативне управління (ОУ) – представляє собою одну з основних функцій управління виробництвом і вона полягає в інтервальній розробці оперативних планів та постійній організації контролю і регулювання їх виконання. Основною складовою частиною ОУ є диспетчерське керівництво, систематичний облік і контроль за ходом виконання оперативних планів і регулювання ходу виробництва [7].

Диспетчерська система управління перевізним процесом пов'язаним з транспортуванням НВ різних класів та груп сумісності робить можливим сконцентрувати дії по оперативному керівництву в руках одного оперативного працівника. Зазначений працівник має можливість по забезпеченню точного ходу виробничого процесу, користуючись досконалими засобами зв'язку завдяки яким систематично надходить оперативна інформація, що має динамічний характер. Дані характеристики диспетчерської системи роблять її незамінною при використанні на залізничному транспорті, так як управління перевізним процесом передбачає контроль за великою кількістю підрозділів та ділянок при одночасному русі тисяч пасажирських та вантажних поїздів, в тому числі з НВ. Запропоновані ризик-орієнтована технологія та технологія активного моніторингу призначені саме для реалізації всіх визначених вимог.

Кожна ланка, що відноситься до системи управління перевізним процесом на залізничному транспорті має забезпечувати взаємозв'язок хронологічних та технологічних показників, таких як:

- планування перевезень;
- технічне та технологічне нормування;
- оперативне планування поїзної і вантажної роботи;
- оперативне регулювання поїзної і вантажної роботи;
- диспетчерське керівництво [134].

Основним завданням оперативного управління за перевезеннями є точне забезпечення безперебійного виконання державного плану перевезень на всіх

етапах та на кожній ділянці залізничної мережі з ефективним використанням технічних засобів [135]. Складовими частинами, що відносяться до оперативного управління є планування експлуатаційної роботи в оперативному режимі, контроль за процедурами навантаження і вивантаження, регулювання перевізного процесу парків вагонів і локомотивів, вагонопотоків і технічних засобів та диспетчерське керівництво. Запропоновані в даній науково–прикладній роботі техніко–технологічні рішення повинні у певній мірі забезпечувати визначеним вимогам в секторі перевезення вагонів з НВ.

Диспетчерське керівництво (ДК) міститься в постійному безперервному контролі за виконанням оперативних планів по експлуатаційній роботі, в розробці та реалізації регулювальних заходів для безперебійного просування поїздів по ділянках і станціям в режимі реального часу. Особливістю ДК є той фат, що воно здійснюється на всіх ланках оперативного управління перевезеннями – від станції і ділянки до верхнього ієрархічного рівня управління АТ «Укрзалізниця» та Міністерства інфраструктури України. При даному підході реалізації системи управління транспортно–технологічним процесом визначена уповноважена особа, яка контролює процес управління всією експлуатаційною роботою на певному полігоні мережі. Всі оперативні розпорядження керівництва УЗ, регіональних філій, служб перевезень і дирекцій залізничних перевезень, що стосуються організації поїзної і вантажної роботи, передаються на лінію, черговим працівникам диспетчерського апарату тільки через керівників диспетчерських змін залізниць і дирекцій. При чому слід зауважити що особливу увагу в даному процесі приділено формування та просуванню поїздопотоків з НВ.

Слід зауважити, що на АТ «Укрзалізниця» тривають структурно–технологічні зміни переходу до регіональних центрів перевезення де основну роль будуть відігравати так звані диспетчери залізничних напрямків. Запропонована технологія активного моніторингу за перевезеннями поїздопотоків з вагонами завантаженими НВ та підходи її реалізації на базі семіотики надасть персоналу потужний інструмент для реалізації управлінських обов'язків на тактичному та стратегічному рівнях. На теперішній час при

перехідному етапі, оперативне управління перевізним процесом здійснюється диспетчерським апаратом чотирьох рівнів: на станціях, у дирекції з залізничних перевезень, регіональних філіях УЗ, на рівні АТ «УЗ» та Міністерстві інфраструктури України. Зважаючи на це, першочерговою задачею сформованої технології є забезпечення безпечного функціонування залізничної галузі в сфері перевезення небезпечних вантажів різних класів у перехідний час.

З метою оптимізації оперативного диспетчерського управління розгорнута залізнична мережа розділена на напрямки; регіональні філії – на дорожні диспетчерські кола; дирекції по залізничним перевезенням – на диспетчерські кола; опорні станції – на сортувальні системи та парки.

Історично визначена структура ієрархії диспетчерського апарату, який здійснює оперативне управління експлуатаційною діяльністю залізниці, напрямків, дирекцій і станцій, забезпечує: безперервний контроль за ходом перевізного процесу по всій залізничній мережі при формуванні та прямуванні вантажних і пасажирських поїздів; безперервне формування та обробку інформаційних потоків вищих ланок управління про роботу низових підрозділів та донесення до виконавців оперативних вказівок управлінців усіх рівнів. Це надає потужні можливості до оперативного вживання необхідних заходів щодо забезпечення виконання основних показників плану перевезень, запобігання можливих труднощів і надання допомоги тим ділянкам мережі, на яких виникли «вузькі місця».

Переходячи безпосередньо до надання характеристики визначеної структури управління з виділенням управлінців, які в послідуєчому стануть основною ланкою використання запропонованих інноваційних підходів та технологій, слід зауважити, що на станціях оперативне керівництво маневровою роботою і всіма операціями з поїздами і вагонами в зміну, здійснюють маневрові (або станційні) диспетчери, а при їх відсутності, – чергові по станціях (ДСП).

Кожна окрема станція підпорядковується тільки одному поїзному диспетчеру, накази якого повинні виконуватися у пріоритеті над іншими. Саме на диспетчерів покладено функції пов'язані з рухом поїздів, вони виконують їх

на дистанціях колії, енергодільниці, локомотивних депо та інших лінійних підприємствах.

У дирекціях по залізничним перевезенням оперативне управління рухом транспортних одиниць здійснює диспетчерський апарат відділу перевезень, який очолює старший диспетчер дирекції (ДНЦС). ДНЦС має двох–трьох заступників, у тому числі і того, який організовує роботу локомотивів і локомотивних бригад. Змінні чергові по дирекції (ДНЦО) очолюють диспетчерські зміни, в склад такої зміни входять поїзні, дільничні та вузлові диспетчери (ДНЦ) – по числу диспетчерських кіл на дирекції дороги (як правило, таких кіл не більше п'яти–семи), локомотивні і енергодиспетчера (останні лише на відділеннях з електричною тягою). Черговий по зміні ДНЦО в першу чергу повинен відстежувати формування та прямування вантажних транспортних одиниць з НВ та виконувати динамічне корегування маршруту прямування та черговості відправлення поїздів на перегони. На деяких дирекціях з великим обсягом навантаження і вивантаження в склад змін входять також диспетчери–вагонорозподільовачі (ДНЦВ).

В структурних підрозділах колишніх службах перевезень залізниці, а нині регіональних центрів управління перевезеннями регіональних філій залізниць управління експлуатаційною роботою виконує диспетчерський апарат оперативно–розпорядчого відділу. Його очолює начальник відділу (ДГ) і його змінні заступники (у відділі може бути і незмінний заступник), які керують змінами дорожніх диспетчерів (ДГП) чергових помічників начальника оперативно–розпорядчого відділу. Зазвичай у зміну чергують змінний заступник (або старший помічник – ДГПС) начальника відділу, 3–4 дорожніх диспетчера (по кількості дорожніх диспетчерських кіл), дорожній локомотивний диспетчер. Кожен диспетчер напрямку відповідає за оперативну роботу певної групи дирекцій залізниці. Коло діяльності ДГП визначається залежно від розмірів і складності роботи і в середніх умовах зазвичай включає 2–3 дирекції. Саме тому актуальність впровадження систем по типу системи активного моніторингу гостро постає на даний момент при перевезенні НВ.

З метою оптимізації використання робочого парку локомотивів раціонально, щоб межі дорожніх диспетчерських кіл збігалися з межами ділянок обігу локомотивів, а кожною дирекцією по залізничним перевезеннями керував один дорожній диспетчер. На деяких регіональних філіях введені посади дорожніх диспетчерів з організації місцевої роботи, по наливу нафтопродуктів, з перевезень зерна і т. п.

У Департаменті перевезень УЗ оперативне управління і контроль за експлуатаційною діяльністю залізниць здійснює оперативно–розпорядчий відділ, концентруючи увагу на роботі основних мережевих напрямків. Інноваційна запропонована технологія передбачає автоматизований доступ і важелі управління рухом поїздів на стратегічному рівні. Відповідно до цього начальник відділу володіє правами заступника начальника Департаменту руху та має трьох заступників: з планування, оперативної роботи і з загальних питань.

Діюча система диспетчерського управління передбачає, що загальне оперативне управління експлуатаційною роботою мережі здійснюють головний диспетчер УЗ, а також два функціональних диспетчери – головний локомотивний диспетчер і головний диспетчер-вагонорозподільувач.

Крім Департаменту управління рухом та підвідомчих йому структурних підрозділів відповідаючи за рух по залізниці України, організацією перевізного процесу оперативно керують Департаменти управління УЗ: пасажирське, вантажної і комерційної роботи і відповідні їм функціональні служби регіональних філій залізниці та відділи дирекцій по залізничним перевезенням.

Оскільки сформована технологія позиціонується як комплексна то слід зауважити, що у забезпеченні перевізного процесу безпосередньо також беруть участь (разом з відповідними їм регіональними філіями залізниці, відділами дирекцій і лінійними підприємствами) Департамент управління колій, локомотивного, вагонного господарств, сигналізації, зв'язку та обчислювальної техніки, електрифікації та енергетичного господарства.

Основну складність управління експлуатаційною роботою залізничного транспорту, представляють нестандартні ситуації, що в оперативній обстановці

постійно виникають нові нестандартні ситуації, які необхідно швидко оцінити і прийняти регулювальні заходи, наявність великих колективів працівників, які організують і забезпечують точне виконання перевізного процесу призводить до висновку, що на разі назріла реальна критична ситуація, яка пов'язана з необхідністю впровадження автоматизованих засобів обробки оперативної інформації з послідуочим наданням управлінських рішень на основі реалізації процесів когнітивної діяльності людини в реальному масштабі часу [136]. Перевезення небезпечних вантажів вимагає від диспетчерського апарату безпрецедентних вимог до безпеки. В даній науковій роботі розглядається так званий базовий диспетчерський рівень з послідуочим розширенням повноважень по діючій та перспективній ієрархії.

Таким чином надавши основні загальні характеристики діючої системи диспетчерського управління транспортно–технологічного процесу доцільно перейти до реалізації поетапного опису сформованого в підрозділі 4.1 даної кваліфікаційної роботи. При цьому слід ще раз зауважити, що в даній дисертаційній роботі розглядається комплексна технологія формування та просування поїздопотоків з НВ призначена для функціонування на АРМ ДСЦ та АРМ ДНЦ. Тому наразі в подальшому сформовані підходи автоматизованого інтелектуального управління визначеними процесами будуть описані саме для визначених автоматизованих комплексів.

#### 4.3 Детальний опис ризик–орієнтованої технології формування поїзда з НВ та формування діалогового вікна АРМ ДСЦ

Перш ніж безпосередньо перейти до опису ризик–орієнтованої технології формування поїзда з НВ на залізничній станції доцільно визначити основного її користувача. Передбачено в даній науковій роботі, що основним користувачем сформованої технології на залізничній станції є маневровий диспетчер ДСЦ.

Слід зауважити, що в межах своїх повноважень ДНЦ здійснює планування, організацію і оперативне управління маневровою роботою з розформування–формування составів із застосуванням особливих умов щодо формування вантажних поїздів до складу яких входять рухомі мобільні одиниці завантажені небезпечними вантажами. Також в сферу діяльності ДСЦ входить контроль за подаванням та прибиранням місцевих вагонів, в тому числі з НВ, виконання регульовального завдання з відправлення порожніх вагонів відповідно до поточного плану роботи станції, графіку руху і плану формування поїздів. Останнє виконується безпосередньо при взаємодії за поїзним диспетчером ДНЦ. Маневровий диспетчер на початку та у продовж зміни доводить план і порядок виконання робіт до виконавців, інформує працівників про наявність на коліях станції вагонів з вантажами особливої категорії під яку потрапляють вагони з небезпечними вантажами. Координує роботу маневрових районів і сортувальних пристроїв (гірок, витяжних колій), під'їзних колій, вантажно–розвантажувальних підрозділів та забезпечує ефективне використання технічних засобів, колійного розвитку станції і під'їзних колій, маневрових локомотивів [137].

До сфери повноважень ДСЦ входить керівництво роботою станційного технологічного центру з оброблення поїзної інформації та перевізних документів. До прераготив діяльності ДСЦ слід також віднести черговість і порядок розформування составів. В даному випадку в даній дисертаційній роботі пропонується всі перелічені дії виконувати ґрунтуючись на сформованій ризик–орієнтованій моделі сформованій у 2 розділі. Завдяки використанню запропонованій моделі ДНЦ отримує потужний інструмент для формування та внесення коректив до сортувального листка. Також диспетчер отримує змогу контролювати накопичення вагонів за призначенням плану формування поїздів у автоматизованому режимі з перспективою переходу на автоматичний режим. ДНЦ визначає черговість підготовки перевізних документів на сформовані состави, також забезпечує своєчасне виставлення поїздів у парк відправлення. Контролює і забезпечує виконання технічних норм знаходження вагонів на станції.



Однією з основних задач при виконанні своїх обов'язків є керування роботою комплексної маневрової бригади зміни та оцінка якості праці кожного працівника. ДСЦ запитує і отримує інформацію щодо розкладу прибування поїздів (при функціонуванні ризик-орієнтованої моделі дана процедура виконується у автоматизованому режимі), наявність составів і вагонів на коліях станції та на її підходах, а також іншу інформацію з дорожнього обчислювального центру та АСУ станції. Веде диспетчерський графік виконання маневрової роботи, облік роботи маневрових бригад та постійно проводить аналіз виконання змінних завдань маневрової роботи. Здійснює оперативне керування єдиною зміною станції, веде поточне планування роботи станції по 4–6-годинних інтервалах, організовує виконання плану у разі відсутності у штаті станційного диспетчера.

Маневровий диспетчер регулярно контролює працівників станції в дотриманні працівниками правил безпеки руху і маневрової роботи, які встановлені ПТЕ залізниць України, ІРП і маневрової роботи на залізницях України, Інструкцією з сигналізації на залізницях України, вимог, наказів та вказівок Укрзалізниці, залізниці, дирекції залізничних перевезень з організації руху і маневрової роботи, безпеки руху та правил з охорони праці. Також регулярно проводить інструктажі працівникам зміни про дотримання Правил з охорони праці та безпеки руху, контролює дотримання трудової і технологічної дисципліни.

Інтелектуальні здібності ДСЦ повинні забезпечувати у повному обсязі знання: ПТЕ залізниць України; ІРП і маневрової роботи на залізницях України; Інструкції з сигналізації на залізницях України; Інструкції з забезпечення безпеки руху поїздів під час виконання робіт з технічного обслуговування та ремонту пристроїв сигналізації, централізації та блокування на залізницях України; Інструкції з забезпечення безпеки руху поїздів під час виконання колійних робіт; Правил безпеки і порядок ліквідації наслідків аварійних ситуацій з небезпечними вантажами при перевезенні їх залізничним транспортом; розпорядження та вказівки Укрзалізниці, залізниці, дирекції залізничних перевезень; методичні, нормативні та інші керівні матеріали, відповідно до кола обов'язків; технічно-розпорядного акту і технологічного процесу роботи станції; графіку руху і плану

формування поїздів; правил перевезень вантажів; правил і норм з охорони праці, виробничої санітарії; Правил пожежної безпеки на залізничному транспорті; основ економіки і управління виробництвом; Положень про дисципліну працівників залізничного транспорту; принципів і правила користування пристроями диспетчерського зв'язку і мікропроцесорної апаратури в умовах роботи АСУСС; показників експлуатаційної роботи залізничної станції.

Про високий рівень осіб, які можуть займати посаду маневрового диспетчера свідчать вимоги про повна або базова вища освіта відповідного напрямку підготовки (магістр, бакалавр) та підвищення кваліфікації: для магістр – стаж експлуатаційної роботи не менше 2 років, бакалавра – не менше 3 років [138].

Зважаючи на перелічені загальні вимоги до функцій та повноважень ДСЦ детально розглянемо лише ті, що пов'язані з формуванням поїздів з НВ та функціональним складом ризик–орієнтованої моделі запропонованої у розділі 2.

Таким чином детальний опис ризик–орієнтованої технології доцільно виконати на прикладі абстрактного лінійного об'єкту, оскільки така технологія повинна бути адаптивною до будь–яких умов експлуатації яка обумовлена необхідністю формування «достатньо безпечних» поїздів з вагонами завантаженими НВ.

Згідно до визначеного опис ризик–орієнтованої технології доцільно представити у вигляді послідовно–паралельних операцій або етапів, які повинен виконати ДСЦ в умовах її автоматизованої реалізації.

1 етап – ДСЦ за допомогою автоматизованого робочого місця з'ясовує поїзний та вагонний стан по всіх коліях на яких містяться поїзди з вагонами завантаженими небезпечними вантажами різних класів та груп сумісності:

2 етап – ДСЦ використовуючи темпоральні обмеження обирає глибину прогнозування часу надходження поїздів з вагонами з НВ на станцію з будь–яких напрямків, які будуть приймати участь у розформуванні–формуванні;

3 етап – маневровий диспетчер при використанні АРМ ДСЦ на якій реалізовано ризик–орієнтовану модель повинен обрати опцію формування поїзду

при дотриманні оптимального рівня експлуатаційних витрат та ризиків від можливого настання аварії з техногенними наслідками та людськими жертвами;

4 етап – після розрахунку декількох варіантів (без прогнозу надходження поїздів та з прогнозом надходження поїздів з вагонами завантаженими НВ), ДНЦ обирає найбільш доречний до оперативних умов. У якості робочого диспетчер може обрати варіант з більшими загальними витратами. Це може бути обумовлено конкретними умовами оперативного стану які в сформованій моделі не було реалізовано з-за складності імітації прийняття рішення при когнітивній діяльності професіонального оперативного співробітника.

5 етап – ДНЦ обирає опцію формування сортувального листка. Після чого він може його роздрукувати або при наявності засобів відтворення інформації (принтер, монітор, переносний термінал тощо...) передає цей листок черговому по гірці та маневровій бригаді яка буде здійснювати операцію розформування–формування.

6 етап – прогнозування часу закінчення формування та замовлення поїзного локомотиву до цього часу у локомотивного диспетчере через ДНЦ;

7 етап – на даному етапі функціонування ризик–орієнтованої моделі формування «достатньо безпечного» поїзда з НВ припиняється і починає функціонувати окремий модуль вибору безпечного маршруту прямування. В основу даного модулю покладено інформацію нормативно–довідкового характеру, інформацію статистичного характеру та інформацію про оперативний стан по маршруту прямування поїзда (кількість колій на перегонах, засоби управління рухом поїздів та зв'язку, наявність кількості великих населених пунктів, час доби, пасажиропотік).

8 етап – відправлення сформованого поїзда зі станції формування згідно обраного маршруту.

Відповідно до розробленої етапності у якості прикладу на рисунку 4.1 сформовано графічний інтерфейс автоматизованого робочого простору.

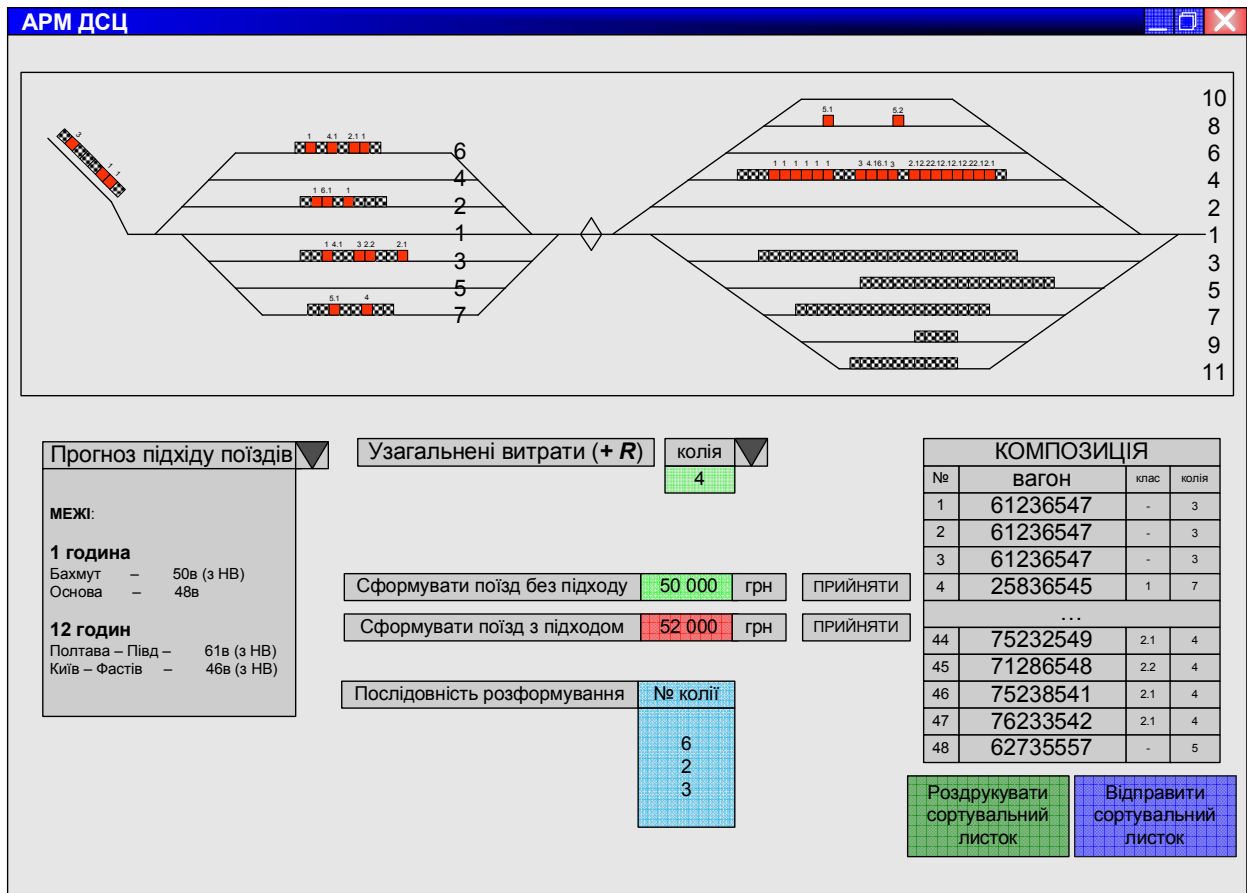


Рисунок 4.1 – Приклад графічного інтерфейсу автоматизованого робочого простору АРМ ДСЦ

Графічний інтерфейс та поїзна обставина відтворена на рис. 4.1 максимально наближений до реальних умов експлуатації станції Красний Лиман виробничого підрозділу Регфональна філія «Донецька залізниця» АТ «Укрзалізниця».

Доцільно більш детально описати оригінальний інтерфейс у термінах раніше визначених 8 етапів.

В парку прибуття східного напрямку двосистемної сортувальної станції на коліях 6, 2, 3, 7 знаходяться поїзди в складі яких містяться вагони з НВ. При аналізі прогнозу підходу поїздів різного темпорального рівня визначено, що в межах 1 години від станції знаходяться поїзди що прямують зі станції Бахмут та Основа. У межах 12 годин знаходяться поїзди що прямують з НВ зі станцій Полтава південна та Київ–Фастів. ДСЦ в цих умовах обирає колію в

сортувально–відправному парку на якій буде здійснюватися формування вантажного поїзду з НВ. Визначається попередня вартість формування такого поїзду з врахуванням експлуатаційної та ризикової складової. В даному випадку ДСЦ обрав формування поїзду без врахування підходу, оскільки даний варіант більш економічно доцільний з точки зору простоїв вагонів та ризику отримання значних наслідків в результаті настання аварійної ситуації. Після обраного рішення диспетчер натискає віртуальну кнопку «Роздрукувати сортувальний лист» для друкування листка на принтері з послідуною передачею її на гірку гірковому диспетчеру та маневровій бригаді. Також в диспетчера передбачено можливість натиснути віртуальну кнопку «Відправити сортувальний лист» для автоматизованої передачі електронного сортувального листка на сортувальну гірку раніше зазначеним працівникам.

Реалізований таким чином інтерфейс органічно доповнює діючу на даний момент часу автоматизовану систему управління сортувальною станцією та робить новий крок в подальшому розвитку АСКВПУЗ–Є.

В подальшому після узгодження маршруту та часу відправлення з поїзним диспетчером поїзд відправляється.

Далі доцільно детально описати технологію активного моніторингу за рухом сформованого поїзда з метою забезпечення постійного контролю та зниження рівня ризику.

#### 4.4 Опис технології активного моніторингу за просування поїздопотоків з НВ на основі АМОП

Перш ніж перейти до опису технології активного моніторингу за просування поїздопотоків з НВ на основі АМОП, як і у випадку опису ризик орієнтованої технології, с початку доцільно описати та співставити її з основними функціональними особливостями роботи поїзного диспетчера, оскільки він є основним важелем при її використанні.

Відповідно до зазначеного слід зауважити, що ДНЦ являється безпосереднім організатором виконання завдань змінно–добового плану поїзної і вантажної роботи на ділянці. Він зобов'язаний забезпечувати раціональне використання вагонів і локомотивів, переробної спроможності станцій, пропускної і провізної здатності ділянки та безпеку руху поїзної і маневрової роботи з приділенням особливої уваги формуванню та просуванню поїздопотоків з НВ. В основі нормативно–довідкової бази диспетчера виступають "Правилами технічної експлуатації залізниць", Інструкція з руху поїздів і маневрової роботи, з сигналізації на залізниці, щодо забезпечення високого рівня безпеки руху поїздів при проведенні колійних та робіт на контактній мережі, діючим ГРП і ПФП, а також технічно–розпорядчими актами і технологічними процесами станцій ділянки, наказами та вказівками УЗ, залізниці та дирекції, змінно–добовим планом поїзної і вантажної роботи дільниці і вказівками чергового по дирекції – керівника диспетчерської зміни. До того ж диспетчер веде необхідну технічну документацію, таку як:

- журнал диспетчерських розпоряджень;
- графік виконаного руху поїздів і додаток до нього;
- журнал огляду пристроїв СЦБ та зв'язку.

Відповідно до зазначеного видно, що поїзний диспетчер постійно повинен підтримувати внутрішній особистий тонус на високому рівні оскільки саме від цього залежить безпечна експлуатаційна поїзна робота. Доволі часто з–за того, що ДНЦ постійно повинен утримувати контроль над оперативним станом в основі якого покладено визначений нормативно–довідковий модуль, виникає велике психо–емоціонального навантаження і поїзний диспетчер допускає помилки в роботі. Якщо помилки допущені при перевезенні небезпечних вантажів витрати на локалізацію наслідків можуть сягати мільйонів гривень або євро. З метою подолання визначених помилок та підвищення безпеки руху в даній роботі сформовано інноваційну технологію активного моніторингу за просуванням поїздопотоків з небезпечними вантажами на засадах семіотики з можливістю динамічного корегування оперативних поїзних станів.

Щодо ГРП виконаного руху, то диспетчер фіксує на ньому лінії ходу поїздів по перегонах і відзначаючи час прибуття, відправлення і проходження по станціях, і записує відомості про поїзди, поїзну і вантажну роботу станцій, використання локомотивів, порушеннях нормальної роботи та їх причинах. Особливу увагу ДНЦ приділяє прокладці на ГРП поїздів з НВ. Саме тому запропоновані в даній роботі підходи спрямовані на автоматизацію більшості визначених операцій [137].

При організації та управлінні роботою ділянки поїзний диспетчер зобов'язаний використовувати передові прийоми і методи автоматизованого управління як для контролю за формуванням поїздів так і керування їх рухом по дільницях. Відповідно до цього ДНЦ має право:

- давати оперативні завдання, розпорядження і накази, як усні так і зареєстровані ДСЦ або станційним диспетчерам, ДСП, локомотивним бригадам і працівникам інших підрозділів, пов'язаних із забезпеченням перевізного процесу на дільниці;

- розробляти і здійснювати регульовальні заходи, які спрямовані на запобігання або ліквідацію збоїв у роботі і на підвищення ефективності використання перевізних засобів;

- звертатися з доповідями та пропозиціями до керівника зміни і вищестоящим командирам;

- давати пропозиції про заохочення та накладення стягнень на оперативний персонал структурних підрозділів ділянки.

В умовах функціонування розробленої автоматизованої технології активного моніторингу за просуванням поїздопотоків на базі семіотичних продукційних правил ДНЦ отримує потужний інструмент для подолання визначених функціональних проблем експлуатаційної роботи за залізницю.

Поїзний диспетчер повинен визначати зайнятість станційних колій та перегонів (при ДЦ або ДК на ділянці і по табло–мнемосхемі) відповідно до графіку виконаного руху. До того ж, з метою оцінки становища на ділянці для ДНЦ необхідним є уточнювати справність роботи технічних засобів, проводити

аналіз фактичного руху відповідно до ГРП, що знаходяться на ділянці, а також план прибуття поїздів і план відправлення поїздів за основними станціям ділянки на найближчі 4–6 год, підхід поїздів по стикових пунктах і план місцевої роботи на ділянці, уточнюючи виникаючі питання по телефону з причетними працівниками. На це потрібен значний час і майстерські здібності оперативного працівника, а в умовах стрімко змінних оперативних обставин без застосування автоматизації та інтелектуальних автоматизованих систем цього не достатньо.

ДНЦ організовує роботу дільниці згідно до змінно–добового плану у випадку, коли, в результаті аналізу становища на ділянці виявлено, що пропускна і переробна спроможність ділянки і станцій дозволяють впоратися із заданими розмірами руху поїздів. Розпорядження про порядок роботи (усно або у вигляді реєстрованих наказів) передається від диспетчера безпосереднім виконавцям.

Якщо в роботі виникають збої у вигляді несправностей технічних засобів різного роду, які перешкоджають виконанню планових завдань та у разі виникнення невідповідності очікуваних розмірів руху пропускної та переробної спроможності ділянки – ДНЦ ставить до відома ДНЦО.

ДНЦ, ДНЦО та ДНЦВ розроблюють заходи щодо усунення збоїв у роботі та новий план–графік пропуску поїздів по ділянці. Відкоригований план роботи доводиться до виконавців. З наведеного видно, що практично весь робочий час ДНЦ або планує роботу, або виконує план, або корегує його. В даних умовах при пропуску поїздопотоків по дільницях у якості потужного інструмента для підвищення безпеки, швидкості приймання рішень та психофізичного розвантаження ДНЦ виступає інноваційна інтелектуальна технологія активного моніторингу за просуванням поїздопотоків з НВ.

З метою виконання кількісних і якісних показників експлуатаційної роботи в умовах мінливої обстановки дуже важливим є поточне планування, а саме конкретизація і деталізація по 4–6–годинним періодам плану оперативної роботи.

На основі аналізу даних про підхід поїздів, а також характеристики кожного поїзда, характеристики локомотивів і локомотивних бригад, плани прийому–відправлення поїздів технічними станціями та про наявність попереджень та «вікон»



ДНЦ зіставляє поточний план пропуску поїздів по ділянці. Особливу увагу ДНЦ приділяє поїздам з НВ тому, що саме ця категорія поїздів найбільш вразлива з точки зору забезпечення безпеки руху. Тому в певних випадках визначення швидкого сценарію в умовах порушення графіку руху поїздів є доволі складною інтелектуальною задачею з далеко йдучими наслідками.

Контроль за виконанням завдань змінно–добового плану поїзної і вантажної роботи ДНЦ здійснює по 4–6–годинним періодам і в кінці чергування. Для формування коригуючих дій та планування на новий період ДНЦ збирає оперативні дані і зіставляє їх з плановими показниками змінно–добового плану диспетчерської ділянки; про прийом–здавання поїздів і вагонів по стикових пунктах; про прийом, розформування–формування і відправлення поїздів технічними станціями; про навантаження і вивантаження вагонів; регулюванню порожніх вагонів; про виконання графіка руху пасажирських [8].

У випадку дійсних відхилень поїзний диспетчер ДНЦ через ДСП або маневрових диспетчерів станцій з'ясовує причини зриву, розробляє заходи, спрямовані на виконання змінно–добового плану і, погодивши їх з ДНЦО, доводить до виконавців [9].

Поїзний диспетчер – одноосібний керівник руху поїздів на ділянці, зобов'язаний контролювати роботу станцій, стежити за прийомом і відправленням поїздів на станціях і вживати заходи щодо забезпечення безпеки руху. Особливо необхідний контроль ДНЦ за роботою тих станцій, на яких з тих чи інших причин порушено нормальну дію пристроїв СЦБ і зв'язку. Черговий по станції зобов'язаний ставити до відома поїзного диспетчера про випадки несправності пристроїв СЦБ та зв'язку з руху поїздів, несправності поїзного радіозв'язку, про неможливість відкриття вхідних і вихідних сигналів і в подальшому діяти відповідно до вказівок ДНЦ. Виконувати визначені дії ефективно ДНЦ може лише при використанні автоматизованих комплексів, що надають та обробляють інформацію в реальному режимі часу.

Для того щоб забезпечити ефективний контроль за роботою станцій, ДНЦ зобов'язаний знати правила користування наявними на станціях пристроями СЦБ

і зв'язку та, даючи ту чи іншу вказівку ДСП, чітко уявляти собі технологію виконання всіх операцій. Такий стан обумовлює висувати значних вимог до прийняття на роботу досвідченого диспетчера.

При підведенні підсумків роботи зміни ДНЦ повинен оцінити виконання ділянкою та окремими станціями основних завдань змінно–добового плану поїзної і вантажної роботи ділянки за перерахованими показниками, а також забезпечення безпеки руху в поїзній і маневровій роботі і техніки особистої безпеки. Набір визначених правил практично є не виконуваним без автоматизованої інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень.

За допомогою, в основному селектору та телефонних засобів зв'язку, ДНЦ здійснює внутрішньозмінне поточне планування пропуску поїздів, яке полягає у попередньому систематичному складанні плану їх пропуску по ділянці на певний період і в подальшому його коригуванні, заснованому на графічному аналізі ситуації на ділянці до теперішнього моменту ситуації та очікуваного підходу пасажирських і вантажних поїздів. Умови, що утворилися в даний момент, зіставляються з нормативним графіком руху поїздів, скоригованим згідно змінно–добовому плану і підходам. Оскільки планування пропуску поїздів носить імовірнісний характер, необхідно розглядати кілька можливих варіантів, прагнучи точніше виявити резервні, досить прийнятні варіанти, які можуть бути реалізовані в разі зриву основного. Дана опція у повному форматі реалізована в сформованій технології в основу якої покладено семіотичні продукційні правила.

В результаті мають бути виконані задані розміри руху з поїздів з небезпечними вантажами, час підведення поїздів з НВ до дільничних та сортувальних станцій, а також до станцій масового навантаження і їх вивантаження, досягається максимально можлива дільнична швидкість руху вантажних поїздів вагонами завантаженими НВ різних класів та груп сумісності і інші показники чинного ГРП.

Особливо гостро постає питання пропуску поїздопотоків з НВ в умовах одноколійних ділянок. При вирішенні питання про те, який з двох наближаються до станцій поїздів затримати, а який пропустити без зупинки, як і при виборі

станції схрещення або обгону, диспетчер повинен не тільки забезпечити мінімум затримки поїздів, а й співставити очікуваний від застосування регулювальних заходів результат до чинного графіка і змінного плану, не допустити зриву поїздів з графіка по прослідуванні. При цьому необхідно запланувати раціональне використання наявних регулювальних резервів для підвищення дільничної швидкості. З цією метою для раціонального функціонування сформованої інноваційної технології на базі АМОП було сформовано лаконічну базу знань з модулем інтерпретації.

На двоколійних ділянках при відхиленні поїздів від графікових розкладів потрібно завчасно запланувати обгони вантажних поїздів пасажирськими або прискореними вантажними. Для цього в АМОП також використовується відповідні предикати та база знань.

Також АМОП ефективна і при збоях в русі пасажирських поїздів на одноколійних і двоколійних. З метою подолання даного «вузького» місця в експлуатаційній роботі ліній спочатку, у автоматичному режимі, корегується графік їх прямування по всій ділянці, а потім в ув'язці з ним складають план пропуску вантажних поїздів з НВ та інших.

Скорочення інтервалів при схрещеннях і обгонах поїздів досягається при пропуску поїзда, що прослідує по станції без зупинки, по головній колії на зелений вогонь вхідного і вихідного світлофорів без зниження встановленої швидкості. Поїзд приймається на бокову колію станції, його машиніст підтягує состав до вихідного сигналу і приводить поїзд у рух негайно після появи на світлофорі дозволяючого показання.

Для скорочення станційних інтервалів автоматизована система на основі продукційних правил семіотичного характеру не тільки найбільш раціонально своєчасно прогнозує схрещення і обгони поїздів, але і доводить порядок їх пропуску до локомотивних бригад і, при необхідності, до чергових по станціях, тримає процес взаємодії поїздів під постійним контролем в режимі реального часу.

Таким чином було виконано паралельний опис технології роботи ДНЦ з основним функціоналом технологічного базового модулю АМОП.

Локальний опис АМОП для реалізації на АРМ ДНЦ доцільно виконати на прикладі абстрактного лінійного полігону, оскільки така технологія повинна бути адаптивною до будь-яких умов експлуатації, яка обумовлена необхідністю просуванню поїздів з вагонами завантаженими НВ.

Згідно до визначеного опис технології активного моніторингу за просуванням поїздопотоків з НВ на базі АМОП доцільно представити у вигляді абстрактного моделювання реалізації предикату колізій інтервалу попутного прямування.

Слід зауважити, що в розділі 3 вже було виконано опис предикату колізії інтервалу неодночасного прибуття. Опис предикату станційного інтервалу попутного прямування доцільно виконати аналогічним чином з співставленням та деталізацією дій ДНЦ в умовах АРМ.

Візуальну схему станційного інтервалу попутного прямування наведено на рисунку 4.2.

Дана схема на практиці відповідає за мінімальний час стоянки на станції поїзда попутного напрямку після прибуття на станцію відправлення поїзда, що було відправлено раніше. Тобто це мінімальний проміжок часу між відправленням двох поїздів в попутному напрямку один за одним з однієї й тієї ж станції відправлення на одну й ту станцію приймання.

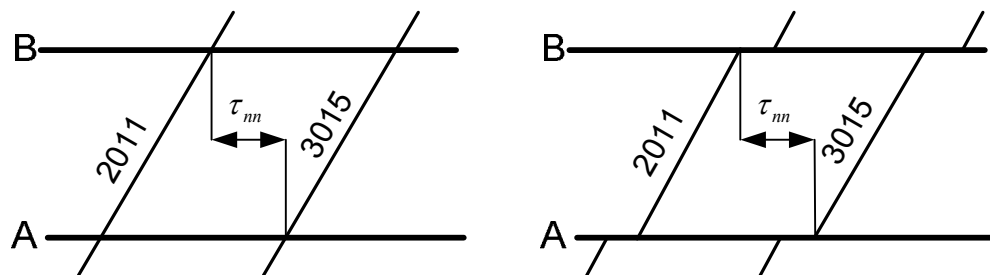


Рисунок 4.2 – Схематичне уявлення  $\tau_{mn}$  як елементу графіку руху поїздів

З метою полегшення сприйняття інтервалу колізії попутного прямування виконано її дешифрування на рисунку 4.3. При цьому нумерація поїздів відповідна прикладу наведеному на рисунку 4.2.

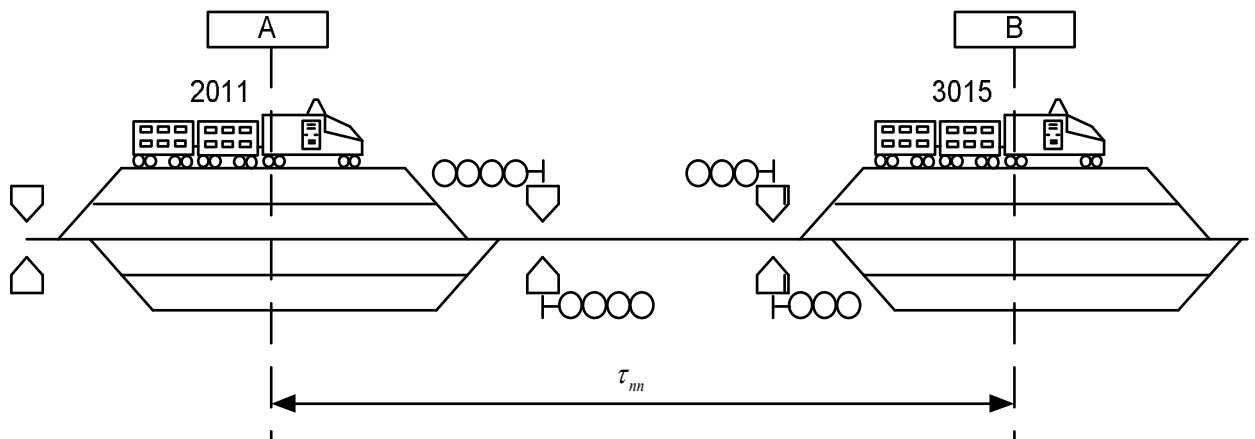


Рисунок 4.3 – Візуальна інтерпретація станційного інтервалу  $\tau_m$

Переходячи до опису рисунку 4.2 та 4.3 можна зазначити, що ДНЦ надає команду черговому по станції відправити дільничний поїзд без ознак 3015 зі станції А на станцію В. Після прибуття поїзда 3015 на станцію А в момент часу  $\tau_{(\bullet)}(t_n)$  ДНЦ надає команду ДСП станції А відправити поїзд 2011 з НВ на станцію В в час  $\tau_{(\bullet)}(t_{n+1})$ .

Формальну абстракцію першого роду предикату попутного прямування, який у повній мірі буде відтворювати попередній запис можна записати наступним чином

$$\beta_m(p_i, p_j, t_n) \Rightarrow (p_i \chi_{\in d}) \tau_{(\bullet)}(t_{n+1}) \& (p_j \chi_{\in s}) \tau_{(\bullet)}(t_n), \quad (4.2)$$

В даному аспекті при виконанні даної роботи слід розрізняти перший і другий рід предикатів в тому сенсі, що перший рід відповідає формальному уявленню без абстрактних конкретизацій з бази знань, а другий рід передбачає формальний опис дій диспетчера в термінах АМОП при застосуванні баз знань з розділу 3. В даному випадку станція В відповідає станції  $s$ ; поїзд  $p_j$  відповідає цифровому коду 3015; поїзд  $p_i$  відповідає цифровому коду 2011. В умовах

моделювання ситуації прийнято, що поїзд 2011 прямує з вагонами завантаженими НВ, а поїзд 3015 – без ознак, тобто в складі даного поїзда містяться будь-які вагони окрім вагонів з НВ, негабаритних та зі спливаючим терміном доставки.

Таким чином формальну абстракцію другого роду предикату попутного прямування, який у повній мірі буде відтворювати попередній запис (4.1) у розгорнутому вигляді при застосуванні баз знань можна записати наступним чином

$$\beta_{nn}(p_i, p_j, t_n) \Rightarrow (p_i [z_3] \chi_{\in d}) \tau_{(\bullet)}(t_{n+1}) \& (p_j [z_1] \chi_{\in s}) \tau_{(\bullet)}(t_{n+1}). \quad (4.2)$$

З семантики та лаконічного запису (4.1) та (4.2) виходить що громіздську лінгвістичну конструкцію описано коротко, а при певних навичках і зрозуміло.

Для можливості автоматизації процесу активного моніторингу за просуванням вантажних транспортних одиниць по залізниці необхідно сформувати графічний інтерфейс сформованої технології. Доцільно інтерфейс формувати відповідно розглянутих прикладів оскільки саме вони вимагають застосування предикатів другого роду.

Таким чином на рисунку 4.3 наведено графічне уявлення цифрового інтерфейсу інтелектуальної технології. На даному рисунку відтворено ситуацію, яка описує предикат колізії неодночасного прибуття з розділу 3.

На рисунку 4.4, який відтворює графічний інтерфейс автоматизованої системи активного моніторингу реалізовано не тільки приклад реалізації  $\beta_{nn}$ . Тут також реалізовано логічний перехід до моделювання ситуації з  $\beta_{nn}$ .

Таким чином на рисунку 4.5 доцільно відтворити графічне уявлення предикату колізії станційного інтервалу попутного прямування. При цьому слід зауважити, що у лінгвістичній та формальній формі у вигляді рисуноку 4.3 та 4.4 цей інтерфейс було вже описано, а також всі перед умови його опису та формування було розглянуть у першій частині даного підрозділу наукової кваліфікаційної роботи.

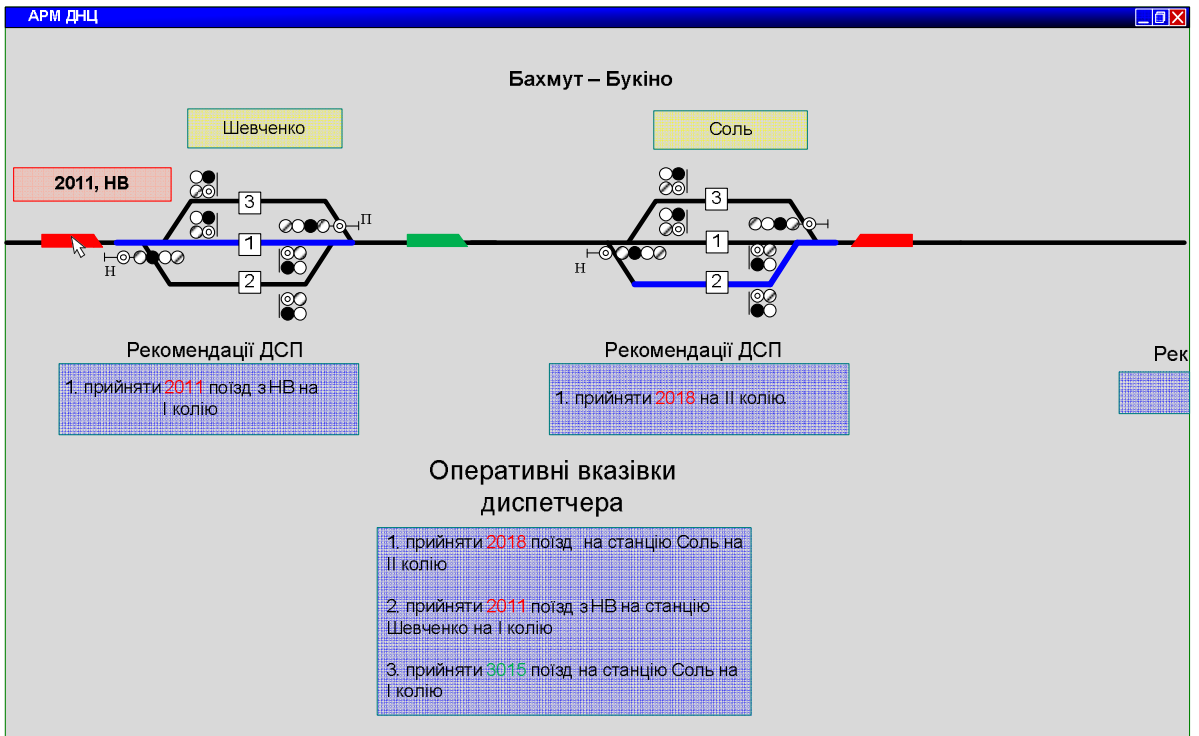


Рисунок 4.4 – Графічний інтерфейс системи активного моніторингу при реалізації  $\beta_{nn}$

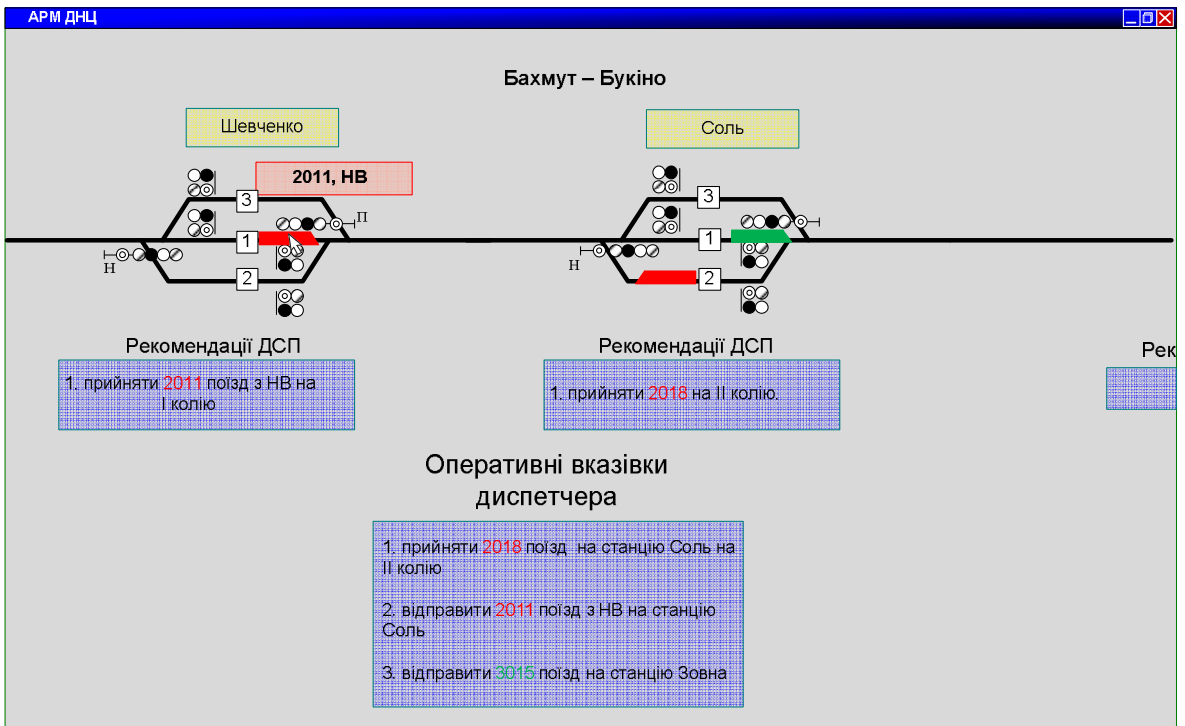


Рисунок 4.5 – Графічний інтерфейс системи активного моніторингу при реалізації  $\beta_{nn}$

Таким чином було реалізовано 2 етап даного розділу, який передбачав передумови формування та безпосередній опис технології роботи ДНЦ в умовах реалізації системи активного моніторингу за просуванням поїздопотоків з НВ та інших категорій.

Наразі стає можливим перейти до реалізації останнього пункту розробленої етапності, який відповідає за синтез сформованих технологій у вигляді моделей та наукових підходів.

#### 4.5 Синтез технології формування та просування поїздопотоків з небезпечними вантажами

У підрозділі 4.1 було визначено проміжну етапність формування синтезованої інтелектуальної технології формування та прямування поїздопотоків з небезпечними вантажами різних класів небезпеки та груп сумісності. В двох попередніх підрозділах даної науково–прикладної роботи було описано перші два етап і на разі стає можливим безпосередньо перейти до третього етапу синтезу ризик–орієнтованої технології формування поїздів з НВ різних класів і груп сумісності та інтелектуальної технології активного моніторингу за просуванням поїздопотоків з НВ.

Ув'язка в єдиний комплекс двох масштабних але локальних технологій повинна починатися з об'єкту де зароджується вагонопотік, а саме на залізничній станції. Однак для досягнення переваг системності чи отримання максимального синергетичного ефекту необхідно роботу даного лінійного об'єкту розглядати з позиції верхніх рівнів ієрархічного управління, а саме з точки зору ДНЦ.

Відповідно до зазначеного постає необхідність формування структурної схеми взаємодії АРМ ДСЦ та АРМ ДНЦ в умовах комплексної інтелектуальної ризик–орієнтованої технології формування та активного моніторингу за просуванням поїздопотоків.



Відповідно зазначеного на рисунку 4.6 наведено загальну схему синтезованої технології, яка передбачає наявність внутрішньо–системних зв'язків на різних рівнях ієрархії оперативного управління перевезеннями.

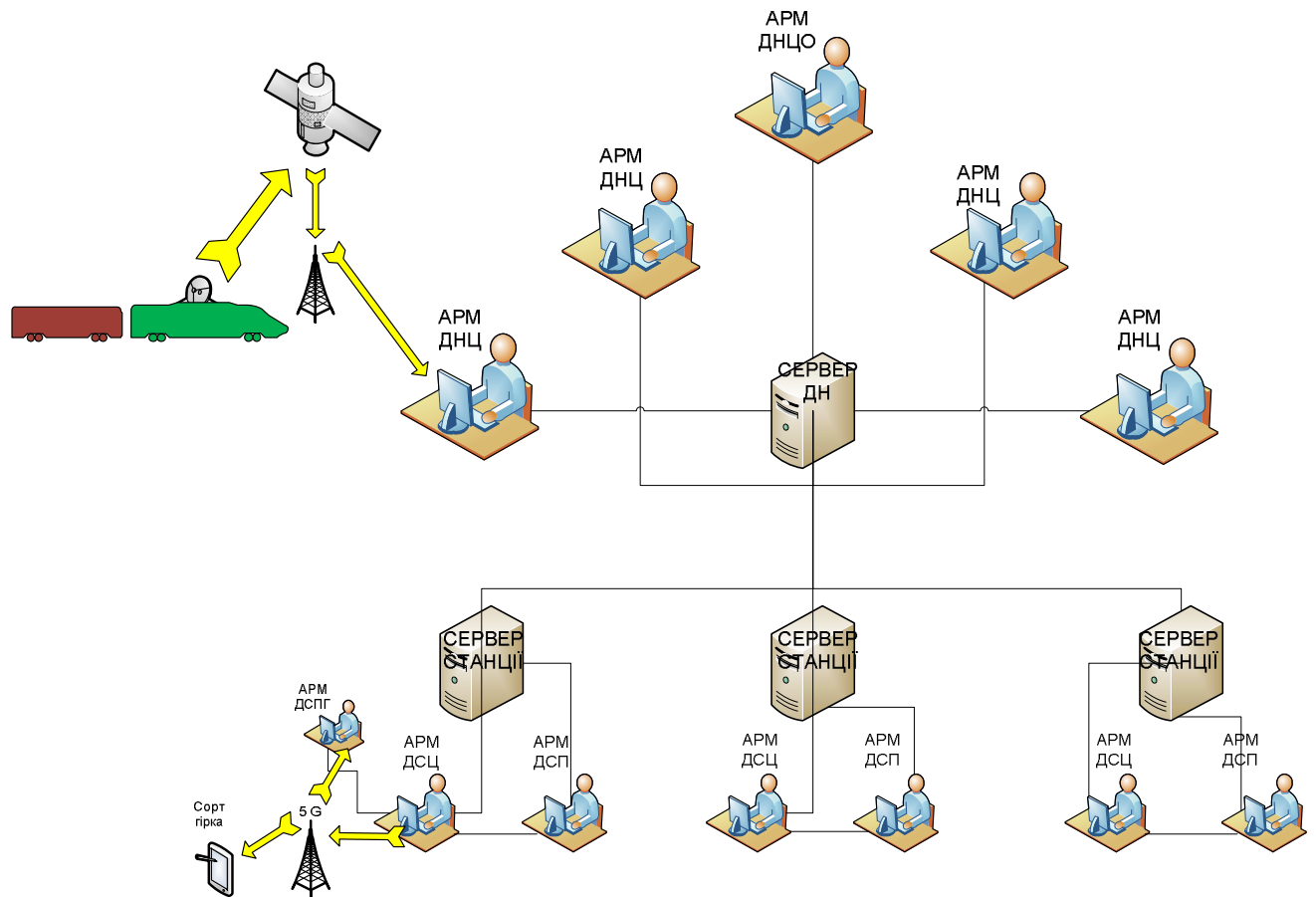


Рисунок 4.6 – Загальна схема синтезованої ризик–орієнтованої технології формування та просування поїздопотоків з НВ

Опис технології доцільно почати з самого нижнього диспетчерського рівня управління. В даному випадку передбачено, що на визначеному рівні знаходиться посада маневрового диспетчера. Відповідно своїх посадових прав та обов'язків ДНЦ аналізує поїзний стан по станції та прогноз підходу поїздів різної темпоральної глибини. Після наради з ДНЦ маневровий диспетчер приймає рішення щодо формування поїзду в складі якого містяться вагони з НВ. Після

того як було прийнято рішення на якій спеціалізованій колії сортувального парку буде відбуватися формування ДСЦ в оригінальному діалоговому вікні розробленому в межах даної науково–прикладної роботи, приклад якого наведений на рисунку 4.1 обирає її серед загального переліку обираючи відповідну опцію за допомогою маніпулятора – миша.

Варто наголосити, що у логіку функціонування сформованої ризик–орієнтованої моделі визначення раціональної композиції «достатньо безпечного» поїзда з НВ покладено можливість темпорального прогнозу глибиною до 24 годин. Ця особливість надає можливість ДСЦ промодельовати різні сценарії на стратегічному рівні з отриманням конкретних грошових значень, що припадають на формування вантажного поїзда з НВ за умови врахування експлуатаційної та ризикової складової. На рисунку 4.1 змодельована ситуація при якій загальні витрати на формування поїзда з вагонів, що знаходяться безпосередньо в парках станції складають 50 000 грн (за умови врахування експлуатаційних витрат на формування поїзда яке відбувається за умови дотримання підвищених вимог та ризикової складової виникнення більш значних наслідків при випадковій ініціації небезпечного вантажу). Також ДСЦ в змодельованому сценарії обирає опцію прогнозу підходу вантажних поїздів з НВ різної темпоральної глибини і отримує результат 52 000 грн. На інтерфейсі відтвореному на рис. 4.1 другий варіант відтворюється у червоному кольорі, а попередній у зеленому, що носить характер рекомендації щодо вибору менш вартісного варіанту. Після того як було обрано варіант «сформувати поїзд без підходу» ДНЦ натискає віртуальну кнопку «Прийняти». Після натискання цієї кнопки починає роботу ризик–орієнтовна модель в результаті чого в автоматичному отримується раціональна композиція «достатньо безпечного» поїзда з НВ. Дана композиція представлена у вигляді сортувальних листів поїздів що знаходяться в спеціалізованих парках. Композиція раціонального складу поїзду відтворюється в робочій області електронного інтерфейсу. ДСЦ ретельно аналізує її та послідовність розформування поїздів, що знаходяться в парку приймання станції, якщо ДСЦ погоджується з логікою формування поїзду з НВ (ДСЦ може не погоджуватися з

логікою формування поїзду у випадку отримання додаткових завдань або відомостей про неможливість формування поїзду з НВ при обґрунтуванні причини) то він натискає віртуальну кнопку «Роздрукувати сортувальний листок» або «Відправити сортувальний листок». У першому випадку сортувальна бригада, при наявності друкувального на гірковому посту, отримує роздрукований варіант, а у випадку наявності у сортувальній групі переносного терміналу у вигляді КПК вона отримує електронну версію даного документу. Після отримання порядку розформування составів та композицію «достатньо безпечного» поїзда складач поїздів дає команду машиністу маневрового локомотиву заїхати на визначену колію парку приймання. Далі виконується процедура розпуску составу з гірки відповідно технології станції відтвореною технологічному процесі роботи станції. Після закінченні повного циклу процедури розформування формування составів поїздів для накопичення вагонів на состав «достатньо безпечного» поїзда з НВ відповідно визначеної композиції складач поїздів доповідає ДСЦ про закінчення формування. ДСЦ заздалегідь під такий поїзд замовляє через ДНЦ и локомотивного диспетчера (ТНЦ) поїзний локомотив. Поїзний локомотив заїжджає під сформований состав. В цей час поїзний диспетчер виконує процедуру підв'язки поїзда під відповідну нитку графіку руху поїздів. Підв'язка виконується на основі застосування моделі визначення раціонального маршруту прямування сформованій у розділі 2 даної роботи. Дана модель, як зазначалося раніше, враховує наявність ліній з АБ, кількість колій на перегонах та кількість розмежувальних пунктів на шляху прямування, які знаходяться у великих містах. В основу моделі покладено систему рівнянь Колмогорова з нормувальною умовою. Після вибору маршруту та підв'язки під нитку графіку руху поїздів ДНЦ дає реєстрований наказ ДСЦ про можливість відправлення поїзда з НВ.

Слід зауважити, що у розділі 3 даної наукової роботи процес прийняття рішення про відправлення того чи іншого поїзда, а також постійного моніторингу у реальному режимі часу реалізовано у вигляді інтелектуальної автоматизованої технології АМОП на базі семіотичних продукційних правил. Відповідно до цього

рішення про відправлення сформованого поїзда у мовах функціонування АРМ ДНЦ приймається у автоматизованому режимі. На рис 4.3 та 4.4 наведено приклади реалізації сформованої технології, яка у режимі реального часу надає керуючі вказівки оперативному диспетчерському персоналу щодо стратегії поведінки при вирішенні задачі безпечного та раціонального пропуску поїздотоків з НВ на заданому напрямку за умови прогнозу розвитку по кожному розмежувальному пункту у вигляді предикатів колізій.

Отримавши від інтелектуального модулю вказівку «прийняти 2011 поїзд з НВ на I колію» поїзний диспетчер передає вказівку ДСП про необхідність приготування маршруту приймання для даного поїзду або при наявності ДЦ та ДК по типу «Каскад» одноосібно зі свого АРМ ДНЦ готує маршрут приймання. Після приймання поїзду на станцію Шевченко знову починає логічний модуль інтелектуальної системи. Результатом його роботи є рішення «відправити 2011 поїзд з НВ на станцію Соль». Дане рішення було сформовано на основі БЗ сформованій в розділі 3. В такий спосіб робота ДНЦ міститься в критичному аналізі за діями інтелектуальної системи активного моніторингу з внесенням відповідних оперативних коректив, які на даний момент відстежуються. До ситуацій, які вимагають реалізацію оперативних коректив можна віднести: порушення ГРП з об'єктивних або суб'єктивних обставин, форс-мажорні обставини (злам колії, схід з рейок рухомого складу, пожега, повені, закриття перегонів або їх окремих колій для руху поїздів).

Таким чином реалізація технології активного моніторингу починається з моменту готовності составу з НВ до відправлення, а найбільший ефект від її застосування може бути досягнутий за умови реалізації ризик-орієнтованої технології формування поїздів з НВ сформований в розділі 2 даної науково-прикладної роботи.

Підбиваючи попередній підсумок можна вважати, що завдання поставлене у вступі та формалізоване у підрозділі 4.1 у вигляді виразу (4.1) було досягнуто.

#### 4.6 Техніко–економічне обґрунтування впровадження автоматизованої технології перевезення небезпечних вантажів на основі ризик–орієнтованих підходів

З метою визначення економічного ефекту від реалізації комплексної ризик–технології формування та просування поїздопотоків у вигляді системи активного моніторингу доцільно зауважити, що дана технологія орієнтована на зменшення експлуатаційних витрат при формуванні «достатньо безпечного» поїзда з НВ за умови врахування ризикової компоненти. Відповідно до визначеного доцільно економічний ефект визначати в умовах економії експлуатаційних витрат та витрат спрямованих на подолання наслідків аварійних ситуацій з НВ на відміну від підходу при якому буде отримано гроші за рахунок реалізації комерційних стратегій розвитку виробництва.

Відповідно до зазначеного економічна доцільність від впровадження інноваційної автоматизованої технології перевезення НВ в даному контексті буде визначитися на основі покращення експлуатаційних показників, які було покращено в результаті виконання дослідження. Таким чином в розділі 1 при аналізі статистичних даних було визначено, що протягом року в середньому відбувається 26 подій з поїздами які перевозять НВ. Раніше було зазначено, що у випадку ініціації одного вагону з НВ в складі поїзда наприклад класу 2 у 99 відсотків випадків ініціації підпадають усі вагони в такому поїзді. Таким чином якщо у повному складі поїзда налічується не менше 50 вагонів то загальна втрата вагонів складе 1700 вагонів на рік. В даній науковій роботі доцільно техніко–економічний ефект від впровадження автоматизованої технології розділити на дві частини. Перша частина буде складатися суто з визначення економії від збереження рухомого складу від ініціації, а друга від скорочення експлуатаційних витрат на формування «достатньо безпечного» поїзду при його формуванні. Слід зауважити, що визначення першої частини буде ґрунтуватися на гіпотезі про 4–5% скорочення витрат при впровадженні автоматизації у виробництво [139-141]. Визначення другої частини економічного ефекту буде ґрунтуватися на отриманому у 2 розділі значенні при вирішенні цільової функції яке складає 120

грн/ваг проти максимального значення при діючому підході організації транспортного процесу 300 грн/ваг. У відсотковому відношенні ця величина складає 40 %. Також слід звернутися до попередніх досліджень розділу 1 в яких зазначається що частка вагонів з НВ складає близько 15% від загального парку який на кінець 2019 складав близько 82 000 одиниць.

В межах даного наукового дослідження передбачено, що сформована технологія на основі ризик-орієнтованих підходів базується на діючих автоматизованих комплексах АСКВПУЗ-Є та «КАСКАД». Ця умова гарантує наявність базового комплексу пристроїв для реалізації програмного комплексу який є похідною від розробленої комплексної технології перевезення НВ залізницею.

Слід також зауважити, що поряд з існуванням базового комплексу автоматизованих пристроїв передбачаються одноразові капітальні вкладення на оновлення парку комп'ютерної техніки та розробку відповідного програмного комплексу. З метою обслуговування автоматизованих комплексів на базі регіональних філій існують інформаційно-обчислювальні центри в яких присутній обслуговуючий персонал рівня адміністратора мережі як для лінійного рівня так і для рівня диспетчерського центру управління. Відповідно до цього додаткової статті витрат не передбачено. Підбиваючи підсумок для подальших розрахунків визначимо витратні та прибуткові параметри функціонування ризик-орієнтованої технології.

До витратних можливо віднести: комплекс автоматизованих засобів та програмне забезпечення. До прибуткових: оптимізація витрат які припадають на 1 вагон робочого парку, 10 відсоткове скороченні витрат на придбання рухомого складу який міг бути повністю виключеним з експлуатації.

#### 4.8 Визначення економічної ефективності впровадження удосконаленої технології

Економічний ефект від впровадження ризик-орієнтованої технології формування та просування поїздів з НВ визначається згідно з умовами використання обладнання за розрахунковий період по формулі

$$\Delta \mathcal{E}_T = \mathcal{E}_{T_2} - \mathcal{E}_{T_1} = \sum_{t=1}^n (P_{t1} - Z_{t1}) \times a_t = \sum_{t=1}^n (P_{t2} - Z_{t2}) \times \alpha_t, \quad (4.2)$$

де  $\mathcal{E}_{T1}$  – економічний ефект, що отримує АТ «УЗ» без впровадження запропонованої технології до розрахункового року;

$\mathcal{E}_{T2}$  – економічний ефект що отримує АТ «УЗ» з впровадженням сформованої технології до розрахункового року;

$P_{t1}$  – доходи від перевезень за розрахунковий період без впровадження ризик–орієнтованої технології;

$P_{t2}$  – доходи від перевезень за розрахунковий період з впровадження ризик–орієнтованої технології;

$Z_{t1}, Z_{t2}$  – витрати на перевезення без впровадження та з впровадженням ризик–орієнтованої технології;

$\alpha_t$  – коефіцієнт приведення результатів і затрат до розрахункового року;

$n$  – кількість років розрахункового періоду.

Оскільки впровадження технології на базі ризик–орієнтованих підходів не вплине на доходи залізниці, а відбудеться лише скорочення експлуатаційних витрат ( $P_{t1}=P_{t2}$ ), то формула 4.2 прийме вигляд формули

$$\Delta \mathcal{E}_T = \sum_{t=1}^n \mathcal{E}_t = \sum_{t=1}^n (Z_{t1} - Z_{t2}) \times \alpha_t, \quad (4.3)$$

Витрати різних років періоду реалізації проекту до розрахункового року здійснюється множенням їх вартісної оцінки за кожний рік на коефіцієнт приведення  $\alpha_t$ , що відповідає даному року.

Затрати різних років здійснення інноваційної ризик–орієнтованої технології перевезення НВ приводяться до останнього року його життєвого циклу, тобто визначаються в майбутній вартості грошей (компаундування), то коефіцієнт приведення визначається за формулою

$$\alpha_t = \left( \frac{1+E}{1+I+R} \right)^{t_k - t_p}, \quad (4.4)$$

де  $E$  – середня річна ставка комерційних банків за депозитними внесками (дисконтна ставка), в частках одиниці;

$R$  – ставка, що враховує ступінь впровадження моделі проекту, в частках одиниці;

$I$  – річний рівень інфляції, що прогнозується на період впровадження моделі;

$t_p$  – порядковий номер розрахункового року;

$t_k$  – порядковий номер року, грошові потоки якого приводяться до розрахункового року.

$$a_4 = \left( \frac{1+0,12}{1+0,06+0,03} \right)^4 = 1,08$$

$$a_3 = \left( \frac{1+0,12}{1+0,06+0,03} \right)^3 = 1,06$$

$$a_2 = \left( \frac{1+0,12}{1+0,06+0,03} \right)^2 = 1,04$$

$$a_1 = \left( \frac{1+0,12}{1+0,06+0,03} \right)^1 = 1,02$$

$$a_0 = \left( \frac{1+0,12}{1+0,06+0,03} \right)^0 = 1$$

Розрахунок величини економічного ефекту від впровадження сформованої інтелектуальної ризик-орієнтованої технології перевезення вагонів з НВ у вигляді АРМів чергового по станції, маневрового та поїзного диспетчорів доцільно звести до табличної форми, що наведено у таблиці 4.1.



Таблиця 4.1 – Розрахунок значення економічного ефекту

Показники	Роки				
	2020	2021	2022	2023	2024
1	2	3	4	5	6
До впровадження удосконаленої автоматизованої технології формування					
1 Кількість вантажних вагонів робочого парку АТ «УЗ» без урахування ризиків, ваг на рік.	82 000	80 700	80 700	80 700	80 700
2 Кількість вагонів для відновлення вихідного значення робочого парку, ваг	0	1 300	1 300	1 300	1 300
3 Середня вартість вантажного вагону, тис. грн	1200	1200	1200	1200	1200
4 Витрати на відновлені вихідного значення робочого парку вагонів, млн. грн.	0	1560,0	1560,0	1560,0	1560,0
5 Витрати в середньому на рік які припадають на 1 вагон робочого парку без урахування ризиків, грн. ваг.	300	300	300	300	300
6. Кількість вагонів задіяна під перевезення НВ, ваг. (доля ваг з НВ)	12300	12300	12300	12300	12300
7. Експлуатаційні витрати що припадають на вагони з НВ без урахування ризиків, тис. грн.	3690,0	3690,0	3690,0	3690,0	3690,0
8 Загальні експлуатаційні та капітальні витрати без урахування ризиків, млн. грн.	0,37	1560,37	1560,37	1560,37	1560,37
Після впровадження ризик-орієнтованої інтелектуальної технології					
9 Кількість вантажних вагонів робочого парку АТ «УЗ» з урахуванням ризиків, ваг на рік.	82 000	80 752	80 752	80 752	80 752
10 Кількість вагонів для відновлення вихідного значення робочого парку з урахуванням ризиків, ваг	0	1248	1248	1248	1248
11 Витрати на відновлені вихідного значення робочого парку вагонів, млн. грн.	0	1497,6	1497,6	1497,6	1497,6

Продовження таблиці 4.1

Показники	Роки				
	2020	2021	2022	2023	2024
1	2	3	4	5	6
12 Витрати в середньому на рік які припадають на 1 вагон робочого парку з урахуванням ризиків, грн. ваг.	120	120	120	120	120
13 . Експлуатаційні витрати що припадають на вагони з НВ з урахуванням ризиків, тис. грн.	1476,0	1476,0	1476,0	1476,0	1476,0
14 Загальні експлуатаційні та капітальні витрати з урахуванням ризиків, млн. грн.	0,15	1497,75	1497,75	1497,75	1497,75
15 Одноразові витрати на впровадження автоматизованої технології (компл. АРМ+прог. заб+підкл.) млн. грн	50,0				
16 Визначення економії за винятком капітальних вкладень, млн. грн.	49,78	62,62	62,62	62,62	62,62
17 Коефіцієнт приведення витрат різних років до розрахункового року.	1.08	1.06	1.04	1.02	1
18 Економічний ефект з врахуванням фактору часу тис. грн.	53,76	66,38	65,12	63,87	62,62
19 Економічний ефект наростаючим підсумком, млн. грн.	-53,76	12,62	77,74	141,61	204,23

В цілому економічний ефект є позитивний при впровадженні інноваційної автоматизованої інтелектуальної системи формування вантажних поїздів, залізниця почне значно заощаджувати на витратах.

#### 4.7 Висновки до четвертого розділу

1. Для визначення синергетичного ефекту від реалізації автоматизованої технології перевезення небезпечних вантажів на основі ризик-орієнтованих підходів, дію якого направлено на основні параметри ефективності

функціонування зазначеної технології, була визначена етапність, що складається з детального опису ризик-орієнтованої технології формування поїзда з НВ в умовах автоматизованих робочих місць оперативного персоналу (АРМ ДСЦ); детального опису технології активного моніторингу за рухомими одиницями в термінах АМОП та синтезу визначених технологій формування та просування поїздопотоків з небезпечними вантажами в єдину екосистему систему АРМів оперативних працівників. Це надасть можливість реалізувати єдину автоматизовану технологію та інтегрувати її до АРМів оперативного персоналу.

2. З метою реалізації вищезазначеної мети було розглянуто загальні принципи функціонування системи диспетчерського управління. Виявлено, що основну складність управління експлуатаційною роботою залізничного транспорту, представляють нестандартні ситуації та умови в яких до них додаються нові нестандартні ситуації, які необхідно швидко оцінити і прийняти регульовальні заходи, наявність великих колективів працівників, які організовують і забезпечують перевізний процес, – все це призводить до висновку, що на разі назріла реальна критична ситуація, яка пов'язано з необхідністю впровадження автоматизованих засобів обробки оперативної інформації з послідуєчим наданням управлінських рішень на основі реалізації процесів когнітивної діяльності людини в реальному масштабі часу. Перевезення небезпечних вантажів вимагає від диспетчерського апарату безпрецедентних вимог до безпеки. В даній науковій роботі розглядається так званий базовий диспетчерський рівень з послідуєчим розширенням повноважень по діючій та перспективній ієрархії.

3. З метою формування єдиної автоматизованої технології перевезення НВ в умовах визначення ризиків виконано синтез технології раціональної композиції рухомого складу та технології активного моніторингу за перевезеннями НВ. Для реалізації вищезазначеної мети було формалізовано процедуру визначення синергетичного ефекту та виконана процедура об'єднання технологій шляхом вводу модулів послідовного переходу між технологічними компонентами структурного коду. Це дозволяє реалізувати інтелектуальну технологію шляхом її

впровадження до АРМів ДСП, ДСЦ, ДНЦ та ДНЦО з розподіленням доступів відповідно до діючої ієрархії та подальшою інтеграцією до АСКВПУЗ–Є.

4. В результаті впровадження автоматизованої технології перевезення НВ на основі ризик–орієнтованих підходів досягнуто економічний ефект в межах 4% порівняно з оптимальною технологією формування «достатньо безпечного» поїзда. Це дозволяє отримати суттєвий приріст прибутковості залізничної галузі за рахунок скорочення експлуатаційних витрат на формування поїздів в складі яких містяться вагони з НВ різних класів.

## ВИСНОВКИ

У дисертації вирішено наукове завдання формування автоматизованої технології перевезення небезпечних вантажів на основі ризик-орієнтованих підходів, яка на відміну від існуючих надає можливість формування «достатньо безпечної» композиції складу вантажного поїзда та подальше просування поїздопотоків з можливістю їх динамічного корегування виконаного графіка руху поїздів на основі імітації процесів когнітивної діяльності людини.

Отримані результати дають підстави сформулювати наступні висновки:

1. Проведено аналіз статистичних даних основних показників роботи АТ «Укрзалізниця», в результаті якого виявлено, що об'єм транзитних перевезень з 2018 року зменшився на 2236,54 млн.ткм, що становить близько 13%, частка НВ з яких складає, в залежності від сезону – майже 15%. Слід зауважити, що середній час простою транзитного вагону на технічній станції з 2018 року збільшився на 1,2 години, що становить близько 7%, обіг вантажного вагону – основний комплексний показник роботи не має суттєвих змін за останні роки в сторону покращення. На основі проведеного аналізу офіційних даних, наданих Міністерством Інфраструктури України, стану аварійності при перевезенні небезпечних вантажів, визначено, що за 2017–2019 роки по всіх видах транспорту зафіксовано загалом 78 транспортних подій, з яких 100% припадає на залізничний транспорт. Такий стан ситуації вимагає швидкої розробки техніко-технологічних заходів щодо усунення причин аварійних ситуацій та зменшення негативних наслідків від них. Визначені негативні тенденції свідчать про недосконалість існуючих технологій формування та просування вагоно- та поїздопотоків, що веде до втрати позицій залізничного транспорту в умовах зростаючої конкуренції з іншими видами транспорту.

2. В результаті аналізу вітчизняного та закордонного досвіду виявлено, що питанням раціонального та безпечного формування поїздів з НВ приділено недостатню увагу. Діюча технологія передбачає випадковий порядок постановки вагонів з небезпечними вантажами різних класів в склад поїзду відповідно ПФП.

До того ж, відповідно до вітчизняної та міжнародної нормативно–правової бази зазначено, що пакування з різними знаками безпеки не повинні завантажуватись в один вагон або контейнер сумісно, якщо сумісне завантаження не дозволяється. Дані положення стосуються тільки завантаження таких вантажів в один вагон і не враховуються на рівні формування поїзда, хоча перевезення даних вантажів поруч можуть призвести до більш негативних наслідків в результаті аварійної ситуації з ними. Це вимагає дій по створенню гнучкої автоматизованої технології формування та подальшого просування поїздопотоків, які мають в своєму складі вагони з небезпечними вантажами, враховуючи різні класи безпеки.

3. Формалізовано підхід щодо раціональної композиції складу поїзда з вагонами з небезпечними вантажами різних груп сумісності, що адекватно відображають властивості окремих класів з використанням якісно нового підходу оцінки ступенів безпеки на основі групування існуючих класів. В даному дисертаційному дослідженні вперше пропонується розбиття всіх класів безпеки на чотири групи: низький рівень (8, 9 класи), середній рівень (2. 4.3; 5.1 класи), високий рівень (3.2; 3; 4.1; 4.2; 5.2; 6.1; 6.2; 7 класи) та надвисокий рівень безпеки (1 клас). Зазначений параметр впливає на величину ризику транспортної події при формуванні поїзда та його подальшого просування.

4. З метою розробки автоматизованої технології формування «достатньо безпечного» поїзду з небезпечними вантажами різних груп сумісності сформовано оптимізаційну, математичну модель комбінаторного типу в основу якої покладено ризик–орієнтовані підходи. Цільова функція моделі дозволяє забезпечити прийнятний рівень експлуатаційних витрат на маневрову роботу, що зростають зважаючи на додаткові умови, які виникають при формуванні «достатньо безпечного» поїзда на сортувальній станції, мається на увазі розстановка вагонів з небезпечними вантажами по групам безпеки та їх розділення звичайними або порожніми вагонами та мінімізації компоненту ризику настання більш значних наслідків в результаті аварійної ситуації.

В результаті моделювання отримано залежність сумарних витрат, а саме цільової функції від кількості популяцій рішень, що свідчить про збіжність цільової функції та адекватність моделі під час роботи генетичного алгоритму. Зазначена автоматизована технологія з елементами штучного інтелекту дозволить маневровому диспетчеру в режимі реального часу керувати процесом розформування–формування поїздів та вибору найбільш раціонального маршруту його прямування при попередній оцінці ризиків.

5. З метою отримання ефективного інструменту для динамічного вибору раціональних та безпечних варіантів пропуску та схрещень поїздів з НВ на перегонах та станціях, схрещень поїздів з НВ з пасажирськими, швидкісними та поїздами підвищеної ваги, довжини і негабаритними вантажами формалізовано автоматизовану технологію перевезення НВ на основі абстрактного моделювання оперативних процесів. Дана технологія базується на моделюванні когнітивних процесів прийняття рішення поїзним диспетчером для раціонального вирішення складних поїзних ситуацій в мінливих оперативних умовах при врахуванні значної кількості факторів. Розроблена технологія диспетчерського управління забезпечена модулями інтерпретації, що дозволяє декодувати семіотичну компоненту в готове управлінське рішення. Оперативний персонал буде отримувати вказівки, який поїзд необхідно пропустити, прийняти та відправити в першу чергу, на які колії з узгодженням з ГРП та ПФП.

6. З метою формування єдиної автоматизованої технології перевезення НВ в умовах визначення ризиків виконано синтез технології раціональної композиції рухомого складу та технології активного моніторингу за перевезеннями НВ. Для реалізації вищезазначеної мети було формалізовано процедуру визначення синергетичного ефекту та виконана процедура об'єднання технологій шляхом вводу модулів послідовного переходу між технологічними компонентами структурного коду. Це дозволяє реалізувати інтелектуальну технологію шляхом її впровадження до АРМів ДСП, ДСЦ, ДНЦ та ДНЦО з розподіленням доступів відповідно до діючої ієрархії та подальшою інтеграцією до АСКВПУЗ–Є.

7. В результаті впровадження автоматизованої технології перевезення НВ на основі ризик–орієнтованих підходів досягнуто економічний ефект в межах 4% порівняно з оптимальною технологією формування «достатньо безпечного» поїзда. Це дозволяє отримати суттєвий приріст прибутковості залізничної галузі за рахунок скорочення експлуатаційних витрат на формування поїздів в складі яких містяться вагони з НВ різних класів.



## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Лаврухін О.В., Мкртчян Д.І., Кульова Д.О. Аналітичні передумови формування автоматизованої інтелектуальної технології активного супроводження перевезення небезпечних вантажів. *Збірник наукових праць УкрДУЗТ*. 2016. Вип. 165. С. 159–166. DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.165.2016.87776>
2. Lavrukhin O., Kovalov A., Kulova D., Panchenko A. Formation of a model for the rational placement of cars with dangerous goods in a freight train. *Procedia Computer Science*. 2019. Vol. 149. P. 28–35.
3. Lavrukhin O., Kovalov A., Schevcenko V., Kyman A., Kulova D. Construction of an integrated criterion for estimating the consequences of emergencies involving dangerous goods. *Eastern–European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. Vol. 2, Issue 3 (98). P. 25–31. DOI: 10.15587/1729-4061.2019.163442
4. Lavrukhin O., Kovalov A., Kulova D. Technological and economic estimation of efficiency of a route choice for transportation of dangerous goods. *SHS Web of Conferences*. 2019. Vol. 67. P. 1–6. DOI: <https://doi.org/10.1051/shsconf/20196702005>
5. Lavrukhin O., Vernyhora R., Schevcenko V., Kyman A., Shulika O., Kulova D., Kim K. Forming an automated technology to actively monitor the transportation of dangerous cargoes by railroad. *Eastern–European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. Vol. 3, Issue 3 (105). P. 78–85.
6. Данько М.І., Бутько Т.В., Березань О.В., Долгополов П.В., Кулешов В.М., Калашнікова Т.Ю., Лаврухін О.В. Управління експлуатаційною роботою і якістю перевезень на залізничному транспорті / Харків: УкрДАЗТ, 2009. 183 с.
7. Козаченко Д.М., Коробйова Р.Г., Левицький І.Ю., Лашков О.В. Експлуатаційна робота залізничних станцій: приклади та задачі / ДІТ ім. академіка Лазаряна. Дніпропетровськ: ПФ «Стандарт-Сервіс». 2014. 108 с. ISBN 978-966-97463-0-6.
8. Данько М.І., Бутько Т.В., Березань О.В., Кулешов В.М., Лаврухін О.В. Загальний курс та технології роботи транспорту / Харків: УкрДАЗТ. 2008. 302 с.

9. Ковалев В.И., Осьминин А.Т., Кудрявцев В.А. Управление эксплуатационной работой на железнодорожном транспорте / ФГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте». 2011. 440 с.
10. Про перевезення небезпечних вантажів: Закон України від 6 квіт. 2000 р. N 1644-III. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1644-14> (дата звернення: 22.03.2019)
11. ДСТУ 4500-3:2008. Небезпечні вантажі. Класифікація. Київ. 2010. 36 с.
12. Лаврухін О.В., Запара В.М., Ковальов А.О. Організація перевезень небезпечних вантажів / Харків: УкрДУЗТ. 2016. 253 с
13. Зеленько Ю.В., Журавель І.Л., Огороков А.М., Патласов О.М., Бойченко А.М., Нестеренко Г.І. Посібник для курсу спеціального навчання з питань перевезень небезпечних вантажів на залізничному транспорті, частина 1, базовий курс / ДІТ імені академіка Лазаряна. 2015. 139 с.
14. Посібник до Регламенту про міжнародні перевезення небезпечних вантажів (RID) ТОВ «Швидкий рух». 2006. 240 с.
15. ДСТУ ГОСТ 30333:2009 Паспорт безопасности химической продукции. Общие требования (ГОСТ 30333-2007, IDT) / Введ. 01.01.2010. ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ». 2009. 11 с.
16. «Правила перевезення небезпечних вантажів», затверджені наказом Міністерства транспорту та зв'язку України від 25.11.2008 за № 1430 та зареєстровані в Міністерстві юстиції України від 26.02.2009 за № 180/16196.
17. Фосфорна аварія під Львовом, причини та наслідки. URL: <https://ria.ru/20070720/69351620.html> (дата звернення: 22.03.2017).
18. Небезпечний вантаж дійшов до Ради: досвід ЄС проти техногенних аварій. URL: <https://www.eurointegration.com.ua/rus/experts/2018/05/21/7081960/> (дата звернення: 05.04.2017).
19. Аналіз стану безпеки руху в структурі АТ «Укрзалізниця» у 2019 році. Укрзалізниця. Київ: Департамент безпеки руху. 2020. 198 с.
20. Аналіз стану безпеки руху в структурі АТ «Укрзалізниця» у 2018 році. Укрзалізниця. Київ: Департамент безпеки руху. 2019. 198 с.

21. Від початку року обсяги залізничних вантажоперевезень впали на 7,5% – Держстат. URL: <https://railinsider.com.ua/vid-pochatku-roku-obsyagy-zaliznychnyh-vantazhoperevezen-vpaly-na-75-derzhstat/> (дата звернення: 01.06.2020).

22. Інформація про Українські залізниці. Міністерство інфраструктури України. URL: <https://mtu.gov.ua/content/informaciya-pro-ukrainski-zaliznici.html> (дата звернення: 04.04.2020).

23. Аналіз експлуатаційної роботи. Інтегрований звіт АТ «Укрзалізниця». Київ: АТ «Укрзалізниця». 2020. С. 311

24. Лаврухін О. В. Формування моделей і методів інтелектуальної технології оперативного управління поїздопотокami: дис. ... д-ра техн. наук. Харків, 2012. 412 с.

25. Великодний В. В., Ковдря Д. В., Цейтлін С. Ю. 10 років розвитку інформаційних технологій залізничної галузі. *Інформатизація і зв'язок. Залізничний транспорт України*. 2017. Вип. 1. С. 16-23

26. Лаврухін О. В., Долгополов П. В., Петрушов В. В., Ходаківський О. М. Інформаційні системи та технології при управлінні залізничними перевезеннями: навч. посіб. Харків: Тов. Компанія СМІТ, 2011. 118 с.

27. Альошинський Є.С., Шумик Д.В., Москаленко А.Д., Майоров А.М. Аналіз розвитку вантажних перевезень в умовах інформатизації залізничного транспорту. *Збірник наукових праць УкрДАЗТ*. 2013. Вип. 135. С. 96-100

28. Мазуренко О. О., Кудряшов А. В. Ефективність формування двогрупних поїздів в оперативних умовах організації вагонопотоків. *Зб. наук. праць ДНУЗТ*. 2014. Вип. 7. С. 50-55.

29. Киман А. М. Формування автоматизованої технології просування групових поїздів оперативного призначення: дис. ... канд. техн. наук. Харків, 2017. 178 с.

30. Покусаев О. Н., Климов А. А., Куприяновский В. П., Морхат П.М., Намиот Д. Е. Цифровая железная дорога Европы – от ERTMS до искусственного интеллекта. *International Journal of Open Information Technologies*. 2019. 7 (7). С. 90-119

31. Грунтов П.С. Автоматизированные системы управления на железнодорожном транспорте. Часть IV. Гомель: БелИИЖТ, 1993. 52 с.
32. Акулиничев В.М. Система организации вагонопотоков на сортировочных станциях. Москва: МИИТ, 1967. 67 с.
33. Акулиничев В.М., Кудрявцев В.А., Корешков А.Н. Математические методы в эксплуатации железных дорог. Москва: Транспорт, 1981. 224 с.
34. Апатцев В.И. Оптимизация работы железнодорожных узлов. *Железнодорожный транспорт*. 1998. Вип. 11. С. 2-6
35. Ветухов А.Е., Аветикян М.А. Комплексные методы сокращения простоя вагонов. Москва: Транспорт, 1986. 206 с.
36. Гершвальд А.С. Оптимизация оперативного управления процессами грузовых перевозок на железнодорожном транспорте. М.: Интертекст, 2001. 240 с.
37. Гершвальд А.С. Автоматизация управления сортировочной работой. *Приборы и системы управления*. 1986. Вип. 12. С. 17-18.
38. Гершвальд А.С. Оптимальное управление процессами работы базовой станции опорного центра. *Железные дороги мира*. 2002. Вип. 6. С. 35-45
39. Грунтов П.С., Бабченко С.А., Кузнецов В.Г. Автоматизированные диспетчерские центры управления эксплуатационной работой железных дорог. М.: Транспорт, 1990. 288 с.
40. Грунтов П.С., Дьяков Ю.В., Макарович А.М. Управление эксплуатационной работой и качеством перевозок на железнодорожном транспорте. Учебник для вузов ж.д. транспорта. М.: Транспорт, 1994. 543с.
41. Данько М.І., Лаврухін О.В., Рябушка Ю.А., Берестова Т.Т. Розробка моделі оперативного корегування поїздоутворення в умовах функціонування міжнародних транспортних коридорів. *Проблеми міжнародних транспортних коридорів та єдиної транспортної системи України*: тези доповідей 2-ї Міжнар. наук.-практ. конф. Харків: Вісник економіки транспорту і промисловості, 2006. Вип. 14. С. 5-6.
42. Ломотько Д.В., Лаврухін О.В., Прохоров В.М., Панкратов В.І. Удосконалення технології використання засобів залізничного транспорту

незагального користування з використанням кластерного аналізу. *Проблеми економіки і управління на залізничному транспорті*: матеріали Другої Міжнар. наук.-практ. конф. Київ, 2007. С. 242-244.

43. Саенко Н.Н., Гавзов Д.В., Никитин А.Б. Автоматизация диспетчерского управления перевозочным процессом. *Автоматика, телемеханика и связь*. 1995. Вип. 6. С. 9–11.

44. Саенко Н.Н., Ершов П.Н., Павлов А.С., Гавзов Д.В., Никитин А.Б. Опыт эксплуатации регионального центра диспетчерского управления. *Автоматика, связь информатика*. 2000. Вип. 2. С. 27–30.

45. Сапожников В.В., Гавзов Д.В., Никитин А.Б. Концентрация и централизация оперативного управления движением поездов. М.: Транспорт. 2002. 102 с.

46. Сотников Е.А. Эксплуатационная работа железных дорог (состояние, проблемы, перспективы). М.: Транспорт, 1986. 256 с.

47. Статут залізниць України. К.: Транспорт України, 1998. 83 с.

48. Тулупов Л.П., Жуковский Е.М., Гусятинер А.М. Автоматизированные системы управления перевозочными процессами на железных дорогах. М.: Транспорт, 1991. 208 с.

49. Жуковицький І.В., Скалозуб В.В., Устинко А.Б. 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*. 2007. Вип. 17. С.28-34.

50. Жуковицький І.В., Пойманов М. М. Напрямки побудови електронного документообігу на підприємствах УЗ. *Сучасні інформаційні технології на транспорті, в промисловості та освіті*: тези Міжнар. наук.-практ. конф. Дніпропетровск, 2007. С. 11– 12.

51. Данько М.І., Лаврухін О.В., Рибальченко Л.І. Оптимізація використання порожнього парку вагонів за допомогою генетичних алгоритмів. *Збірник наукових праць УкрДАЗТ*. 2011. Вип. 122. С. 7–12.

52. Лаврухін О.В., Доценко Ю.В. Удосконалення системи оперативного планування при вирішенні задачі поїздоутворення в умовах нечіткої вихідної інформації. *Вісник донецької академії автомобільного транспорту*. 2011. Вип. 1. С. 42–50.

53. Лаврухін О.В. Розробка підходів щодо пріоритетного формування поїздів на основі застосуванні інтелектуальних методів. *Збірник наукових праць ДонІЗТ*. 2011. Вип. 25. С. 32–38.

54. Лаврухін О.В. Визначення цільової функції пріоритетного відправлення вантажних поїздів зі станції. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. 2011. Вип. 2/10 (50). С. 20–22.

55. Лаврухін О.В., Немировський Б.М. Удосконалення технології роботи контейнерних терміналів на основі впровадження інтелектуальних передових технологій. *Збірник наукових праць ДНУЗТ «Транспортні системи та технології перевезень»*. 2017. Вип. 13 С. 46-51.

56. Lavrukhin O., Zapara V., Baulina H., Zapara Y., Kyman A. Rationalization of Use of Alternative Rolling Stock for Transportation of Vegetable Cargo with Insufficient Number of Grain Hoppers. *Internation Journal of Enginering & Technologies*. 2018. №7(4.3). P. 251–256

57. Butko T., Prokhorchenko A., Golovko T., Prokhorchenko G. Development of the method for modeling the propagation of delays in non-cyclic train scheduling on the railroads with mixed traffic. *Eastern–European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Vol. 1, Issue 3 (91). P. 30–39. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.123141>

58. Буцько Т.В., Прохорченко А.В., Киман А.М. Формалізація технології організації групових поїздів оперативного призначення. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. 2015. Вип.4/3 (76). С. 38-43.

59. Панченко С. В., Буцько Т. В., Прохоров В. М., Пархоменко Л. О. Удосконалення технології організації вагонопотоків шляхом формування автоматизованої системи розрахунку і забезпечення виконання плану

формування поїздів. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. 2017. Вип. № 3. С. 136–142

60. Butko T., Prokhorov V., Kalashnikova T., Riabushka Y. Organization of railway freight short-haul transportation on the basis of logistic approaches. *Procedia Computer Science*. 2019. Vol. 149. P. 102–109.

61. Kozachenko, D. M., Zhuravel I. L., Zhuravel V. V. Especially the Functioning of Railway Stations in the Conditions of the Organization of Transport Dangerous Goods. *Транспортні системи та технології перевезень : зб. наук. пр. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. Лазаряна*. 2016. Вип. 12. С. 38–44. DOI: 10.15802/tstt2016/8595.

62. Matsiuk V., Myronenko V., Horoshko V. Improvement of efficiency in the organization of transfer trains at developed railway nodes by implementing a "flexible model". *Eastern–European Journal of Enterprise Technologies: Control processes*. 2019. Vol. 2, No. 3 (98) P. 32 – 39

63. Буц Ю. В., Крайнюк О. В., Козодой Д. С. Оцінка надзвичайних подій під час перевезення небезпечних вантажів у контексті техногенного навантаження регіонів. *Наука та прогрес транспорту Вісник ДНУЗТ ім. акад. В. Лазаряна*. 2018. 3(75). С. 27-35.

64. Козодой Д. С., Пилипенко О. В., Матюшенко С. Ю., Кравченко Р. О., Романюк Я. О. Основні нормативні положення та вимоги при перевезенні залізничним транспортом радіоактивних матеріалів. *Будівництво, матеріалознавство, машинобудування*. 2018. Вип. 105. С. 124-130.

65. Kozachenko D., Vernigora R., Balanov V., Berezovy N., Yelnikova L., Germanyuk Yu. Evaluation of the transition to the organization of freight trains traffic by the schedule. *Transport problems*. 2016. Vol. 11, Issue 1. P. 41—48. doi: 10.20858/tp.2016.11.1.4.

66. Мироненко В. К., Кацман М. Д., Горбаха М. М., Мацюк В. І. Математична модель станів та надійності залізничної транспортної системи при перевезеннях небезпечних вантажів. *Системи обробки інформації: збірник*

наукових праць Харківського університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба. 2015. Вип. 9 (134). С. 161 – 167.

67. Чехунов Д. М. Формування моделі оцінки ризиків на сортувальній станції при оперуванні вагонами з небезпечними вантажами із використанням математичних апаратів нечіткої логіки та байєсових мереж. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2018. Вип. 1. С. 35-41.

68. Бутько Т. В., Прохорченко А. В., Музикіна С. І. Формування моделі оперативного управління процесом просування вагонів з небезпечними вантажами в підсистемі “технічна станція – прилегла дільниця” на базі нечіткої ситуаційної мережі. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2012. Вип. 5. С. 13-16.

69. Solc M., Hovanec M. The Importance of Dangerous Goods Transport by Rail. *Nase more*. 2015. Vol. 62(3). P. 181-186.

70. Batarliene N., Jarasuniene A. Analysis of accident and incidents occurring during the transportation of dangerous goods by railway transport. *Transport*. 2014. Vol. 29(4). P. 395-400. doi:10.3846/16484142.2014.983967

71. Drzewieniecka B., Nowak M. Safety aspect in carriage of dangerous goods by railway transport. *New trends in production engineering*. 2018. Vol. 1. Issue 1. P. 35-41.

72. Medvedev V., Oshchepkov Z., Bogomolova E., Bogomolov V. Dangerous zone during transportation of dangerous goods. *E3S Web of Conferences*. 2019. Vol. 138. P. 1-9. doi: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201913802019>

73. Macciotta R., Robitaille S., Hendryc M., Derek Martin C. Hazard ranking for railway transport of dangerous goods in Canada. *Case studies on transport policy*. 2018. Vol. 6. Issue 6. P. 43-50.

74. Bagheri M., Saccomanno F. F., Fu L. Effective placement of dangerous goods cars in rail yard marshaling operation. *Canadian Journal of Civil Engineering*. 2010. Vol. 37, Issue 5. P. 753–762. doi: <https://doi.org/10.1139/110-015>

75. Bagheri M., Saccomanno F., Chenouri S., Fu L. Reducing the threat of in-transit derailments involving dangerous goods through effective placement along the



train consist. *Accident Analysis & Prevention*. 2011. Vol. 43, Issue 3. P. 613–620. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2010.09.008>

76. Giacone M., Brattaa F., Gandinib P., Studerb L. Dangerous goods transportation by road: a risk analysis model and a Global Integrated Information System to monitor hazardous materials land transportation in order to protect territory. *Chemical Engineering Transaction*. 2012. Vol. 26. P. 579–584. doi: <http://doi.org/10.3303/CET1226097>

77. Majlingova A., Pantya P. Management of risks associated with dangerous goods transportation. *Vedelem Tudomany*. 2019. Vol. 2. P. 220-246.

78. Zhao H., Zhang N., Guan Y. (2018). Safety Assessment Model for Dangerous Goods Transport by Air Carrier. *Sustainability*. 2018. Vol. 10. Issue 5. P. 2-16. doi: <https://doi.org/10.3390/su10051306>

79. Ellis J. Undeclared dangerous goods – Risk implications for maritime transport. *WMU Journal of Maritime Affairs*. 2010. Vol. 9. P. 5-27. doi: <https://doi.org/10.1007/BF03195163>

80. Лаврухін О.В., Кульова Д.О. Перспективи розвитку передових технологій небезпечних вантажів в умовах використання передових технологій. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті: тези 29-ї Міжнар. наук.-практ. конф. Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. (Черноморськ, 27-29 вер. 2016р.).* Черноморськ: УкрДУЗТ, 2016. С. 2.

81. Лаврухін О.В., Кульова Д.О. Обґрунтування доцільності формування інтелектуальної технології оперативного супроводження процесу перевезення небезпечних вантажів. *Актуальні проблеми сучасного управління соціально-економічних, технічних та гуманітарних системах: тези наук.-практ. конф. (Сєверодонецьк, 24-26 лист. 2016р.).* Сєверодонецьк: Східноукраїнський національний університет імені В. Даля, 2016. С. 68-71.

82. Лаврухін О.В., Кульова Д.О. Перспективи створення інтелектуальної автоматизованої технології формування поїздопотоків з небезпечними вантажами різних категорій та класів безпеки. *Сучасні інформаційні та комунікаційні технології на транспорті, в промисловості та освіті: тези X*

Міжнар. наук.-практ. конф. (Дніпро, 14-15 груд. 2016 р.). Дніпро: ДНУЗТ, 2016. С. 30-31.

83. Лаврухін О.В., Кульова Д.О. Визначення підходів щодо розробки інтелектуальної технології формування та просування поїздопотоків з небезпечними вантажами різних груп сумісності. *Проблеми розвитку транспорту і логістики: тези VII Міжнар. наук.-практ. конф. (Сєверодонецьк-Одеса, 26-28 квіт. 2017 р.). Сєверодонецьк-Одеса: Східноукраїнський національний університет імені В. Даля, 2017. С. 96-97.*

84. Лаврухін О.В., Киман А.М., Кульова Д.О. Формування математичної моделі раціональної композиції рухомого складу із вагонами з небезпечними вантажами. *Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті: тези 80-ї Міжнар. наук.-техн. конф. (Харків, 24-26 квіт. 2018 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2018. С. 133-134.*

85. Лаврухін О.В., Кульова Д.О. Формування математичної моделі пошуку раціональних варіантів формування і просування поїздів з небезпечними вантажами різних класів. *Технології та інфраструктура транспорту: тези Міжнар. наук.-техн. конф. (Харків, 14-16 трав. 2018 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2018. С. 191-192.*

86. Бутько Т.В., Лаврухін О.В., Бочаров О.П. Передумови створення методу розробки плану формування вантажних поїздів на основі систем з можливістю самонавчання. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті: науково-технічний журнал. 2006. Вип. 1. С. 53–56.*

87. Лаврухін О.В., Мікулін І.В. Удосконалення автоматизованих робочих місць оперативного персоналу на базі інформаційно-керуючих систем. *Збірник наукових праць УкрДАЗТ. 2007. Вип. 85. С. 70–78.*

88. Лаврухін О.В., Костенніков О.М., Киман А.М. Формування автоматизованої технології просування групових поїздів оперативного призначення. *Збірник наукових праць ДНУЗТ ім. акад. В. Лазаряна. 2016. Вип. 12. С. 51-57.*

89. Єременко Н.І. Дослідження якості формування составів з вагонами завантаженими небезпечними вантажами на залізничних станціях України. *International Scientific Journal*. 2016. Вип. 5. С. 32-34.
90. Алтухов Ю.П. Генетические процессы в популяциях. М.: Академкнига. 2003. 312 с.
91. Гладков Л.А., Курейчик В.В. Генетические алгоритмы: Учебное пособие. 2-е изд. М.: Физматлит. 2006. 320 с.
92. Данько М.І., Лаврухін О.В., Рибальченко Л.І. Оптимізація використання порожнього парку вагонів за допомогою генетичних алгоритмів. *Зб. наук. Праць УкрДАЗТ*. 2011. Вип. 122. С. 7-12.
93. Норенков И.П. Эвристики и их комбинации в генетических методах дискретной оптимизации. *Информационные технологии*. 1999. Вип. 1. С. 2-7.
94. Панченко Т.В. Генетические алгоритмы: учебно-методическое пособие. Астрахань: Издательский дом «Астраханский университет», 2007. 87с.
95. Рутковская Д., Пилинський М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические и нечеткие системы, М.: Горячая линия – Телеком. 2004. 452 с.
96. Люггер Д.Ф. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем. М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. 864 с.
97. Гаврилюк А.Б., Алексеев В.А. Метод оптимального статического планирования задач в распределенных вычислительных системах с использованием генетического алгоритма. *Модели параллельных и распределенных программ: программирование в сетях*. 2004. Вып. 1. С. 52-59.
98. Кумагина Е.А., Неймарк Е.А. Разработка гибридного алгоритма решения задачи упорядочения. *Информатика и управление в технических и социальных системах*. 2019. № 3 (126). С. 17-23.
99. Козін І. В., Кривцун О. В., Полюга С. І. Фрагментарна структура і еволюційний алгоритм для задач прямокутного розкрою. *Вісник Запорізького національного університету*. 2014. Вип. 2. С. 65-72.

100. Gonçalves J. F. A hybrid genetic algorithm-heuristic for a two-dimensional orthogonal packing problem. *European Journal of Operational Research*. 2007. Vol. 183(3). P. 1212-1229.

101. Лаврухін О.В., Кульова Д.О. Шляхи розробки моделі організації перевізного процесу з небезпечними вантажами в умовах існування ризиків. *Людина, суспільство, комунікативні технології: тези V Міжнар. наук.-практ. конф. (Харків-Лиман, 22-23 вер. 2017 р.)*. Харків-Лиман: УкрДУЗТ, 2017. С. 248-249.

102. Лаврухін О.В., Кульова Д.О., Бойко С. А. Організація перевізного процесу небезпечних вантажів в умовах зниження рівня ризику та експлуатаційних витрат. *Людина, суспільство, комунікативні технології: тези VI Міжнар. наук.-практ. конф. (Харків-Лиман, 14-15 вер. 2018 р.)* Харків-Лиман: УкрДУЗТ, 2018 С. 274-275.

103. Лаврухін О.В., Кульова Д.О. Формування підходу щодо управління ризиками при перевезенні небезпечних вантажів різних класів. *Людина, суспільство, комунікативні технології: тези VII Міжнар. наук.-практ. конф. (Харків-Лиман, 26-27 черв. 2019 р.)* Харків-Лиман: УкрДУЗТ, 2019 С. 248-249.

104. Бутько Т.В., Лаврухін О.В. Організація електронного документообігу на сортувальній станції. *Збірник наукових праць УкрДАЗТ*. 2002. Вип. 49. С. 125–130.

105. Лаврухін О.В. Удосконалення управління перевізним процесом на основі теорії нечітких множин. *Збірник наукових праць УкрДАЗТ*. 2003. Вип. 53. С. 78–82.

106. Бутько Т.В., Лаврухін О.В. Планування перевезень вантажу на основі раціональної організації вагонопотоків на залізниці із застосуванням теорії нечітких множин. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. 2004. Вип. 7. С. 16–19.

107. Данько М.І., Лаврухін О.В. Прогнозування розподілу вагонопотоків на основі теорії нечітких множин. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2004. Вип. № 2. С. 80–83.

108. Котенко А. М., Козодой Д. С., Світлична А. В., Шилаєв П. С. Методики визначення втрат від аварійних ситуацій з небезпечними вантажами. Збірник наукових праць УкрДАЗТ. 2013. № 141. С. 272–280.
109. Лаврухін О. В., Бочаров О. П., Горбачов О. А. Методи удосконалення системи змінно-добового планування на основі теорії нейронних мереж. Збірник наукових праць ДонІЗТ. 2007. № 12. С. 25–33.
110. Lavrukhin O., Kulova D. Precondition to devise estimation techniques for consequences with dangerous goods due emergency situations. *Globalization of scientific and educational space. Innovation of transport. Problems, experience, prospects: Theses of international scientific and practical conference (Salou (Spain), 4-11 May 2019.)*. Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, 2019. P. 51-53.
111. Балджи М. Д. Економічний ризик та методи його вимірювання: навч. пос. Харків: Промарт, 2015. 300 с.
112. Астахов А. М. Искусство управления информационными рисками. Москва: ДМК Пресс, 2010. 312 с.
113. Родкевич О.Г. Застосування математичного апарату теорії масового обслуговування для моделювання транспортних подій. *Організація перевезень і безпека транспорту*. 2014. С. 171-182.
114. Куланов С. О., Харченко В. С. Застосування математичного апарату теорії систем масового обслуговування для оцінки вартісних показників GRID-систем. *Вісник Харківського національного університету Серія «Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління»*. 2007. Вип. 780. С.143-150.
115. Chee Sh. Ye., Rajkumar B. A taxonomy of market-based resource management systems for utility-driven cluster computing. *Software Practice and Experience*. 2006. Vol. 36(13). P. 1381–1419.
116. Лаврухін О.В., Кульова Д.О. Удосконалення технології перевезення небезпечних вантажів на основі систем супутникового позиціонування. *Сучасні інноваційні та інформаційні технології в перевезенні небезпечних вантажів: тези 1-ї*

Міжнар наук.-практ. конф. (Харків, 16-17 листопада 2017 р.) Харків: УкрДУЗТ, 2017. С. 23-24.

117. Лаврухін О.В. Оперативне корегування вагонопотоку в межах існуючого плану формування поїздів. *Науково-технічний збірник*. 2004. Вип. 58. С. 221-225.

118. Бутько Т.В., Лаврухін О.В., Прохоров В.М. Розробка моделі інтелектуальної системи підтримки прийняття рішення по управлінню процесом приймання-відправлення поїздів на залізничній станції. Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. 2008. Вип. 3. С. 61-65.

119. Доценко Ю.В. Удосконалення управління процесом просування поїздопотоків на основі стабілізації обігу вантажного вагону: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.01. Харків, 2010. 160 с.

120. Криволапов С.В. Автоматизация управления движением поездов на основе интеллектуальных моделей процессов принятия решений поездным диспетчером: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.06. Ростов-на-Дону, 2013. 153 с.

121. Долгий, И. Д., Криволапов, С. В. Динамические модели прогнозирования движения поездов в интеллектуальных системах диспетчерского управления. *Вестник РГУПС*. 2012. Вип. 4. С. 75-81.

122. Шелехов В.И. Верификация и синтез эффективных программ стандартных функций в технологии предикатного программирования. *Программная инженерия*. 2011. № 2. С. 14-21.

123. Шелехов В.И. Списки и строки в предикатном программировании. *Системная информатика*. 2014. №3. С. 25-43.

124. Cooke D. E., Rushton J. N. Taking Parnas's Principles to the Next Level: Declarative Language Design. *Computer*. 2009. Vol. 42, Issue 9. P.56-63.

125. Кулик Б. А, Курбанов В. Г., Фридман А. Я. Теория отношений как инструмент семантического анализа данных и знаний. *Вестник Санкт-Петербургского университета*. 2010. Вып. 4. С. 85-95.

126. Інструкція з оперативного планування поїзної і вантажної роботи на залізницях України. ЦД 0052. К: 2004. 48 с.

127. Іванець О.Б., Дворнік М.В., Морозова І.В. Формування бази даних для відбору операторів. Проблеми інформатизації та управління. 2010. Вип. 2 (30). С. 74-78.
128. Хорозов О.А. Формування бази даних електронних медичних записів. *Компьютерная математика*. 2014. Вип. 1. С. 61-69.
129. Пружин М.К., Плотникова Т.А. Формирование баз даних для поддержки компьютеризированных агротехнологий. *Информатика*. 2012. Вип. 1. С. 134-135.
130. Альт В.В., Гурова Т.А., Боброва Т.Н., Денисюк С.Г. К вопросу создания информационно-поисковых баз данных. *Всерос. науч.-исслед. ин-т электрификации сел. хоз-ва*. 2010. Вип. 5. С. 85-89.
131. Hirouchi T., Kosaka T. An effective database formation for decision support systems. *Information&Management*. 1984. Vol. 7. Issue 4. P. 183-195.
132. Голик І.Л. Синергетичний ефект діяльності кластерних формувань. *Ефективна економіка*. 2015. Вип. 5. С. 1-5.
133. Бойко Ю.І. Синергетичний ефект як ключовий аспект діяльності об'єднаних територіальних громад. Проблеми теорії та методології бухгалтерського обліку, контролю і аналізу. 2018. Вип. 1 (39). С. 3-8.
134. Лаврухін О.В. Формування основ щодо розробки автоматизованої інтелектуальної системи управління рухом вантажних поїздів на станції. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2011. Вип. 3. С. 3–8.
135. Лаврухін О.В., Доценко Ю.В. Удосконалення системи оперативного планування при вирішенні задачі поїздоутворення в умовах нечіткої вихідної інформації. *Вісник донецької академії автомобільного транспорту*. 2011. Вип. 1. С. 42–50.
136. Лаврухін О.В., Мікулін І.В. Удосконалення автоматизованих робочих місць оперативного персоналу на базі інформаційно-керуючих систем. *Збірник наукових праць УкрДАЗТ*. 2007. Вип. 85. С. 70–78.

137. Лаврухін О.В. Удосконалення АРМ поїзного диспетчера з використанням нечіткої логіки: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.20. Харків, 2004. 233 с.

138. Вимоги до посади: поїзний диспетчер. URL: <https://jobs.ua/rus/dkhp/articles-1835> (дата звернення: 05.05.2020)

139. Степаненко Д. Методика оценки инновационных проектов для венчурного финансирования. *Вестник ассоциации белорусских банков*. 2008. Вып. 5. С. 18 – 21.

140. Вертакова Ю.В., Симоненко, Е.С. Управление инновациями: теория и практика: учебное пособие. М.: Эксмо, 2008. 432с.

141. Колосова О.В., Яшин С.Н., Мурашова Н.А. Управление инновационной деятельностью: учеб. пособие / Нижегород. гос. техн. ун-т. им. Р.Е. Алексеева. Н. Новгород: 2011. 568 с.



## ДОДАТОК А

Список публікацій здобувача за темою дисертації  
та відомості про апробацію результатів дисертації

***Наукові праці в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:******Публікації у фахових виданнях України:***

1. Лаврухін О.В., Мкртчян Д.І., Кульова Д.О. Аналітичні передумови формування автоматизованої інтелектуальної технології активного супроводження перевезення небезпечних вантажів. *Збірник наукових праць УкрДУЗТ*. 2016. Вип. 165. С. 159-166. DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.165.2016.87776>

***Публікації, що включені до міжнародних наукометричних баз Scopus та WoS***

2. Lavrukhin O., Kovalov A., Kulova D., Panchenko A. Formation of a model for the rational placement of cars with dangerous goods in a freight train. *Procedia Computer Science*. 2019. Vol. 149. P. 28–35.

3. Lavrukhin O., Kovalov A., Schevcenko V., Kyman A., Kulova D. Construction of an integrated criterion for estimating the consequences of emergencies involving dangerous goods. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. Vol. 2, Issue 3 (98). P. 25-31. DOI: 10.15587/1729-4061.2019.163442

4. Lavrukhin O., Kovalov A., Kulova D. Technological and economic estimation of efficiency of a route choice for transportation of dangerous goods. *SHS Web of Conferences*. 2019. Vol. 67. P. 1-6. DOI: <https://doi.org/10.1051/shsconf/20196702005>

5. Lavrukhin O., Vernyhora R., Schevcenko V., Kyman A., Shulika O., Kulova D., Kim K. Forming an automated technology to actively monitor the transportation of dangerous cargoes by railroad. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. Vol. 3, Issue 3 (105). P. 78-85

***Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:***

6. Лаврухін О.В., Кульова Д.О. Перспективи розвитку передових технологій небезпечних вантажів в умовах використання передових технологій. *Інформаційно-*

*керуючі системи на залізничному транспорті*: тези 29-ї Міжнар. наук.-практ. конф. Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. (Черноморськ, 27-29 вер. 2016р.). Черноморськ: УкрДУЗТ, 2016. С. 2. (заочна участь)

7. Лаврухін О.В., Кульова Д.О. Обґрунтування доцільності формування інтелектуальної технології оперативного супроводження процесу перевезення небезпечних вантажів. *Актуальні проблеми сучасного управління соціально-економічних, технічних та гуманітарних системах*: тези наук.-практ. конф. (Сєверодонецьк, 24-26 лист. 2016р.). Сєверодонецьк: Східноукраїнський національний університет імені В. Даля, 2016. С. 68-71. (заочна участь)

8. Лаврухін О.В., Кульова Д.О. Перспективи створення інтелектуальної автоматизованої технології формування поїздопотоків з небезпечними вантажами різних категорій та класів безпеки. *Сучасні інформаційні та комунікаційні технології на транспорті, в промисловості та освіті*: тези X Міжнар. наук.-практ. конф. (Дніпро, 14-15 груд. 2016 р.). Дніпро: ДНУЗТ, 2016. С. 30-31. (заочна участь)

9. Лаврухін О.В., Киман А.М., Кульова Д.О. Формування комплексної просторово-часової моделі просування групових поїздів оперативного призначення. *Розвиток інноваційної та наукової діяльності на транспорті*: тези 79-ї Міжнар. наук.-техн. конф. Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. (Харків, 25-27 квіт. 2017 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2017. С. 190-192. (особиста участь)

10. Лаврухін О.В., Кульова Д.О. Визначення підходів щодо розробки інтелектуальної технології формування та просування поїздопотоків з небезпечними вантажами різних груп сумісності. *Проблеми розвитку транспорту і логістики*: тези VII Міжнар. наук.-практ. конф. (Сєверодонецьк-Одеса, 26-28 квіт. 2017 р.). Сєверодонецьк-Одеса: Східноукраїнський національний університет імені В. Даля, 2017. С. 96-97. (заочна участь)

11. Лаврухін О.В., Кульова Д.О. Шляхи розробки моделі організації перевізного процесу з небезпечними вантажами в умовах існування ризиків. *Людина, суспільство, комунікативні технології*: тези V Міжнар. наук.-практ. конф.

(Харків-Лиман, 22-23 вер. 2017 р.). Харків-Лиман: УкрДУЗТ, 2017. С. 248-249. (заочна участь)

12. Лаврухін О.В., Кульова Д.О. Удосконалення технології перевезення небезпечних вантажів на основі систем супутникового позиціонування. *Сучасні інноваційні та інформаційні технології в перевезенні небезпечних вантажів*: тези 1-ї Міжнар наук.-практ. конф. (Харків, 16-17 листопада 2017 р.) Харків: УкрДУЗТ, 2017. С. 23-24. (особиста участь)

13. Лаврухін О.В., Киман А.М., Кульова Д.О. Формування математичної моделі раціональної композиції рухомого складу із вагонами з небезпечними вантажами. *Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті*: тези 80-ї Міжнар. наук.-техн. конф. (Харків, 24-26 квіт. 2018 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2018. С. 133-134. (особиста участь)

14. Лаврухін О.В., Кульова Д.О. Формування математичної моделі пошуку раціональних варіантів формування і просування поїздів з небезпечними вантажами різних класів. *Технології та інфраструктура транспорту*: тези Міжнар. наук.-техн. конф. (Харків, 14-16 трав. 2018 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2018. С. 191-192. (особиста участь)

15. Лаврухін О.В., Кульова Д.О., Бойко С. А. Організація перевізного процесу небезпечних вантажів в умовах зниження рівня ризику та експлуатаційних витрат. *Людина, суспільство, комунікативні технології*: тези VI Міжнар. наук.-практ. конф. (Харків-Лиман, 14-15 вер. 2018 р.) Харків-Лиман: УкрДУЗТ, 2018 С. 274-275. (очна участь)

16. Lavrukhin O., Kulova D. Precondition to devise estimation techniques for consequences with dangerous goods due emergency situations. *Globalization of scientific and educational space. Innovation of transport. Problems, experience, prospects*: Theses of international scientific and practical conference (Salou (Spain), 4-11 May 2019.). Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, 2019. P. 51-53.

17. Лаврухін О.В., Кульова Д.О. Визначення параметрів впливу на формування поїзду з небезпечними вантажами різних класів. *Міжнародна транспортна інфраструктура, індустріальні центри та корпоративна*

*логістика*: тези п'ятнадцятої Міжнар. наук.-практ. конференції (Харків, 6-8 черв. 2019 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2019. С. 75-77. (особиста участь)

18. Лаврухін О.В., Кравець А. Л., Кульова Д.О. Напрямки покращення роботи залізничного транспорту при розширенні послуг щодо перевезення вантажів малих обсягів. *Сучасний рух науки*: тези VI Міжнар. наук.-практ. інтернет конф., 2019. С. 627-631

19. Лаврухін О.В., Кульова Д.О. Формування підходу щодо управління ризиками при перевезенні небезпечних вантажів різних класів. *Людина, суспільство, комунікативні технології*: тези VII Міжнар. наук.-практ. конф. (Харків-Лиман, 26-27 черв. 2019 р.) Харків-Лиман: УкрДУЗТ, 2019 С. 248-249.

20. Панченко С. В., Лаврухін О.В., Кульова Д.О. Формалізація процедури визначення основних параметрів оцінювання наслідків аварійних ситуацій з небезпечними вантажами. *Сучасні інноваційні та інформаційні технології в перевезенні небезпечних вантажів*: тези 2-ї Міжнар. наук.-практ. конф. (Харків, 14-15 лист. 2019 р.) Харків: УкрДУЗТ, 2019. С. 6-7.

***Додаткові праці, які відображають результати дисертації:***

21. Lavrukhin O., Kravets A., Parkhomenko L., Kulova D., Panchenko A., Ivaskovska N. Improving the Quality of Railway Operation to Extend the Services of Transportation of Cargo of Small Volume. *Lecture Notes in Intelligent Transportation and Infrastructure*. 2020. Vol. 1. P. 35-43. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-39688-6\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-030-39688-6_6)

***Відомості про апробацію результатів дисертації:***

1. Двадцять дев'ятій Міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті» (Черноморськ, 27-29 вересня 2016р.);

2. Дванадцятій Всеукраїнській науково-практичній конференції «Актуальні проблеми сучасного управління в соціально-економічних, технічних та гуманітарних системах» (Севєродонецьк, 24-26 листопада 2016р.);

3. X Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні інформаційні і комунікаційні технології на транспорті, в промисловості та освіти» (Дніпро, 14-15 грудня 2016 р.);

4. 79-тій Міжнародній науково-технічній конференції «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті» (Харків, 25-27 квітня 2017 р.);
5. VII Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми розвитку транспорту і логістики» (Сєверодонецьк-Одеса, 26-28 квітня 2017 р.);
6. V Міжнародній науково-практичній конференції «Людина, суспільство, комунікативні технології» (Харків-Лиман, 22-23 вересня 2017 р.);
7. 1й Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні інноваційні та інформаційні технології в перевезенні небезпечних вантажів» (Харків, 16-17 листопада 2017 р.);
8. 80-тій Міжнародній науково-технічній конференції «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті» (Харків, 24-26 квітня 2018 р.);
9. Міжнародній науково-технічній конференції «Технології та інфраструктура транспорту» (Харків, 14-16 травня 2018 р.);
10. VI Міжнародній науково-практичній конференції «Людина, суспільство, комунікативні технології» (Харків-Лиман, 14-15 вересня 2018 р.);
11. International scientific and practical conference «Globalization of scientific and educational space innovations of transport. Problems, experience, prospets.» (Salou (Spain), 4-11 May 2019);
12. 15й науково-практичній міжнародній конференції «Міжнародна транспортна інфраструктура, індустриальні центри та корпоративна логістика» (6-8 червня 2019);
13. VI Міжнародній науково-практичній інтернет конференції «Сучасний рух науки»;
14. VII Міжнародній науково-практичній конференції «Людина, суспільство, комунікативні технології» (Харків-Лиман, 26-27 черв. 2019 р.);
15. 2й Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні інформаційні та інноваційні технології в перевезенні небезпечних вантажів» (Харків, 14-15 лист. 2019 р.).

## ДОДАТОК Б

## Акти впровадження результатів дисертаційної роботи

Основні результати і розроблені наукові підходи до формування автоматизованої технології перевезення НВ застосовано та впроваджено на регіональній філії «Донецька залізниця» АТ «Укрзалізниця», на «Дирекції залізничних перевезень з організації взаємодії портів та припортових станцій» регіональної філії «Одеська залізниця» АТ «Укрзалізниця», а також у навчальний процес навчально-наукового центру спеціального навчання працівників суб'єктів перевезення небезпечних вантажів та навчально-наукового центру підвищення кваліфікації інституту перепідготовки та підвищення кваліфікації кадрів Українського державного університету залізничного транспорту.



**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ**

пр. Центральний, 59А, м. Северодонецьк, Луганська обл., 93406  
тел./факс: (06452) 4-03-42, <http://www.snu.edu.ua/>, e-mail: [uni.snu.edu@gmail.com](mailto:uni.snu.edu@gmail.com)  
код ЄДРПОУ 02070714

21.11.2016р № 1525/35

№ \_\_\_\_\_ від \_\_\_\_\_



**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**О.В. Поркуян**  
Ректор Східноукраїнського  
національного університету  
імені Володимира Даля

**АКТ**

**про впровадження результатів науково-дослідної роботи  
Кульової Дар'ї Олександрівни та Лаврухіна Олександра Валерійовича**

Акт складено про те, що при написанні рекомендацій XII Всеукраїнської науково-практичної конференції «Актуальні проблеми сучасного управління в соціально-економічних, технічних та гуманітарних системах», що була проведена Одеським інститутом Міжрегіональної Академії управління персоналом та Східноукраїнським національним університетом імені Володимира Даля, 24-26 листопада 2016 року, використані пропозиції **Кульової Д.О. та Лаврухіна О.В.**

Наукові розробки **Кульової Д.О. та Лаврухіна О.В.** «Обґрунтування доцільності формування інтелектуальної технології оперативного супроводження процесу перевезення небезпечних вантажів» зазначені у Звіті науково-практичної конференції «Актуальні проблеми сучасного управління в соціально-економічних, технічних та гуманітарних системах».

Співголова організаційного  
комітету конференції від  
Східноукраїнського національного  
університету імені Володимира Даля,  
д.т.н., професор

Н.Б. Чернецька-Білецька



ЗАТВЕРДЖУЮ:

Начальник "Дирекції залізничних перевезень з організації взаємодії портів та припортових станцій" регіональної філії "Одеська залізниця" АТ "Укрзалізниця"

А. М. Киман

" 10 " лютого 2020

## АКТ

Впровадження ризик-орієнтованої технології формування поїздопотоків з небезпечними вантажами різних класів на "Дирекції залізничних перевезень з організації взаємодії портів та припортових станцій" регіональної філії "Одеська залізниця" АТ "Укрзалізниця", розробленої в УкрДУЗТ аспірантом Д. О. Кульовою під керівництвом професора Лаврухіна О. В.

В лютому – липні 2020 на "Дирекції залізничних перевезень з організації взаємодії портів та припортових станцій" регіональної філії "Одеська залізниця" АТ "Укрзалізниця" апробовано розроблену ризик-орієнтовану технологію раціональної композиції поїздопотоків з небезпечними вантажами різних класів. Завдяки реалізації розробленої і впровадженої технології отримано науково-практичний результат та зроблені наступні висновки:

- Сформовано технологію на основі ризик-орієнтованої моделі раціональної композиції поїзду з небезпечними вантажами різних класів. Використання технології дозволяє диспетчерському персоналу сформувати "безпечний" склад поїзду, який максимально виключає небезпечні сумісні розташування вагонів з небезпечними вантажами різних класів небезпеки. Дана технологія при формуванні поїзда враховує наявність, кількість та класи небезпеки вагонів з небезпечними вантажами; кількість вагонів зі звичайними вантажами та порожніх вагонів для прикриття локомотива від вагонів з небезпечними вантажами та для розділення вагонів різних класів небезпеки.
- Оперативний персонал станції при формуванні "безпечного" поїзду буде отримувати рекомендації на основі інформації про місцезнаходження вагонів, які вже очікують в сортувальному парку, вагонів, які знаходяться в парку прийому в складі поїздів, що чекають на розформування та поїздів, які ще не прибули на станцію, але інформація про їх прибуття вже відома. Сформована технологія дозволяє планувати роботу станції по формуванню поїздів на 24 години наперед.



- Сформовано підхід вибору раціонального маршруту прямування вантажного поїзду з небезпечними вантажами несумісних класів. Даний підхід дозволяє оперативному персоналу дирекції в оперативному режимі обирати маршрут прямування поїзду в залежності від наступних параметрів: кількість вагонів з небезпечних вантажів різних класів, час доби, сезонний фактор, нерівномірність по дням тижня, тощо.

Перший заступник  
начальника "Дирекції залізничних  
перевезень з організації взаємодії  
портів та припортових станцій"  
регіональної філії "Одеська залізниця"  
АТ "Укрзалізниця"



Котелін В. О.

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Начальник Регіонального центру  
управління перевезеннями

регіональної філії «Донецька залізниця»

АТ «Укрзалізниця»

А. О. Горбатенко

2020



## АКТ

Впровадження технології управління поїздопотоками з небезпечними вантажами різних класів на дирекціях залізничних перевезень регіональної філії «Донецька залізниця» АТ «Укрзалізниця», розробленої в УкрДУЗТ аспірантом Д. О. Кульовою під керівництвом професора Лаврухіна О. В.

В січні – липні 2020 на регіональній філії «Донецька залізниця» АТ «Укрзалізниця» апробовано розроблену технологію активного моніторингу та динамічного коригування поїздопотоків з небезпечними вантажами різних класів в межах полігонів дирекцій залізничних перевезень.

Завдяки реалізації розробленої і впровадженої технології отримано науково-практичний результат та зроблені наступні висновки:

- сформовано підхід щодо динамічного опису поїзних станів в реальному режимі часу на основі модифікації мови поїзних ситуацій у вигляді абстрактного моделювання оперативних процесів. Даний підхід дозволяє поїзному диспетчеру в оперативних умовах враховувати та мінімізувати кількість схрещень поїздів з небезпечними вантажами на перегонах та станціях, схрещень поїздів з небезпечними вантажами з пасажирськими (виключить можливість пропуску одночасно, на зустріч один одному на двоколіїних ділянках), швидкісними та поїздами підвищеної ваги, довжини і негабаритними вантажами. Оперативний персонал буде отримувати вказівки, який поїзд необхідно пропустити, прийняти та відправити в першу чергу, на які колії приймати з узгодженням з графіком руху та планом формування поїздів.
- сформовані продукційні правила покладені в основу модуля інтерпретації та консультування системи диспетчерського управління видає диспетчерському персоналу готове управлінське стратегічне рішення до негайного перетворення в реальний поїзний стан.

Перший заступник  
начальника Регіонального центру  
управління перевезеннями  
регіональної філії «Донецька залізниця»  
АТ «Укрзалізниця»

С. О. Масалов

**ЗАТВЕРДЖУЮ:**

Проректор з науково-педагогічної роботи  
Українського державного університету  
залізничного транспорту

**АКТ**

**про впровадження результатів  
дисертаційної роботи Кульової Дар'ї Олександрівни  
у навчальному процесі  
навчально-наукового центру спеціального навчання  
працівників суб'єктів перевезення небезпечних вантажів  
Українського державного університету залізничного транспорту**

До основних результатів дисертаційної роботи Кульової Д. О., що використовуються у навчальному процесі Українського державного університету залізничного транспорту, належать:

- ризик-орієнтована технологія формування найбільш безпечного складу поїзда з небезпечними вантажами різних класів з елементами штучного інтелекту, яка дозволяє досягти компромісу між мінімізацією ризиків при розміщенні поряд один з одним несумісних класів небезпечних вантажів та мінімізацією експлуатаційних витрат на формування таких поїздопотоків;



– інтелектуальна продукційна система перевезення небезпечних вантажів різних класів, в основу роботи якої покладені динамічні продукційні правила, що описують логіку організації перевізного процесу на залізничних ділянках. Система дозволяє оперативним працівникам станцій керувати перевізним процесом в постійно мінливих умовах роботи, в умовах технічних та технологічних збоїв, при цьому забезпечує високий рівень безпеки перевізного процесу на всіх етапах транспортування небезпечних вантажів за рахунок автоматизації та інтелектуалізації робочих місць диспетчерського персоналу.

Дані розробки з 2018 року по теперешній час використовуються при проведенні занять для слухачів у групах центру спеціального навчання працівників суб'єктів перевезення небезпечних вантажів та слухачів навчально-наукового центру підвищення кваліфікації інституту перепідготовки та підвищення кваліфікації кадрів.

Директор навчально-наукового  
центру спеціального навчання  
працівників суб'єктів перевезення  
небезпечних вантажів



Д. С. Козодой