МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАУКИ І ТЕХНОЛОГІЙ

Кваліфікаційна наукова праця

на правах рукопису

Калимбет Микола Володимирович

УДК 504.6:656.(043.3)

ДИСЕРТАЦІЯ

РОЗРОБКА НОВИХ РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧИХ ТА ЕКОЛОГІЧНО ЧИСТИХ ТЕХНОЛОГІЙ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Спеціальність 275 – транспортні технології (за видами)
Галузь знань 27 – Транспорт

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії
(PhD)

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

_____М. В. Калимбет

Науковий керівник Зеленько Юлія Володимирівна,
доктор технічних наук, професор

Дніпро – 2023

Голова разової спеціалізованої вченої ради
ДФ 08.084.028, д.т.н., професор
Дмитро Кваченко, 11.10.2023

АНОТАЦІЯ

Калимбет М. В. Розробка нових ресурсозберігаючих та екологічно чистих технологій експлуатації залізничного транспорту. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 275 – транспортні технології (за видами) (Галузь знань 27 – Транспорт). – Український державний університет науки і технологій, Дніпро, 2023.

Дисертаційна робота присвячена підвищенню ефективності роботи суб'єктів перевезення небезпечних вантажів та безпеки експлуатації залізничного транспорту шляхом вдосконалення системи запобігання аварійним ситуаціям та ліквідації їх наслідків.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у вирішенні науково-прикладного завдання підвищення безпеки експлуатації залізничного транспорту та ефективності взаємодії суб'єктів перевезення небезпечних вантажів шляхом удосконалення процедури реагування на аварійні ситуації та мінімізації їх негативних наслідків.

У дисертаційному дослідженні вперше:

— на базі методів порівняльної типології, експертних оцінок та системного аналізу для конкретного маршруту визначено показники ризику комплексної дії негативних факторів аварійних ситуацій під час транспортування небезпечних вантажів та характеристика їх просторового розподілу, що дозволяє моделювати розвиток аварійних сценаріїв та спрощує процедуру ідентифікації найбільш впливових чинників;

— здобуто кінетичні залежності процесу сорбції рідких фракцій НВ за допомогою розробленого універсального сорбційного полотна («USS») на базі карбонізату, який вирізняється високими показниками сорбції (до 92 %) та економічністю (за рахунок повторного використання), що

дозволяє мінімізувати втрати вантажу та визначати оптимальні дози сорбенту для ліквідації наслідків аварійних емісій.

Удосконалено:

— метод виготовлення універсального сорбційного полотна на базі карбонізату для ліквідації аварійних емісій небезпечних вантажів, що вирізняється енергоефективністю за рахунок оптимізації температурного режиму карбонізації та ресурсозбереженням завдяки використанню як сировини відходів рослинного походження

Здобула подальший розвиток:

— функціональна модель управління ліквідацією наслідків аварійної ситуації на залізничному транспорті, що містить алгоритм залучення допоміжних ліквідаційних формувань, забезпечує оперативне реагування на позаштатні ситуації, спрощує процедуру прийняття управлінських рішень та мінімізує негативні наслідки аварійних емісій.

Практичне значення здобутих результатів полягає в розробці рекомендацій щодо удосконалення взаємодії суб'єктів перевезення небезпечних вантажів залізничним транспортом з метою запобігання ризикам аварій та розробці технології виготовлення й використання сорбційних матеріалів «USS» для локалізації та ліквідації аварійних розливів, що дозволить спростити процедуру, скоротити час, забезпечить економічність, ресурсозбереження та мінімізацію екологічних наслідків, а саме:

— з використанням системного підходу сформовано та проаналізовано модель життєвого циклу небезпечного вантажу на різних стадіях його транспортування, що дозволило визначити пріоритетні напрямки удосконалення процедури прийняття управлінських рішень;

— запропоновано використання універсального сорбційного полотна «USS» для стадії локалізації та ліквідації аварійних розливів на залізничному транспорті та розроблено технології його виготовлення й застосування;

— на базі аналітичних та графічних залежностей показників динамічної завантаженості комбінованих вагонів-хоперів доведено можливість

перевезення сорбційних матеріалів («USS») у складі вантажного потяга як вагонів-прикриттів та отримано їхні оптимальні кількісні параметри.

У дисертаційній роботі вирішено важливі наукові та практичні завдання, спрямовані на удосконалення ефективності роботи суб'єктів перевезення НВ та підвищення безпеки експлуатації залізничного транспорту; розроблено специфічні рекомендації з мінімізації негативних наслідків аварій на базі системного аналізу й оцінки ризиків виникнення аварійної ситуації, що полягають у виявленні можливих причин та факторів виникнення аварійних ситуацій під час перевезення НВ залізничним транспортом; запропоновано пропозиції щодо удосконалення методу локалізації та ліквідації емісій небезпечних речовин з використанням універсального сорбційного полотна («USS»); описано стандартизовані методики виконання експериментів. Дослідження адсорбційних характеристик запропонованого «USS» для різних модельних розчинів (бензин А-95, 25 % розчин аміачної води та 15 % розчин перекису водню) підтверджує його універсальність та ефективність: ступінь очищення сягає 92 %. Запропоновано використання окремих типів вагонів (комбіновані вагони моделей 19-795 та 19-795-01) для перевезення «USS» у складі вантажного потяга, що забезпечить зручний доступ до ліквідаційних матеріалів та зменшить витрати часу на ліквідаційні заходи за рахунок швидкого розгортання засобів ліквідації (впродовж 30–35 хв). Надано рекомендації щодо регенерації та повторного використання відпрацьованого полотна «USS». Регенерація відпрацьованого «USS» здійснюється із застосуванням механічного та термічного методів.

Робота присвячена дослідженню процесу транспортування небезпечного вантажу (НВ) з урахуванням ризиків виникнення аварійних ситуацій, що несуть загрозу життю людей та шкоду довкіллю.

Дисертаційна робота складається із вступу та чотирьох розділів.

У вступі наведено загальну характеристику роботи та обґрунтування актуальності теми дисертації, сформульовано мету та завдання досліджень;

описано наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, інформацію про апробацію роботи.

У першому розділі: виконано аналіз динаміки перевезень вантажів різними видами транспорту; зроблено огляд сучасного стану перевезення небезпечних вантажів; проаналізовано кількість аварійних ситуації на залізничному транспорті, динаміку кількості транспортних подій щодо обсягу перевезень за 2011–2021 роки; здійснено критичний аналіз нормативної документації та наукових досліджень у відповідній галузі. Аналіз стану наукових досліджень із питань запобігання аварійними ситуаціям та ліквідації їх наслідків під час перевезення небезпечних вантажів залізничним транспортом.

У другому розділі описано методики для отримання універсального сорбенту, що входить до складу універсального сорбційного полотна («USS») та досліджено його кількісні та якісні показники.

Третій розділ присвячений аналізу ризику виникнення аварійної ситуації під час перевезення небезпечних вантажів залізничним транспортом, виявленню прямих та прихованих пріоритетів для надання відповідних рекомендації щодо зменшення ризику її настання.

У четвертому розділі описано процедуру виконання аналізу наслідків аварійних ситуацій з небезпечними вантажами під час їх перевезення залізничним транспортом для визначення порядку їх ліквідації; зроблено оцінювання результативності дій ліквідаційних підрозділів та їхніх оперативних з’єднань щодо відновлення безпечного стану й належного рівня екологічної безпеки залізничної транспортної системи; розглянуто різні схеми організації аварійно-відновлювальних робіт; зроблено оцінку впливу вагона-прикритя з «USS» на загальні та динамічні характеристики поїзда, а також надано рекомендації стосовно регенерації чи утилізації «USS».

Ключові слова: транспортні системи та технології, підвищення безпеки експлуатації, експертна оцінка, системний аналіз, показник ризику, система «відправник – перевізник – одержувач», відновлення пропускної

спроможності поїздів, екологічні технології, небезпечні вантажі, локалізація аварій, ліквідація аварій, карбонізація, універсальне сорбційне полотно, динамічні характеристики вагона-хопера.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Основні праці

Статті що входять до наукометричних баз Scopus та Web of Science:

1. Zelenko Y., **Calimbet N**. Improving a method for eliminating the spill of hazardous substances byusing «Universal Absorbent Cloth». *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2022. 4(10(118)). P. 30-37. DOI: https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.263583 (in English)

Включені до фахових видань, затверджених МОН України:

2. Зеленько Ю. В., **Калимбет М. В.**, Фесенко Д. В. Впровадження заходів щодо ліквідації наслідків аварій при перевезенні небезпечних вантажів. *Транспортні системи та технології перевезень* : зб. наук. пр. Дніпров. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. Дніпро : Вид-во Дніпров. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2020. Вип. 20. С. 20–26. Режим доступу: http://tstt.diit.edu.ua/article/view/217394/pdf_198.

3. Зеленько Ю. В., **Калимбет М. В.** Виготовлення сорбційного полотна з композитних матеріалів як засіб для ліквідації розливів небезпечних речовин на траспорті. *Транспортні системи і технології* : зб. наук. пр. ДУІТ, 2021. Вип. 38. С. 24-35

4. Зеленько Ю. В., **Калимбет М. В.** Розробка рекомендацій щодо підвищення ефективності взаємодії складових системи «відправник – перевізник – одержувач». *Наука та прогрес транспорту*. 2022. 2(98). С. 5–16. https://doi.org/10.15802/stp2022/267937.

праці апробаційного характеру

- які засвідчують апробацію матеріалів дисертації на наукових конференціях та семінарах:

5. **Калимбет М. В.,** Зеленько Ю. В. Впровадження концепції щодо екологічно чистих та ресурсозберігаючих технологій експлуатації залізничного транспорту. *Матеріали VI Всеукр. науково-техн. конф. студентів, аспірантів і молодих вчених* (Дніпро, 2018 року). Дніпро : НТУ «Дніпровська політехніка», 2018. Т. 10. С. 13-14.

6. **Калимбет М. В.,** Зеленько Ю. В. Концепції щодо впровадження екологічно чистих та ресурсозберігаючих технологій експлуатації залізничного транспорту. *Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту* : матеріали 79-ї Міжнароної науково-практ. конф. (Дніпро, 16-17 травня 2019 р.) / Дніпров. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. Дніпро : Вид-во Дніпров. нац . ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2019. С. 299–301.

7. Зеленько Ю. В., **Калимбет М. В**. Розробка рекомендацій щодо ліквідації наслідків аварій при перевезенні небезпечних вантажів залізничним транспортом. *Молодь: наука та інновації* : матеріали VIII Всеукр. науково-техн. конф. студентів, аспірантів і молодих вчених (Дніпро, 25 листопада – 27 листопада 2020 року). Дніпро : НТУ «Дніпровська політехніка», 2020. Т. 10. С. 69-71.

8. Зеленько Ю. В., **Калимбет М. В**. Рекомендації щодо ліквідації наслідків аварій при перевезенні небезпечних вантажів залізничним транспортом. *Матеріали Міжнародної конф. «Екологічна безпека – сучасні напрямки та перспективи вищої освіти»* (Харків, 25 лютого 2021 року). Харків, 2021. С.61-63.

9. Зеленько Ю. В., **Калимбет М. В**. Ліквідація наслідків аварій при перевезенні небезпечних вантажів залізничним транспортом. *Матеріали V Всеукр. пленеру з питань природничих наук*. (Одеса, 1-2 липня 2021 р.). Одеса : ОДЕКУ, 2021. 35-37 с.

10. **Калимбет М. В.** Впровадження заходів щодо ліквідації наслідків аварій при перевезенні небезпечних вантажів. *Безпека життєдіяльності в XXI столітті* : тез. доп. XVI Міжвузівської студентської науково-практ. конф. (16-17 квітня 2020). Дніпро : ПДАБА, 2020. С. 14.

які додатково відображають результати дисертації

-патент на корисну модель

11. **Калимбет М. В.** Універсальне сорбційне полотно для очистки різноманітних поверхонь від нафтопродуктів. Патент України на корисну модель U 2021 03033, 2022р.

ABSTRACT

Kalymbet M. V. Development of new resource-saving and environmentally friendly technologies for the operation of railway transport. – Qualifying scientific work as a manuscript.

Dissertation for the Doctor of Philosophy degree in specialty 275 – Transport technologies (by types). State University of Science and Technology of Ukraine, Dnipro, 2023.

The dissertation work is devoted to increasing the efficiency of the subjects of the transportation of dangerous goods (DG) and the safety of the operation of railway transport in case of emergency situations during their transportation, as well as the localization and liquidation of their emergency spills.

The efficiency of the work of all subjects of the transportation of dangerous goods is characterized by the coordinated work of all participants in the "sender-carrier-recipient" system. Strict compliance with the transportation procedure (Requirements, rules, regulations and maintenance of the DG), which is regulated by the Ministry of Infrastructure, will prevent the occurrence of an emergency situation during the transportation of dangerous goods by rail transport. Professional maintenance and support of DG by full-time employees for all participants of the "sender-carrier-recipient" system, which has the appropriate certificates, allows not only to prevent the occurrence of an emergency situation, but also to immediately start localization and liquidation measures to eliminate the consequences of an emergency spill of a hazardous cargo emission.

To date, there are several problems regarding the training of certified specialists with the cooperation of Special Training Centers and joint stock company "Ukrzaliznytsia":

- lack of motivation in successful training among infrastructure workers;

- a complex schedule of working hours and a tight schedule of special training;

- low staffing, associated with a difficult economic situation;

- insufficient level of education by profession;

- non-compliance of the student with age requirements (training of workers of pre-retirement and retirement age);

- lack of provision of special training places with the appropriate number of regulatory documents and manuals, in particular in the case of special training on lines;

- imperfect personnel due to low wages;

- an imperfect procedure for selecting employees for special training.

Another problem is the morally outdated equipment for carrying out emergency reconstruction, localization and liquidation works. From available sources it is known that the main production assets of joint stock company "Ukrzaliznytsia" are worn out by more than 90%, in particular, this applies to emergency and repair and fire trains and parts that work on them. In fact, you have to work on outdated equipment. Therefore, the question arises of developing means and methods of localization and liquidation of the consequences of accidental spills of hazardous substances (HS) using innovative materials and logistical solutions.

In the dissertation work, important scientific and practical tasks are solved, aimed at the development and improvement of the efficiency of the work of the subjects of the transportation of dangerous goods and improving the safety of the operation of railway transport; specific recommendations for minimizing the negative consequences of accidents have been developed on the basis of a system analysis and assessment of the risks of an emergency situation, which consists in identifying possible causes and factors of the occurrence of emergency situations during the transportation of dangerous goods by railway transport; proposals for improving the method of localization and elimination of emissions of hazardous substances using the "Universal sorption sheet" ("USS"); standardized methods of conducting experiments are described. The adsorption characteristics of the proposed "USS" were studied using different model solutions (Gasoline A-95, 25% solution of ammonia water and 15% solution of hydrogen peroxide), confirming its versatility and efficiency, the degree of purification reaches 92%; the use of certain

types of wagons is proposed (combined wagons models 19-795 and 19-795-01) for the transportation of "USS" as part of a freight train, which will provide convenient access to liquidation materials and reduce the time spent on liquidation measures due to the rapid deployment of liquidation means to 30-35 minutes. Recommendations for the regeneration and reuse of used "USS" fabric are provided. Regeneration of used "USS" is carried out using mechanical and thermal methods.

The following objects of research are considered in the work: the process of transportation of dangerous goods (DG) taking into account the risks of emergency situations that pose a threat to human life and the environment.

The dissertation consists of an introduction and four chapters.

In the introduction, the general characteristics of the work and justification of the relevance of the dissertation topic are given, the purpose and tasks of the research are formulated; provided scientific novelty and practical significance of the obtained results, information about the approbation of the work.

In the first section, an analysis of the dynamics of cargo transportation by various modes of transport was carried out; an overview of the current state of transportation of dangerous goods was made; an analysis of the number of emergency situations in railway transport was carried out; the dynamics of the number of transport events in relation to the volume of transport for the years 2011-2021 were analyzed; a critical analysis of regulatory documentation and scientific research in the field of risk assessment of emergency situations, safe transportation of dangerous goods, localization and liquidation of emergency consequences in Ukraine and abroad was carried out.

In the second section, methods for obtaining a universal sorbent, which is part of the "universal sorption sheet" ("USS"), are described and its quantitative and qualitative indicators are investigated.

The third section is dedicated to the analysis of the risk of an emergency situation during the transportation of dangerous goods by rail transport, the

identification of direct and hidden priorities for the provision of appropriate recommendations for reducing the risk of their occurrence.

The fourth chapter describes the analysis of the consequences of emergency situations with dangerous goods during their transportation by rail transport to determine the procedure for their elimination; an assessment of the effectiveness of the actions of the liquidation units and their operational units in restoring the safe state and appropriate level of environmental safety of the railway transport system was made; various schemes for the organization of emergency and restoration work were considered; an assessment of the impact of the cover car with "USS" on the general and dynamic characteristics of the train was made, as well as recommendations were made regarding the regeneration or disposal of "USS".

Keywords: transport systems and technologies, improvement of operational safety, expert assessment, system analysis, risk indicator, system “sender – carrier – recipient”, restoration of trains capacity, environmental technologies, dangerous goods, accident localization, accident elimination, carbonization, universal sorption canvas, dynamic characteristics of the hopper wagon.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ…….
ВСТУП…….. 17
1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ПЕРЕВЕЗЕННЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ ВАНТАЖІВ ЗАЛІЗНИЧНИМ ТРАНСПОРТОМ ТА ФУНКЦІОНУВАННЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ ЯК СИСТЕМИ ВЗАЄМОДІЇ З ДОВКІЛЛЯМ ……. 23
1.1. Особливості взаємодії елементів системи «Транспорт-довкілля»……. 23
1.2 Відмінність понять та визначень небезпечних вантажів та небезпечних речовин……. 29
1.3. Особливості класифікації небезпечних вантажів…… 31
1.4. Огляд сучасного стану перевезень небезпечних вантажів ……. 32
1.5. Аналіз статистичних даних про кількість аварійних ситуацій під час перевезення небезпечних вантажів та встановлення причини виникнення залізничних аварійних ситуацій …… 39
1.6 Сучасні методи та підходи до організації перевезення небезпечних вантажів залізничним транспортом ……. 47
1.7 Аналіз стану наукових досліджень у сфері запобігання аварійним ситуаціям та ліквідації їх наслідків під час перевезення небезпечних вантажів залізничним транспортом ……. 50
Висновки до 1 розділу……. 60
2. УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМ ЛІКВІДАЦІЇ АВАРІЙ ТА РОЗРОБКА УНІВЕРСАЛЬНОГО СОРБЕНТУ ЯК ЗАСОБУ МІНІМІЗАЦІЇ НАСЛІДКІВ АВАРІЙНИХ СИТУАЦІЙ ПІД ЧАС ПЕРЕВЕЗЕННЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ РЕЧОВИН …….. 63
2.1 Принципи формування сучасних систем для ліквідації аварій…….. 64
2.2 Концепція розробки сорбційних матеріалів для ліквідації наслідків аварій під час перевезення небезпечних вантажів…..…… 69
2.3 Аналіз сировини для виготовлення універсального сорбенту ……. 80
2.4 Технологія виготовлення універсального сорбенту та загальна

постановка експерименту (методи та матеріали)……..…….. 82
2.4.1Технологія виготовлення універсального сорбенту…… 82
2.4.2 Загальна постановка експерименту (методи та матеріали)…….. 85
2.5 Визначення якісних та кількісних показників розробленого адсорбенту… 88
2.5.1. Результати дослідження якісних показників процесу карбонізації сировини для виготовлення сорбенту……. 91
2.5.2. Аналіз ефективності використання сорбенту на основі рослинних відходів для ліквідації наслідків аварій з небезпечними вантажами класів небезпеки 3, 5.1, 5.2, 8……. 92
Висновки до 2 розділу……. 97
3. ІДЕНТИФІКАЦІЯ ТА АНАЛІЗ ФАКТОРІВ ВИНИКНЕННЯ АВАРІЙНИХ СИТУАЦІЙ ПІД ЧАС ПЕРЕВЕЗЕННЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ ВАНТАЖІВ ЗАЛІЗНИЧНИМ ТРАНСПОРТОМ …….. 99
3.1 Модельна оцінка ризику виникнення аварії по залізничній станції Воскобійня Дніпропетровської області …….. 99
3.2 Оцінка потенційних ризиків перевезення та зберігання небезпечного вантажу un 1511 в умовах населеного пункту …… 101
Висновки до 3 розділу…… 118
4. МОДЕЛЮВАННЯ СХЕМ ОРГАНІЗАЦІЇ АВАРІЙНО-ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ РОБІТ, ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЛІКВІДАЦІЙНИХ ДІЙ ПІДРОЗДІЛІВ ТА ЇХНІХ ОПЕРАТИВНИХ ФОРМУВАНЬ …… 120
4.1. Аналіз наслідків аварійних ситуацій з небезпечними вантажами під час їх перевезення залізничним транспортом для визначення порядку їх ліквідації …….. 121
4.2. Оцінка ефективності дій розрахункових одиниць та їх оперативних зв'язків щодо відновлення безпечного стану та належного рівня екологічної безпеки залізничної транспортної системи ……. 129
4.3. Моделювання схем організації аварійно-відновлювальних робіт, вибір найкращої моделі та її обґрунтування ……..…… 134

4.4. Оцінка впливу вагона-прикриття на загальні та динамічні характеристики поїзда…… 142
4.5 Кінетичні залежності процесу сорбції рідких фракцій НВ розробленим універсальним сорбційним полотном («USS»)…… 145
4.6 Регенерація та утилізація універсального сорбційного полотна («USS»)… 147
Висновки до 4 розділу…….. 148
ВИСНОВКИ…… 150
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ……. 155
ДОДАТОК А 165
ДОДАТОК Б 166
ДОДАТОК В 171
ДОДАТОГ Г 174

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АТ «Укрзалізниця» – Акціонерне товариство «Українська залізниця»;

ВМ – вибухові матеріали;

ВП – аварійно-відновлювальні поїзди;

ДСНС – Державна служба з надзвичайних ситуацій

ЄС – Європейський Союз;

ЛЗР – легкозаймисті речовини;

МВС – Міністерство внутрішніх справ;

НВ – небезпечний вантаж;

НП – нафтопродукти;

НС – надзвичайна ситуація;

НР – небезпечні речовини;

ООН – Організація Об’єднаних Націй;

ПП – пожежний поїзд;

ПТЕ – правила технічної експлуатації;

ТЕЦ – теплова електростанція;

ШР – шкідливі речовини;

«USS» – універсальне сорбційне полотно.

ВСТУП

Актуальність теми дисертаційної роботи. У багатьох країнах світу, зокрема й державах ЄС, зростає розуміння важливості розв’язання глобальних проблем транспортних комплексів. Насамперед це пов'язано з вимогами підвищення безпеки та ефективності перевезень, зі зростанням мобільності суспільства, необхідністю зменшення впливу транспорту на довкілля та іншими чинниками.

Останнім часом спостерігається значне посилення технічних норм і екологічних вимог до безпеки процесів перевезень небезпечних вантажів усіма видами транспорту. Це безпосередньо пов'язано з екологічними наслідками можливих аварійних або технологічних розливів небезпечних вантажів внаслідок порушення регламенту їх перевезення.

За певних умов під час аварійних розливів у разі перевезення небезпечних вантажів (кислоти, луги, нафтопродукти та їхні похідні) залізничним транспортом може траплятися їх потрапляння в ґрунт, де відбуваються процеси міграції та геофільтрації. Крім того, деякі рідкі небезпечні вантажі, такі як карбамідо-аміачна суміш (КАС), можуть посилювати пожежу та навіть спричиняти вибух, що надалі може призвести до катастрофічних наслідків для людини й довкілля. Розлиті небезпечні речовини (НР) у разі потрапляння в ґрунтові води можуть погіршувати якість питної води в прилеглих населених пунктах. У деяких випадках питна вода централізованого водопостачання може стати навіть непридатною для вживання населенням. Також забруднення ґрунтових вод може бути побічним фактором зниження родючості ґрунтів та погіршення якості сільськогосподарської продукції, що також становить загрозу для безпеки життєдіяльності. При цьому, враховуючи весь ланцюжок негативних наслідків, на залізничний транспорт покладається значна відповідальність у сфері організації безпеки перевізного процесу, що пов’язано з широкою номенклатурою небезпечних вантажів та особливостями експлуатаційного

процесу. Потрібно зауважити, що в сучасних умовах найбільш пріоритетним питанням має стати чітка, скоординована та взаємопов’язана робота і відповідальність у системі «відправник – перевізник – одержувач».

Через швидкий розвиток мобільності суспільства заходи щодо убезпечення процесів перевезень небезпечних вантажів усіма видами транспорту, на жаль, розвиваються недостатньо. Іноді дуже складно аналізувати причини й наслідки виникнення аварійної ситуації. Отже, розробка рекомендацій щодо підвищення ефективності взаємодії в системі «відправник – перевізник – одержувач» є актуальним завданням.

Основою управління силами під час ліквідування наслідків аварійних ситуацій на залізничному транспорті є рішення керівника відповідного оперативного штабу. Управління цими силами здійснюється в умовах ризику та невизначеності, які зумовлені неповнотою інформації про стан рухомого складу та об’єктів залізничної інфраструктури у аварійній ситуації, розвиток небезпечних чинників аварійної ситуації, їхній негативний вплив на довкілля і людей, а також дефіциту часу, необхідного для зменшення такого впливу та відновлення руху поїздів у найкоротший термін.

Таким чином, виникає організаційна суперечність. З одного боку, для прийняття принципового та обґрунтованого рішення щодо реагування на позаштатну ситуацію начальнику оперативного штабу необхідно оцінити та осмислити великий обсяг інформації про обставини виникнення ситуації, розробити та оцінити варіанти рішень і вибрати найбільш прийнятний з них. З іншого боку, щоб скоротити загальний час ухвалення рішення щодо необхідності реагування на таку ситуацію, потрібна ефективна система управління з можливостями активації збору та обробки інформації про позаштатну ситуацію, розташування, прогноз розвитку її побічних ефектів.

З огляду на вказане вище, виникає науково-прикладне завдання вдосконалення процедури реагування на аварійні ситуації під час перевезення небезпечних вантажів залізничним транспортом з метою

зниження шкідливого впливу негативних факторів на навколишнє середовище та життя людини.

Значна увага, яка наразі приділяється обґрунтуванню основ оцінювання техногенного ризику, розробці надійних можливостей та методів управління екологічною безпекою, що передбачає аналіз різних виробничих об'єктів, матеріалів і небезпечних продуктів, на сьогодні має велике значення.

Саме тому наукова проблематика пошуку нових рішень для підвищення рівня безпеки, мінімізації негативних наслідків, забезпечення екологічності та економічності на транспорті, а також ефективності роботи відповідних підрозділів у разі виникнення аварійних ситуацій під час перевезень небезпечних вантажів є актуальною.

Зв’язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана відповідно до пріоритетних напрямків розвитку залізничної галузі, що визначені Національною транспортною стратегією України на період 2030 року (Розпорядження Кабінету Міністрів України від 30 травня 2018 р. № 430-р), Стратегією «АТ» Українська залізниця на 2019-2023 роки, а також пов’язана з науково-дослідними роботами, що виконуються в Українському державному університеті науки і технологій.

Мета та завдання дослідження. Метою дисертаційного дослідження є підвищення ефективності роботи суб’єктів перевезення небезпечних вантажів та безпеки експлуатації залізничного транспорту шляхом вдосконалення системи запобігання та ліквідації аварійних ситуацій.

Досягнення поставленої мети передбачало розв’язання таких завдань:

- виконати аналіз сучасного стану перевезення небезпечних вантажів та функціонування залізничного транспорту як системи взаємодії з довкіллям;

- дослідити динаміку та причини виникнення позаштатних ситуацій на залізничному транспорті, шляхи підвищення стійкості функціонування залізниць в умовах аварійних ситуацій;

- виконати оцінку ризиків та виявити можливі причини й фактори виникнення аварійних ситуацій під час перевезення небезпечних вантажів залізничним транспортом;

- проаналізувати та удосконалити систему ліквідації аварій як засобу мінімізації негативних наслідків аварій під час перевезення небезпечних вантажів;

- розробити технологію виготовлення та застосування універсального сорбційного полотна для ліквідації наслідків аварій під час перевезення небезпечних вантажів на базі принципів ресурсозбереження та екологічності.

Об'єкт дослідження – процес перевезення небезпечного вантажу з урахуванням ризиків виникнення аварійних ситуацій.

Предмет дослідження – технологія локалізації та ліквідації наслідків аварійних емісій небезпечних речовин з використанням інноваційних матеріалів та логістичних рішень.

Методи дослідження. Вивчення кількісних та якісних характеристик об'єктів та матеріалів дослідження виконувалося за допомогою аналітичних та фізико-хімічних методів; у теоретичних дослідженнях і чисельних експериментах використано методи статистичного, системного аналізу та математичного моделювання.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у вирішенні науково-прикладного завдання підвищення безпеки експлуатації залізничного транспорту та ефективності взаємодії суб'єктів перевезення небезпечних вантажів шляхом удосконалення процедури реагування на аварійні ситуації та мінімізації їх негативних наслідків.

У дисертаційному дослідженні **вперше**:

— на базі методів порівняльної типології, експертних оцінок та системного аналізу для конкретного маршруту визначено показники ризику комплексної дії негативних факторів аварійних ситуацій під час транспортування НВ та характеристика їх просторового розподілу, що

дозволяє моделювати розвиток аварійних сценаріїв та спрощує процедуру ідентифікації найбільш впливових чинників;

— здобуто кінетичні залежності процесу сорбції рідких фракцій НВ за допомогою розробленого універсального сорбційного полотна («USS») на базі карбонізату, який вирізняється високими показниками сорбції (до 92 %) та економічністю (за рахунок повторного використання), що дозволяє мінімізувати втрати вантажу та визначати оптимальні дози сорбенту для ліквідації наслідків аварійних емісій;

удосконалено:

— метод виготовлення (універсального сорбційного полотна на базі карбонізату для ліквідації аварійних емісій небезпечних вантажів, що вирізняється енергоефективністю за рахунок оптимізації температурного режиму карбонізації та ресурсозбереженням завдяки використанню як сировини – відходів рослинного походження(хочеться вказати яких саме?);

здобула подальший розвиток:

— функціональна модель управління ліквідацією наслідків аварійної ситуації на залізничному транспорті, що містить алгоритм залучення допоміжних ліквідаційних формувань, забезпечує оперативне реагування на позаштатні ситуації, спрощує процедуру прийняття управлінських рішень та мінімізує негативні наслідки аварійних емісій.

Практичне значення здобутих результатів полягає в розробці рекомендацій щодо удосконалення взаємодії суб’єктів перевезення небезпечних вантажів залізничним транспортом з метою запобігання ризикам аварій та розробці технології виготовлення й використання сорбційних матеріалів «USS» для локалізації та ліквідації аварійних розливів, що дозволить спростити процедуру, скоротити час, забезпечить економічність, ресурсозбереження та мінімізацію екологічних наслідків, а саме:

— з використанням системного підходу сформовано та проаналізовано модель життєвого циклу небезпечного вантажу на різних стадіях його транспортування, що дозволило визначити пріоритетні напрямки удосконалення процедури прийняття управлінських рішень;
— запропоновано використання універсального сорбційного полотна «USS» для стадії локалізації та ліквідації аварійних розливів на залізничному транспорті та розроблено технології його виготовлення й застосування;
— на базі аналітичних та графічних залежностей показників динамічної завантаженості комбінованих вагонів-хоперів доведено можливість перевезення сорбційних матеріалів («USS») у складі вантажного потяга як вагонів-прикриттів та отримано їхні оптимальні кількісні параметри.

Практичне впровадження результатів роботи підтверджується відповідними документами, що наведені в додатку.

Особистий внесок здобувача. Усі наукові положення, розробки та результати теоретичних та експериментальних досліджень, що виносяться на захист, отримані автором самостійно.

Дисертантом одноосібно здійснено пошук, аналіз та опрацювання літературних джерел, оформлення табличних та графічних даних, а також текстів усіх статей. Мету та постановку завдання, обговорення та аналіз результатів досліджень сформульовано разом із науковим керівником.

Патент на корисну модель [11] отримано одноосібно.

Особистий внесок дисертанта в працях, опублікованих у співавторстві, полягає в такому. У працях [7, 8, 9, 10] здобувач брав безпосередню участь у формулюванні проблеми, пошуку, аналізі та опрацюванні літературних джерел, обговоренні отриманих результатів та оформленні статей; власноруч розробляв технологію локалізації та ліквідації розлиття емісійнебезпечних вантажів, узагальнював отримані дані, оформляв табличні та графічні дані. У праці [10] здобувач самостійно визначив показник ризику комплексної дії негативних факторів аварійних ситуацій під час транспортування НВ та

характеристику його просторового розподілу, виконував розрахунки та перевіряв адекватність отриманих моделей.

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідалися та були схвалені на: 79-й міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (Дніпро, ДНУЗТ, 2019 р.); VI та VIII Всеукраїнських науково-технічних конференціях студентів, аспірантів і молодих вчених (Дніпро, НТУ «ДП», 2018, 2020 роки); XVI Міжвузівській студентській науково-практичній конференції (Дніпро, ПДАБА, 2020); Міжнародній конференції «Екологічна безпека – сучасні напрямки та перспективи вищої освіти (Харків, 2021р.); V Всеукраїнському пленері з питань природничих наук (Одеса, ОДЕКУ, 2021р.).

Публікації. За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 11 друкованих праць, серед яких: 2,5 – статті у спеціалізованих виданнях, які регулюються ДАК МОН України, 1 – стаття у виданні, внесеному до міжнародних наукометричних баз даних Scopus та Wed of Science, 6 – публікації апробаційного характеру: тези доповідей, матеріали міжнародних та всеукраїнських наукових конференцій. Автором отримано патент на корисну модель № u202103033.

У повному обсязі дисертація доповідалася та була схвалена на міжкафедральному науковому семінарі 29.08.2023р. протоколом №____

Структура і обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Повний обсяг роботи становить 176 сторінок, з яких основного тексту – 129 сторінок, які містять 37 рисунка на 29 сторінках та 19 таблиць на 18 сторінках; список використаних джерел містить 107 найменувань і займає 10 сторінок; 4 додатки викладено на 11 сторінках.

РОЗДІЛ 1
АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ПЕРЕВЕЗЕННЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ ВАНТАЖІВ ЗАЛІЗНИЧНИМ ТРАНСПОРТОМ ТА ФУНКЦІОНУВАННЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ ЯК СИСТЕМИ ВЗАЄМОДІЇ З ДОВКІЛЛЯМ

У першому розділі заплановано виконати:

– аналіз динаміки перевезень вантажів різними видами транспорту;
– огляд сучасного стану перевезення небезпечних вантажів;
– аналіз кількості аварійних ситуації на залізничному транспорті;
– аналіз динаміки кількості транспортних подій щодо обсягу перевезень за 2011 – 2021 роки;
– критичний аналіз стану нормативної документації та наукових досліджень у сфері запобігання аварійним ситуаціям та ліквідації їх наслідків під час перевезення небезпечних вантажів залізничним транспортом.

1.1 Особливості взаємодії елементів системи «транспорт-довкілля»

У сучасних умовах транспортний комплекс, який працює ефективно, є основою сталого функціонування держави та забезпечення потреб національної оборони й економіки. Україна має розвинену транспортну систему, якою в 2021 р. перевезено понад 621 млн т вантажів [12], при цьому 87 % цих перевезень припадає на залізничний та автомобільний транспорт.

Інші види транспорту виявили відносну стабільність, що корелюється із загальними річними показниками.

На рис. 1.1 наведено динаміку перевезень вантажів різними видами транспорту.

Рисунок 1.1 – Динаміка обсягів перевезень вантажів різними видами транспорту, млн т [12]

Відповідна тенденція склалася й у динаміці зміни ринкових часток видів транспорту: авіаційний – щороку менш ніж 0,02 %, водний – щороку близько 1%, трубопровідний – від 22 % у 2009 р. до 16,7 % у 2019 р. Враховуючи наведені показники, слід звернути більшу увагу до найвагоміших гравців ринку.

Статистичні показники (рис. 1.1) свідчать про те, що залізничний транспорт і далі займає найбільшу частку, зокрема у 2009–2015 рр. йому належало 56–59 %, у 2019-му – понад 46 %. При цьому слід пам’ятати, що це результат діяльності одного суб’єкта господарювання – АТ «Укрзалізниця». У 2020 р. підприємствами транспорту України перевезено 1 600 млн т вантажів, що становить 88,8 % від обсягів 2019 р., зокрема, за видами транспорту, млн т: залізничний — 305,5 (51 %), автомобільний — 191,3 (32 %), водний — 5,6 (1 %), трубопровідний — 97,5 (16 %), авіаційний — 0,1 (0,02 %).

Кожен вид транспорту внаслідок своїх техніко-технологічних та організаційно-правових особливостей тяжіє обслуговувати відповідні сектори економіки. Найбільш залежними від залізничного транспорту є сільське господарство, металургійне виробництво, вугільна та хімічна промисловість, гірничо-металургійний комплекс, будівництво та оборона.

Останні десять років загальний вантажообіг демонстрував кореляцію з обсягом перевезених усіма видами транспорту вантажів і коливався в межах від 426,4 млрд т-км у 2011 р. до 315,3 у 2015 р., склавши 339 млрд т-км у 2019 р. Найбільша частка у залізничного транспорту, далі – трубопровідний, автомобільний, водний і авіаційний (рис. 1.2) [13].

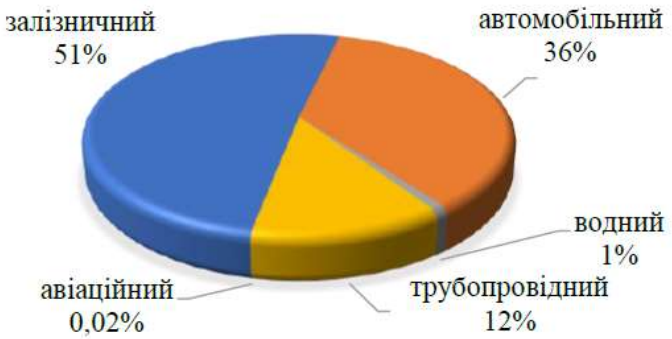


Рисунок 1.2 – Розподіл перевезень за видами транспорту [13-15]

Залізничний транспорт займає перше місце у вантажних перевезеннях серед інших видів транспорту. Цей вид транспорту під час вантажних перевезень має свої переваги та недоліки порівняно з іншими.

На рис. 1.3 детально наведено динаміку розподілу обсягів вантажів по різних областях України.

Рисунок. 1.3 – Динаміка розподілу обсягів вантажних перевезень залізничним транспортом за 2010–2018 рр. [12]

Як видно з рис. 1.3, максимальні показники перевезень залізничним транспортом у Дніпропетровській області за 2018 рік – 32 500 тис. т.

Через великий обсяг перевезень він має величезний вплив на довкілля. У загальному випадку збиток, заподіяний природному середовищу від будівництва й функціонування залізниць, містить такі складові: виснаження природних комплексів, знищення складових елементів природного середовища, забруднення природного середовища викидами, стоками, відходами; порушення екологічних зв'язків у природному середовищі. З огляду на те що без залізничного транспорту сільське господарство або промисловість у господарському комплексі обійтися не може, необхідно дотримуватися умови, щоб корисний ефект від функціонування залізничного транспорту перевищував збиток, що наноситься ним навколишньому середовищу. Очевидно, вилучення природних ресурсів повинно бути нижчим за відновлювальні можливості природи. Порушення цієї умови може викликати непередбачувані наслідки для живої природи через її виснаження і знищення.

Вплив об'єктів залізничного транспорту на природне середовище зумовлено будівництвом доріг, виробничо-господарською діяльністю підприємств, експлуатацією залізниць і рухомого складу, спалюванням великої кількості палива, застосуванням пестицидів на лісових смугах тощо[1-11].

Забруднення від об'єктів залізничного транспорту накладаються на фонові забруднення від господарсько-побутової, культурної, виробничої діяльності суспільства, від об'єктів теплоенергетики, промисловості, сільськогосподарської та інших видів діяльності. Часто в районах станцій і залізничних вузлів фонові забруднення дорівнюють або перевищують допустимі норми [1-11]. Забруднення навколишнього природного середовища залежить від інтенсивності будівництва й функціонування об'єктів залізничного транспорту.

Будівництво і функціонування залізниць вимагають вилучення з природного середовища ґрунтів, надр, флори, фауни. Об'єкти залізничного транспорту споживають воду, повітря, паливно-енергетичні, мінеральні ресурси.

Так, для прокладання одного кілометра двоколійного полотна потрібно 4 км рейок масою 300 т, 4000 дерев'яних або залізобетонних шпал, тисячі тон піску та щебеню.

Особливу тривогу з позиції екологічної безпеки викликає перевезення небезпечних вантажів. До них належать речовини та вироби, які через притаманні їм властивості та особливості при екстремальних обставинах в процесах переміщення або зберігання можуть завдати шкоди навколишньому середовищу, викликати вибух, пожежі або пошкодження транспортних засобів, будинків і споруд, а також загибель, травмування, отруєння, захворювання людей або тварин.

Українськими залізницями перевозяться майже 4000 назв небезпечних вантажів [12-17], які в разі порушення умов перевезення і виникнення аварійних ситуацій можуть викликати різні види небезпеки: пожежо- і вибухонебезпечність, токсичну, радіаційну, інфекційну і корозійну. Будь-який хімічний вантаж містить потенційну небезпеку, оскільки має токсичні властивості. Деякі речовини, які не є отруйними у звичайних умовах, здатні стати ними в разі різкої зміни зовнішніх умов (потрапляння у вогонь, зміна тиску, зволоження, взаємодія з іншими речовинами).

Кількість катастроф і аварій поїздів з небезпечними вантажами в Україні є досить значною. Зафіксовано випадки сходження з рейок і зіткнення вагонів, завантажених небезпечними вантажами, які можуть призводити до руйнівних наслідків у межах великих густонаселених міст. Під час перевезення небезпечних вантажів відбуваються витоки нафтопродуктів, отруйних та інших речовин. Показник аварійності з небезпечними вантажами впливає на загальний рівень екологічної безпеки залізничного транспорту.

При цьому зношеність рухомого складу «Укрзалізниці» сягає 90 %, майже 24 % залізничних колій потребують капітального ремонту. Водночас аналіз стану безпеки руху поїздів на залізничному транспорті у світі за період 2011–2021 роки [18,19] показує, що на катастрофи припадає 2 % від загальної кількості транспортних подій, на інциденти – 98 %. Відповідно до цього різко зростають ризики виникнення негативних економічних та екологічних наслідків.

1.2 Відмінність понять та визначень небезпечних вантажів та небезпечних речовин

Аналізуючи фахову документацію та нормативні документи, сьогодні можна констатувати, що поняття небезпечного вантажу та небезпечної речовини мають зовсім різні визначення.

ДСТУ 4500-1:2008 «Вантажі небезпечні. Терміни та визначення» [20] подає такі визначення цих понять:

Небезпечний вантаж – речовина (суміш речовин, розчин), матеріал, виріб або відходи виробництва чи іншої діяльності, що відповідають класифікаційним показникам, критеріям або ознакам та внаслідок притаманних їм властивостей і за наявності певних чинників можуть стати причиною ушкодження довкілля, завдати матеріальних збитків, призвести до загибелі, травмування, отруєння, захворювання людей та тварин

Речовина – будь-який хімічний елемент або сполука хімічних елементів, що перебувають у природному стані чи отримані в результаті будь-якого виробничого процесу. Речовина також може містити необхідні домішки для забезпечення стабільності продукту та домішки, пов'язані з процесом, що використовується, але не повинна містити розчинників, які можна відокремити без зміни стабільності речовини або зміни її складу. Категорії та групи шкідливих речовин для ідентифікації об'єктів підвищеної небезпеки визначаються «Порядком ідентифікації об’єктів підвищеної

небезпеки та ведення їх обліку» [21], затвердженим постановою Кабінету Міністрів України від 13 вересня 2022 р. № 1030.

Для ідентифікації об'єктів підвищеної небезпеки до небезпечних речовин за властивостями належать такі категорії речовин [22]:

1) горючі (займисті) гази;
2) горючі рідини;
3) горючі рідини, перегріті під тиском;
4) вибухові речовини;
5) речовини-окисники;
6) високотоксичні та токсичні речовини;
7) екологічно небезпечні речовини (високотоксичні для водних організмів)

Деякі небезпечні речовини через специфічні характеристики, фізико-хімічні, вибухо-, пожежонебезпечні та токсичні властивості віднесені до окремої групи небезпечних речовин. Індивідуальними небезпечними речовинами вважаються речовини та суміші речовин, для яких встановлені порогові норми маси, що відрізняються від граничних норм маси тих категорій, до яких ці речовини можуть бути віднесені на основі їх властивостей [23].

Крім того, відповідно до Порядку ідентифікації об’єктів підвищеної небезпеки та ведення їх обліку [21] від 13 вересня 2022 р. № 1030 у разі, якщо небезпечна речовина одночасно може бути віднесена до кількох категорій небезпечних речовин, використовується значення речовини в тій категорії, де вона має найменший поріг маси.

За видами аварій, які можуть статися виходячи з властивостей шкідливих речовин та впливу уражальних факторів, категорії небезпечних речовин об’єднуються в групи [24]:

- 1 група (вибух) – горючі (займисті) гази, легкозаймисті рідини, перегріті під тиском, ініціатори (первинні), вибухові (вторинні) та піротехнічні вибухові речовини, окислювальні речовини, речовини, що

вступають у бурхливу реакцію з водою з виділенням вибухонебезпечних чи токсичних газів;

- група 2 (пожежа) – горючі (займисті) гази, легкозаймисті рідини, перегріті горючі рідини під тиском, окислювальні речовини, а також речовини, що бурхливо реагують з водою з виділенням горючих та/або вибухонебезпечних чи отруйних газів;
- 3 група (шкідливі для людини та довкілля): високотоксичні речовини, отруйні речовини, речовини, що становлять небезпеку для довкілля (високотоксичні для водних організмів), речовини, що становлять небезпеку для довкілля (токсичні для гідробіонтів) та/або можуть чинити тривалий негативний вплив на водне середовище, а також речовини, що бурхливо реагують з водою з виділенням горючих та/або вибухонебезпечних чи отруйних газів.

Отже, небезпечні вантажі та речовини – це різні поняття.

1.3 Особливості класифікації небезпечних вантажів

Існує низка нормативних документів, у яких наводиться різна інформація про небезпечні вантажі за класами небезпеки, їхня класифікація та правила перевезення, а саме:

- Національній стандарт України ДСТУ 4500-3:2006 [25];
- Рекомендація ЄЕК ООН № 11 «Питання документації при міжнародних перевезеннях небезпечних вантажів» [26];
- Правила перевезення небезпечних вантажів. Додаток 2 до СМСГС [27];
- Правила перевезення небезпечних вантажів (поточна редакція) та інші [28].

Проблема в тому, що в кожному з названих документів є класифікація небезпечних вантажів, але принципи класифікації відрізняються, що викликає суперечки та ускладнює роботу.

У національному стандарті України ДСТУ 4500-3:2006 [25] класифікація небезпечних вантажів здійснюється за класами та підкласами небезпеки таким чином: існує 9 класів, з яких, 1, 2, 4, 5 та 6 поділено на підкласи, але загальна назва класу просто об’єднує назви підкласів. Наприклад, клас 6 містить підкласи токсичних і інфекційних речовин і загалом називається «Токсичні та інфекційні речовини». На відміну від цього, у Правилах перевезення небезпечних вантажів [28] та Правилах перевезення небезпечних вантажів. Додаток 2 СМГС [27] на підкласи поділено лише «Вибухові матеріали і речовини» та «Гази», а 4.1, 4.2, 4.3, 5.1, 5.2, 6.1 та 6.2 трактуються як самостійні класи. У контексті розуміння видів небезпеки це трактування є логічним і не викликає суперечливих поглядів, оскільки, наприклад, класи 6.1 та 6.2 неможливо об’єднати одним видом небезпеки: клас 6.1 – токсична дія, а клас 6.2 – інфекційна дія.

Отже, у національному документі «Правила перевезення небезпечних вантажів» [28] наведена загальноприйнята у світі класифікація, яку, на думку авторів, можна вважати уніфікованою, щоб уникнути суперечливих моментів у майбутньому.

У таблиці А.1 додатка А наведено класифікацію небезпечних речовин згідно з Правилами перевезення небезпечних вантажів (від 01.09.2017 р.) [28].

1.4 Огляд сучасного стану перевезень небезпечних вантажів

Як видно з наведених вище характеристик класів небезпечних вантажів, вони мають різні властивості, у зв'язку з чим їх перевезення різними видами транспорту має здійснюватися в суворій відповідності до правил і вимог безпеки – як національних, так і міжнародних.

Загальні вимоги до перевезення небезпечних вантажів коротко наведені нижче:

– Небезпечні вантажі повинні надаватися відправниками вантажу до перевезення в тарі та пакованні, які передбачені стандартами або технічними умовами на ці товари.

– Тара та паковання повинні бути міцними, придатними для використання, повністю виключати витікання та просипання вантажу, гарантувати його збереження та безпечне транспортування. Матеріали, з яких виготовлені тара та паковання, мають бути інертними по відношенню до вмісту.

– Небезпечні, легкозаймисті, отруйні, їдкі речовини, товари, що виділяють гази або пари, товари, вибухонебезпечні в сухому стані або здатні небезпечно взаємодіяти з повітрям і вологою, а також товари, що мають окиснювальні властивості, повинні бути герметично упаковані (герметична тара має забезпечувати непроникність газів, парів та рідин).

– Небезпечні вантажі у скляній тарі повинні бути упаковані в міцні ящики (дерев'яні, полімерні, металеві) із заповненням вільного простору відповідними негорючими абсорбуючими та прокладними матеріалами. Вантажі у дрібному розфасуванні, що транспортуються безпечно відповідно до п. 2.1.4.3, допускається упаковувати в ящики з гофрокартону [27, 28]. Ящики повинні мати підкладки, перегородки, ґрати, прокладки, демпфери. Стінки ящиків повинні бути на 5 см вищі закритих пляшок та банок. Дрібні небезпечні вантажі в скляній тарі мають бути упаковані в щільні дерев'яні ящики з кришками [27, 28].

– Небезпечні вантажі в металевих або полімерних банках та бочках повинні бути додатково упаковані в ящики.

– Небезпечні вантажі в гофрокартонних мішках та ящиках, якщо це передбачено стандартами чи технічними умовами на продукцію, повинні перевозитися у вагонах. У разі перевезення дрібних партій небезпечні вантажі в мішках повинні бути упаковані в жорстку транспортну тару (металеві або фанерні барабани, бочки, дерев'яні або металеві ящики).

– У разі надання до перевезення рідких небезпечних вантажів тара повинна бути заповнена до рівня, встановленого стандартами або технічними умовами на цей продукт.

Спільне пакування в місці завантаження допускається лише для тих небезпечних вантажів, які можна перевозити разом в одному транспортному засобі. При цьому кожна речовина упаковується окремо відповідно до технічних стандартів або умов на цю речовину. Запаковані речовини поміщають у щільний дерев'яний ящик, який потім забивають цвяхами. Дно ящика, а також вільний простір під кришкою заповнюють м'яким негорючим пакувальним матеріалом. Коробку щільно закривають кришкою. Загальна маса такого місця не повинна перевищувати 50 кг. Усі речовини, упаковані разом, повинні бути вказані в коносаменті із зазначенням маси кожної речовини [23].

Аналогічно мають бути упаковані небезпечні вантажі, дозволені до перевезення в контейнерах.

Під час перевезення рідких небезпечних вантажів у залізничних вагонах відправник вантажу зобов'язаний розмістити у вагоні не менше ніж 1 % порожніх контейнерних місць на випадок пошкодження окремих вантажних приміщень.

У дисертації розглядаються питання перевезення небезпечних вантажів саме залізничним транспортом та ліквідація наслідків аварій, що можуть статися під час їх транспортування. Це пов’язано з тим, що найбільша кількість небезпечних вантажів на території України та європейських країн перевозиться залізницею.

Українські залізниці перевозять близько 4 000 небезпечних вантажів під різними назвами.

Згідно з даними, наданими АТ «Укрзалізниця», за 2022 рік було перевезено 7483,02 тис. т вантажів, з яких 1002,452 тис. т відправлено на експорт, 3164,204 тис. т імпортні перевезення та 139,042 тис. т. транзитні перевезення [29-31].

У табл. 1.1 наведено порівняльний аналіз перевезень небезпечних вантажів за 2021-2022 роки [29-31].

Таблиця 1.1 – Порівняльний аналіз перевезень небезпечних вантажів за 2021-2022 роки [29-31]

Види перевезень	Обсяг перевезень, тис. т, за звітний рік	
	2021	2022
Експортні перевезення	2511,45	1002,452
Імпортні перевезення	6598,46	3164,204
Транзитні перевезення	879,709	139,042
Внутрішні перевезення	4451,981	3123,332
Усього	14441,8	7483,02

На рис. 1.4 наведено співвідношення кількості перевезених вантажів у 2021–2022 роках за видами транспортних перевезень.

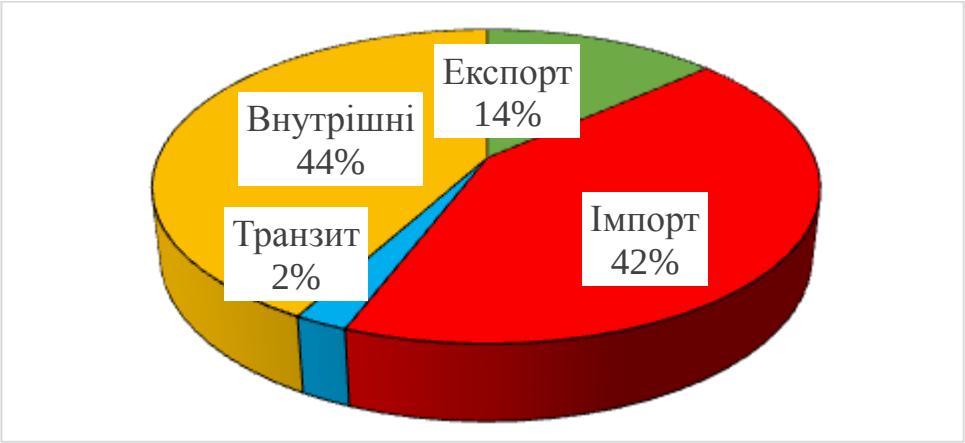


Рисунок. 1.4 – Співвідношення кількості перевезених вантажів у 2022 році за видами транспортних перевезень [29-31]

Як видно з діаграми, найбільша частка належить внутрішнім залізничним перевезенням, найменшу становлять транзитні перевезення.

На рис. 1.5 зображено співвідношення кількості перевезених вантажів у 2021 році за класами небезпеки.

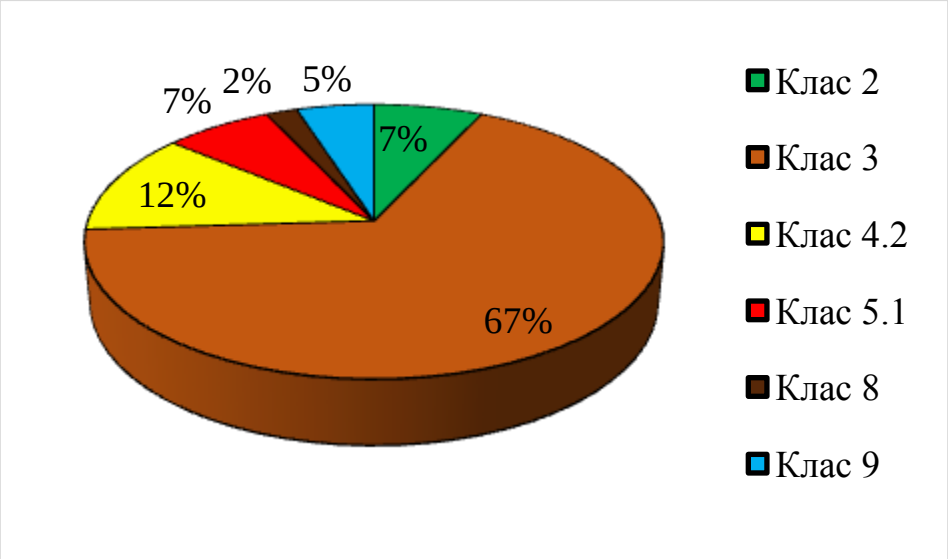


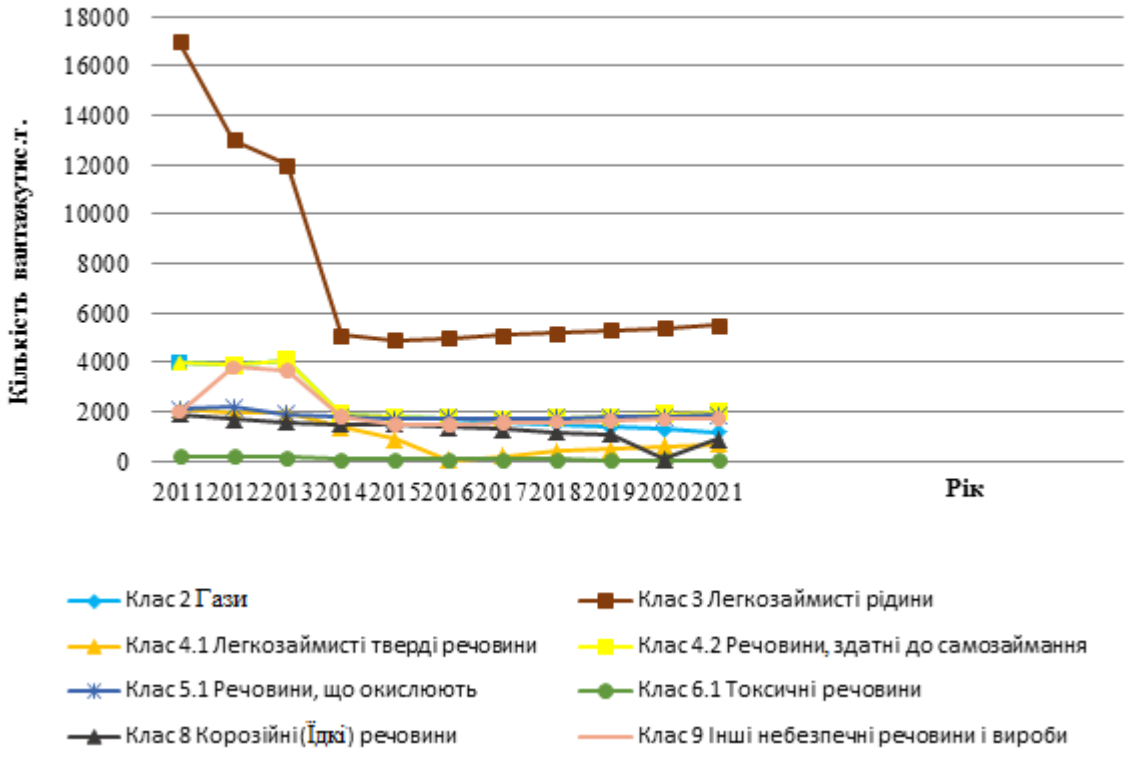
Рисунок. 1.5 – Співвідношення кількості перевезених вантажів у 2021 році за класами небезпеки [29-31]

Як видно з діаграми, найчастіше перевозилися речовини класу небезпеки 3 (легкозаймисті речовини) та речовини класу небезпеки 4.2 (речовини, здатні до самозаймання).

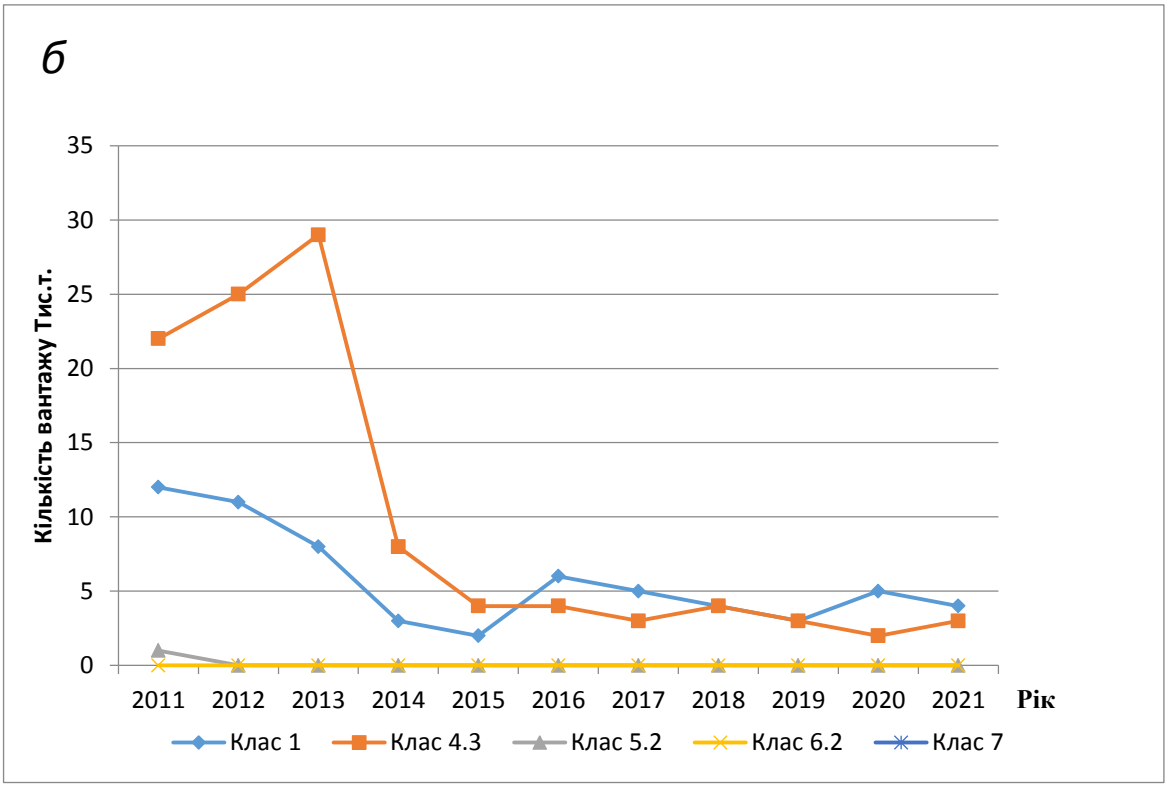
Графіки перевезень таких вантажів, побудовані на підставі статистичних даних результатів вантажоперевезень небезпечних вантажів залізничним транспортом України_ за період з 2011 по 2021 р. [29-31], наведено на рис. 1.6.

Відносна кількість вантажів різних класів небезпеки, перевезених залізничним транспортом України у період 2011-2021 років [29-31], становить: клас 1 – 0,09 %, клас 2 – 11 %, клас 3 – 45 %, клас 4.1 – 7 %, клас 4.2 – 5%, клас 4.3 – 0,12%, клас 5.1 – 7%, клас 5.2 – 0,002%, клас 6.1 – 2%, клас 6.2 – 0,001%, клас 7 – 0,005%, клас 8 – 5 %, клас 9 – 18%. Тобто, класи 3, 9 та 2 переважають за обсягами перевезень.

а



б



а – для класів 2, 3, 4.1, 4.2, 5.1, 6.1, 8, 9

б – для класів 1, 4.3, 5.2, 6.2, 7.

Рисунок 1.6 –Динаміка перевезень небезпечних вантажів залізничним транспортом за період з 2011 по 2021 рік [29-31]

Наливні вантажі в загальній структурі перевезень займають до 10 %. До наливних вантажів належать:

- нафта та нафтопродукти;
- продукти хімічної промисловості (кислоти, луги, барвники, скраплені гази тощо);
- продукти харчової промисловості (олія, спирти, жири, патока, саломас тощо).

Основну масу наливних вантажів (майже 90 %) складають нафта та нафтопродукти (НП).

Аналіз даних щодо величин емісій речовин, які забруднюють довкілля внаслідок транспортних аварій, та ймовірності їх розповсюдження в довкіллі наведено в табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Аналіз даних щодо величин емісій речовин, які забруднюють довкілля внаслідок транспортних аварій, та ймовірності їх розповсюдження в довкіллі

Склад вантажу	Кількість аварій	Масштаби аварій, т	Сумарна емісія, т	Частка емісії, %	Ймовірність розповсюдження в довкіллі		
					Атмосфера	Вода	Грунт
Важкі НП	32	4…1000	4200	40	Н	С	Н
Азотомісткі сполуки	10	10…750	1300	10	В	В	В
Легкі НП і сира нафта	29	9…250	3000	23	В	С	С
Кислоти і луги	9	0,5…140	560	4,3	Н	В	С
Сірка	6	30	900	7	В*	С	Н

Примітка: позначення ступеня ймовірності розповсюдження типів вантажів в середовищі: н –низький, с – середній, в – високий, * – під час загоряння.

Як бачимо, найбільша кількість аварій, а також максимальна емісія токсикантів спостерігається внаслідок аварійних розливів нафти та нафтопродуктів.

Питанню зниження загрози виникнення аварійної ситуації з НВ, які перевозяться територією України наливом, відводиться важлива роль. Штрафи за екологічні збитки є достатньо високими (іноді досягають сотень тисяч доларів США). Крім цього, спостерігаються значні витрати на виконання відбудовних робіт щодо вивезення та очищення забрудненого ґрунту. Наприклад, у разі сходу однієї цистерни с мазутом забруднюється повітря, поверхневі водойми та ґрунт на площі до 6…10 тис. $м^2$ і в глибину до 0,1...0,3 м. Об’єм забрудненого ґрунту становить 1…3 тис. $м^3$ або 2…6 тис. тонн. А якщо аварія сталася поблизу водного об’єкта, то з урахуванням штрафу за екологічну шкоду, сума витрат може досягти близько 1 млн доларів США. [32]

1.5 Аналіз статистичних даних про кількість аварійних ситуацій під час перевезення небезпечних вантажів та встановлення причини виникнення залізничних аварійних ситуацій

Відповідно до термінології, прийнятої на залізничному транспорті, до подій на залізничному транспорті належать події, що спричинили загибель або тілесні ушкодження людей, пошкодження технічних засобів, вантажів, об'єктів залізничної інфраструктури, порушення руху транспорту або шкоду навколишньому середовищу. До подій, що відрізняються тяжкістю наслідків, належать катастрофи, аварії, серйозні обставини, обставини.

Відповідно до наказу про затвердження Положення про класифікацію транспортних подій на залізничному транспорті від 03.07.2017 № 235 класифікацію уніфіковано [33] і категорію серйозного інциденту було виключено.

На сьогодні транспортні події під час руху поїздів та маневрування, що загрожують безпеці руху, за своїми ознаками класифікуються як катастрофи (нещасні випадки з тяжкими наслідками), аварії [33] та пригоди відповідно до додатку 2 до СМГС [27].

1. Катастрофа (нещасний випадок з тяжкими наслідками) – транспортна подія, що спричинила пожежу в рухомому складі залізничного транспорту, зіткнення рухомого складу залізничного транспорту з іншим рухомим складом залізничного транспорту, транспортними засобами, транспортом залізничного рухомого складу на дорозі або станції, маневрах, обладнанні тощо, внаслідок яких загинула одна й більше осіб, п'ять і більше осіб отримали поранення та (або) завдано шкоди рухомому складу, інфраструктурі залізничного транспорту або завдано шкоди навколишньому природному середовищу, а також будь-яка інша подібна аварія з очевидним впливом на регулювання чи керування безпекою залізничного транспорту [33].

2. Аварія – це несподівана, небажана або ненавмисна дорожньо-транспортна пригода або особливий ланцюг таких дорожніх подій, що спричинили шкідливі наслідки.

Нещасні випадки поділяються на такі категорії: [34]

- зіткнення, сходження з рейок рухомого складу залізничного транспорту;
- аварії на залізничних переїздах та поза ними;
- нещасні випадки з людьми, спричинені рухом рухомого складу залізничного транспорту;
- аварії із небезпечними вантажами;
- пожежі та ін.

4. Інцидент – будь-яка транспортна подія (ситуація, подія [34], яка не є катастрофою (аварією з тяжкими наслідками) або аварією, пов'язана з керуванням поїздом, правильною роботою та функціонуванням інфраструктури залізничного транспорту, що впливає на безпеку операцій.

Отже, категорію серйозних інцидентів виключено. Таким чином у табл. 1.3 представлено актуальну класифікацію транспортних подій.

Таблиця 1.3 – Приклад класифікації транспортних подій за різними ознаками

№ пор.	Опис ознаки (короткий опис ситуації, випадку, події, аварії)	Порогове значення показника ознаки
1	Транспортна подія, що призвела до пожежі на рухомому складі залізничного транспорту, зіткнення рухомого складу залізничного транспорту з іншим рухомим складом залізничного транспорту, сходження рухомого складу залізничного транспорту на перегоні чи станції, при поїзній або маневровій роботі, екіпіруванні або інших переміщеннях та спричинила шкоду життю і здоров'ю людини Одиниця виміру: Особа	Загинуло від 1, постраждало (травмовано) від 5
2	Транспортна подія, що призвела до зіткнення пасажирських, вантажних поїздів або іншого рухомого складу залізничного транспорту з автотранспортними засобами або іншими самохідними машинами на залізничних переїздах та спричинила шкоду життю і здоров'ю людини Одиниця виміру: Особа	Загинуло від 1, постраждало (травмовано) від 5
3	Транспортна подія, що призвела до зіткнення пасажирських, вантажних поїздів або іншого рухомого складу залізничного транспорту з автотранспортними засобами або іншими самохідними машинами за межами залізничних переїздів та спричинила шкоду життю і здоров'ю людини Одиниця виміру: Особа	Загинуло від 1, постраждало (травмовано)від 5
4	Транспортна подія, що призвела до пожежі на рухомому складі залізничного транспорту, зіткнення рухомого складу залізничного транспорту з іншим рухомим складом залізничного транспорту, сходження рухомого складу залізничного транспорту на перегоні чи станції, при поїзній або маневровій роботі, екіпіруванні або інших переміщеннях та спричинила пошкодження рухомого складу залізничного транспорту Одиниця виміру: Особа	Від 3 (до ступеня виключення з інвентарного парку)

Продовження Табл. 1.3

5	Транспортна подія, що сталася при навантаженні, наповненні, перевантаженні, перевезенні, розвантаженні або при транзитному зберіганні у рухомому складі залізничного транспорту небезпечних вантажів (небезпечних відходів), під час яких сталася втрата небезпечних вантажів (небезпечних відходів) або є небезпека їх втрати у розмірах, визначених пунктом 1.1.3.6 розділу 1.1.3 глави 1.1, пунктом 1.8.5.3 розділу 1.8.5 глави 1.8 додатка 2 до Угоди про міжнародне вантажне залізничне сполучення (далі - додаток 2 до УМВС/СМГС) або підрозділом 1.1.3.6 розділу 1.1.3 глави 1.1, підрозділом 1.8.5.3 розділу 1.8.5 глави 1.8 Регламенту про міжнародне залізничне перевезення небезпечних вантажів (далі - РІД), та спричинила шкоду життю і здоров'ю людини Одиниця виміру: Особа	Загинуло від 1, постраждало (травмовано)від 5
6	Транспортна подія, що сталася при навантаженні, наповненні, перевантаженні, перевезенні, розвантаженні або при транзитному зберіганні у рухомому складі залізничного транспорту небезпечних вантажів (небезпечних відходів), під час яких сталася втрата небезпечних вантажів (небезпечних відходів) або є небезпека їх втрати у розмірах, визначених пунктом 1.1.3.6 розділу 1.1.3 глави 1.1, пунктом1.8.5.3 розділу 1.8.5 глави 1.8 додатка 2 до УМВС/СМГС, та призвела до значних матеріальних збитків та/або завдання шкоди навколишньому природному середовищу Одиниця виміру: гривня	Перевищує еквівалент 80000,00швейцарських франків в гривнях за курсом, установленим Національним банком України
7	Транспортна подія, що сталася при навантаженні, наповненні, перевантаженні, перевезенні, розвантаженні або при транзитному зберіганні у рухомому складі залізничного транспорту небезпечних вантажів (небезпечних відходів), під час яких сталася втрата небезпечних вантажів (небезпечних відходів) або є небезпека їх втрати у розмірах, визначених підрозділом 1.1.3.6 розділу 1.1.3 глави 1.1, підрозділом 1.8.5.3 розділу 1.8.5 глави 1.8 РІД, та призвела до значних матеріальних збитків та/ або завдання шкоди навколишньому природному середовищу Одиниця виміру: Гривня	Перевищує еквівалент 50000,00 євро в гривнях за курсом, установленим Національним банком України

На рис 1.7 наведено динаміку кількості транспортних подій стосовно обсягу перевезень з 2011 по 2021 рік [29-31].

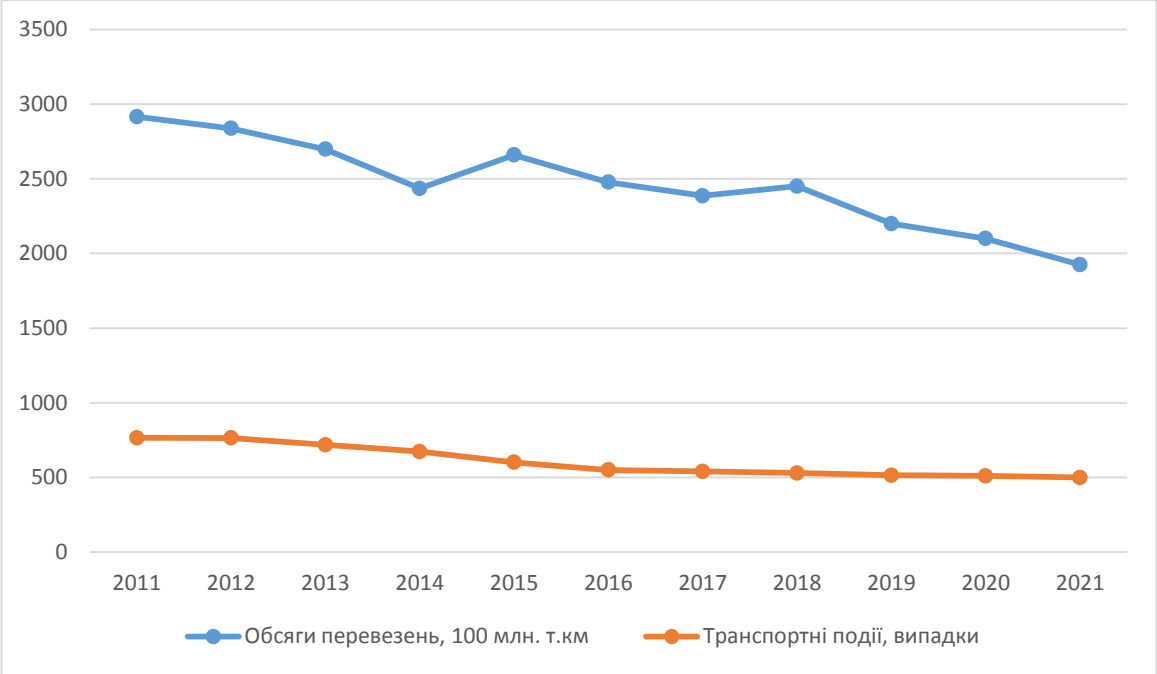


Рисунок 1.7 – Динаміка кількості транспортних подій щодо обсягу перевезень за 2011 – 2021 роки [29-31]

З рисунку. 1.7 видно, що кількість транспортних подій зменшується. Це відбувається через зменшення обсягу вантажних перевезень.

За 2018 рік кількість транспортних подій під час перевезення небезпечних вантажів залізничним, повітряним, морським та річковим транспортом зменшилася втричі (з 33 подій у 2017 році до 11 у 2018 році). Втрачено 74,9 тони вантажу проти 134,1 тони у 2017 році. Постраждалих та загиблих внаслідок цих подій немає. При цьому 100 % від загальної кількості транспортних подій під час перевезення небезпечних вантажів залізничним, повітряним, морським та річковим транспортом у 2017-2018 роках сталося на залізничному транспорті.

На рис. 1.8 наведено транспортні події під час перевезення небезпечних вантажів різними видами транспорту у 2018 р. порівняно з 2017 р.

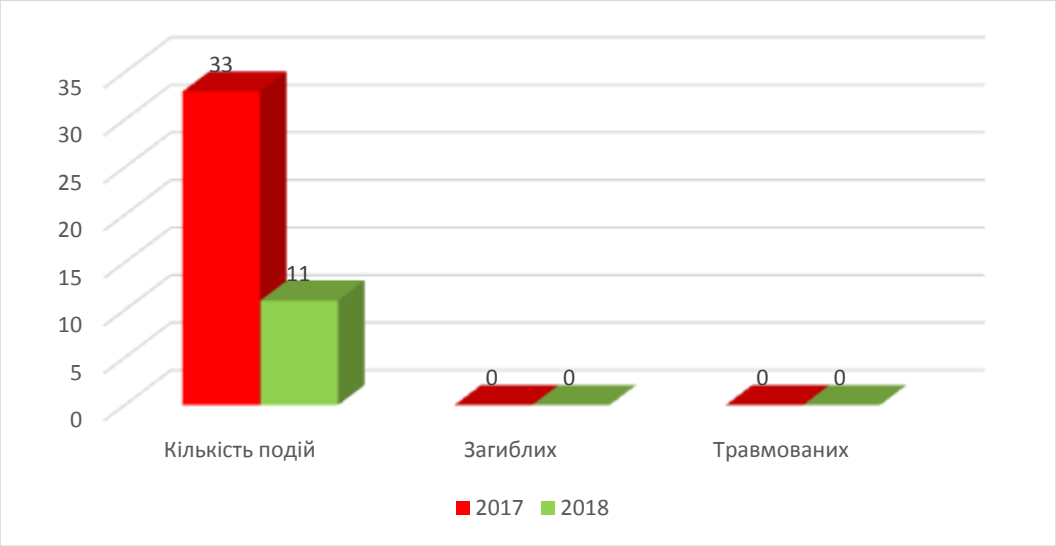


Рисунок 1.8 – Транспортні події під час перевезення небезпечних вантажів залізничним, повітряним, морським та річковим транспортом у 2018 – 2017 р. [29-31]

На рисунку 1.9 показано динаміку кількості транспортних подій з наслідками емісії небезпечних вантажів у довкілля

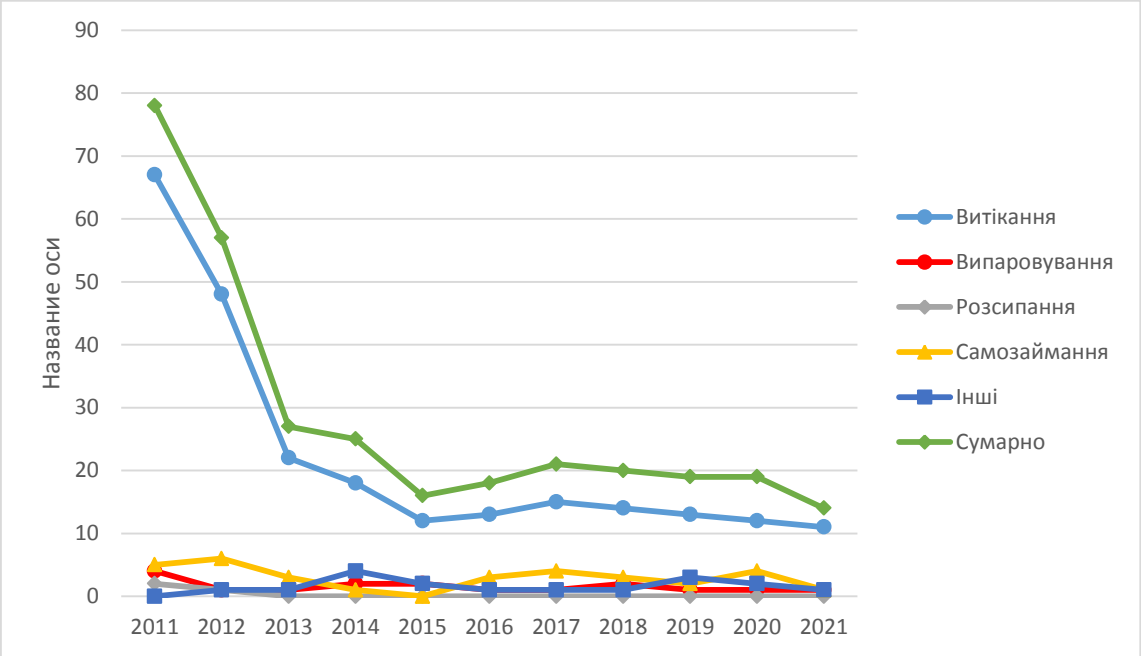


Рисунок 1.9 – Динаміка кількості транспортних подій з емісією небезпечних вантажів у довкілля [29-31, 35]

Аналіз динаміки показує, що витік вантажу стався в 80,8 % випадків, самозайманння вантажу відбулося в 11,2 % випадків, випаровування – у 5,9 % випадків, розсипання у 0,6 % випадків. Інші випадки (ушкодження контейнерів, рухомого складу) були в 1,5% випадків. Аналіз стану безпеки руху поїздів на залізничному транспорті України за період, що розглядається, показує, що на катастрофи припадало 2 % від загальної кількості транспортних пригод, а інциденти – 98 % транспортних пригод.

Усе це багато в чому пов'язане з об'єктами, що перебувають в експлуатації понад 25 років, обладнання яких застаріло фізично та морально, а технічні рішення не відповідають сучасному рівню розвитку науки та техніки, вимогам стандартів та правилам промислової безпеки.

З доступних джерел [18, 19] відомо, що основні виробничі фонди АТ «Укрзалізниця» зношені більш ніж на 90 %, зокрема це стосується рухомого складу (рис. 1.10).

Вимагають заміни понад 20 % залізничних колій, 16 % з яких перебувають у аварійному стані. Понад 85,9 % електровагонів та 97 % дизель-поїздів вклалися у нормативний термін та підлягають демонтажу. З 305 тягових підстанцій 197 експлуатуються понад 40 років [35].

Особливу тривогу викликає незадовільний стан відомчих під'їзних колій, якими перевозять хімічні, запальні та вибухові речовини [35, 36]. Крім перерахованого вище, причинами аварій на залізничному транспорті можуть бути складні погодні умови, людський фактор (помилки в роботі, порушення правил, інструкцій, чинних нормативів, несанкціоноване втручання та ін.), а також терористична діяльність. За таких умов можна констатувати, що рівень ризику виникнення аварійних ситуацій на залізничному транспорті досить високий. Тому необхідно бути готовим до ліквідації наслідків аварій, катастроф, пожеж та інших подій на транспорті.

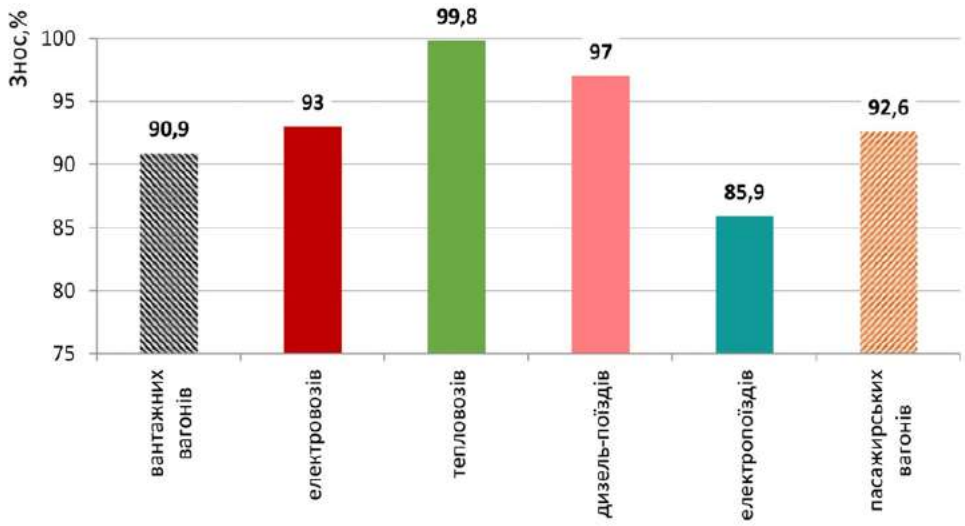


Рисунок. 1.10 – Виснаження існуючого парку рухомого складу Укрзалізниці [37]

Проаналізувавши графіки, діаграми та таблиці, ми можемо зробити прогноз розвитку подій у майбутньому. Як бачимо, відбувається зниження кількості транспортних подій, але не за рахунок посилення норм безпеки під час перевезення небезпечних вантажів, а за рахунок зменшення кількості перевезень. Сьогодні ситуація поступово покращується, і динаміка кількості перевезень збільшується, отже, необхідно ухвалювати рішення щодо підвищення рівня безпеки під час перевезення, а також у разі виникнення нештатної ситуації.

Ліквідація наслідків надзвичайних ситуацій на залізничному транспорті – це комплекс організаційно-технічних заходів, спрямованих на запобігання загрозам, охорону навколишнього середовища, збереження рухомого складу, вантажів, об'єктів залізничної інфраструктури, відновлення руху поїздів та маневрової роботи у найкоротші терміни. У роботі визначено заходи, спрямовані на забезпечення стійкого режиму роботи залізничного транспорту за регульованих впливів, а також заходи щодо локалізації аварійних ситуацій та ліквідації їх наслідків у разі порушення умов перевізного процесу.

1.6 Сучасні методи та підходи до організації перевезення небезпечних вантажів залізничним транспортом

Як було зазначено вище, територією України перевозиться близько 4000 найменувань різних небезпечних вантажів [29-31]. У країні, на території якої ведуться військові дії, знання поводження з небезпечними вантажами та правового регулювання цього аспекту транспортної діяльності є не лише формальністю, а й нагальною життєвою необхідністю.

Так, за даними ПАТ «Укрзалізниця» [29-31], лише за 2017 рік сталося 33 аварійних ситуації під час перевезення небезпечних вантажів, внаслідок яких у довкілля потрапило 134 т промислових відходів (хімічних, отруйних речовин тощо).

Загальновідомо й про масштабні катастрофи. Наприклад, у Львівській області у 2007 р. 15 цистерн із жовтим фосфором зійшли з рейок та перекинулися, спричинивши пожежу, під час якої утворилася хмара продуктів горіння. Площа ураження становила близько 90 квадратних кілометрів, тому з найближчих міст довелося евакуювати людей. У зв'язку з отруєнням продуктами горіння госпіталізовано у стані важкого та середнього ступеня тяжкості 13 осіб .

Щоб уникнути повторення подібних ситуацій, корисно вивчити досвід європейських країн, який може допомогти запобігти подібним трагедіям у майбутньому.

1.6.1 Досвід країн Європейського Союзу

За даними газети «Європейська правда» [38], у найбільш промислово розвинених державах-членах Євросоюзу частка перевезень небезпечних вантажів становить приблизно 20 % від загального обсягу перевезень, з яких майже 40 % становлять легкозаймисті рідини (зокрема, паливо).

Відповідно до Рекомендації ЄЕК ООН № 11[26] до небезпечних вантажів належать усі матеріали, вироби, а також тверді, рідкі та газоподібні речовини, відходи виробничої та іншої діяльності, які можуть спричинити вибух, пожежу, пошкодження технічних засобів, матеріальні збитки та пошкодження майна, довкілля та навколишнього середовища на різних етапах транспортування, а також призвести до загибелі, травм, отруєння людей.

Згідно з документами ООН, перелік небезпечних вантажів містить близько 4000 найменувань та загальних найменувань [29-31], які поділяються на дев'ять класів. Особливе місце займають найбільш небезпечні вантажі, оскільки вони можуть бути використані не за призначенням, зокрема в терористичних цілях, і спричиняти масові людські жертви або значні руйнування (вибухові речовини, пальне, отруйні, інфекційні та радіоактивні речовини, патрони для зброї з фугасним снарядом та ін.).

Основними правилами, що регулюють операції з небезпечними вантажами, є Рекомендації ЄЕК ООН № 11[26] щодо перевезення небезпечних вантажів. Ці рекомендації оформлені у вигляді Стандартних правил перевезення, які періодично оновлюються, що дозволяє розробляти та актуалізувати національні та міжнародні правила. Вони регулюють перевезення, що здійснюються різними видами транспорту. Водночас, ці положення залишаються досить гнучкими, щоб враховувати будь-які додаткові вимоги національного законодавства.

Крім того, існує низка міжнародних документів, що містять положення та вимоги щодо небезпечних вантажів, залежно від виду транспорту. Україна є стороною цих документів, проте як законодавчо, так і організаційно не повністю їх дотримується.

Уклавши угоду про асоціацію з Європейським Союзом, Україна взяла на себе зобов'язання гармонізувати існуючі правила у сфері транспорту з чинними правилами в Європейському Союзі, зокрема з Директивою 2008/68/ЄС [39] щодо внутрішніх перевезень небезпечних вантажів, яка

фактично поширює міжнародні угоди про небезпечні вантажі для внутрішніх перевезень.

1.6.2 Уніфікація нормативних документів України відповідно до законодавства Європейського Союзу

Європейські правила перевезення небезпечних вантажів є складовою затвердження пакету інфраструктурного законодавства, що є вимогою наших європейських партнерів, зокрема Угоди про асоціацію між Україною та ЄС. Проте, що не менш актуально: нові правила поводження з небезпечними вантажами є важливими для безпеки громадян та навколишнього середовища.

Адже визначення чітких та зрозумілих правил перевезення небезпечних вантажів, обов'язків та відповідальності транспортних суб'єктів та уповноважених осіб (консультантів, радників) дозволить прискорити процес вантажоперевезень та тримати під контролем дотримання цих правил.

Крім того, європейським законодавством передбачено забезпечення спеціальної підготовки персоналу компаній, які здійснюють перевезення небезпечних вантажів на всіх рівнях, що дозволить наповнити транспортну галузь висококваліфікованими працівниками та знизити ризик «людського фактору» як однією з ключових причин більшості вантажних аварій.

Адаптація до європейських стандартів вимагатиме додаткових зусиль та витрат.

Набагато дешевше запобігати аварійним ситуаціям під час перевезення небезпечних вантажів, ніж потім усувати їх наслідки.

1.6.3 Регулювання перевезень небезпечних вантажів в Україні

Наразі перевезення небезпечних вантажів в Україні регулюються законом «Про перевезення небезпечних вантажів», а також законами про

окремі види транспорту, актами Уряду та наказами Міністерства інфраструктури та Міністерства внутрішніх справ.

У 2015 році Міністерство інфраструктури спільно з Міністерством внутрішніх справ виконало європейські вимоги, затвердивши «Порядок перевірки цистерн для перевезення небезпечних вантажів» [40], а пізніше ухваливши правила перевезення небезпечних вантажів внутрішніми водними шляхами України [41].

Основними недоліками чинного законодавства, що регулює процес перевезення небезпечних вантажів, є невідповідність різних правових документів та розбіжності між ними, а також невідповідність правил вимогам технічного прогресу.

Більшість змін, внесених до чинного регламенту, мали лише заборонний характер і не враховували міжнародний досвід.

Наприклад, у законі «Про перевезення небезпечних вантажів» відсутній перелік транспортних засобів, призначених для перевезення таких вантажів. Отже, відсутні й вимоги до стану, конструкції та обладнання таких транспортних засобів.

Крім того, внутрішнім законодавством не регламентовано порядок вирішення спорів, пов'язаних із перевезенням небезпечних вантажів, порядок контролю за дотриманням транспортних вимог, а також питання про те, на кого покладається контроль за перевезенням небезпечних вантажів на різних етапах здійснення транспортування.

1.7 Аналіз стану наукових досліджень у сфері запобігання аварійним ситуаціям та ліквідації їх наслідків під час перевезення небезпечних вантажів залізничним транспортом

У зоні аварійного розливу часто спостерігається конфлікт інтересів між прагненням захисту навколишнього середовища і необхідністю якнайшвидшого відновлення вантажного сполучення. Багато факторів

безпосередньо впливають на вибір і реалізацію відповідної стратегії ліквідації аварійних емісій. В умовах дефіциту часу і безлічі сценаріїв розвитку аварійної ситуації вирішити цю організаційну задачу оперативно не є можливим. До того ж наявні технології і регламенти провадження ліквідаційних заходів показують свою оперативну недієздатність і відстрочену ефективність. Таким чином, на практиці локалізація й ліквідація аварійних розливів небезпечних вантажів здійснюється частково або не проводиться зовсім. Узагальнюючи, можна дійти такого висновку: традиційні технології локалізації і ліквідації розливів небезпечних вантажів на залізничному транспорті не мають універсальності, необхідної для оперативного та ефективного захисту довкілля. Отже, необхідно розробити новий підхід, який навіть у складних умовах забезпечить простоту, економічність, універсальність і ефективність організації ліквідаційних заходів.

Цим питанням займаються вітчизняні та зарубіжні вчені, такі як: М. О. Афонін [42, 43], С. В. Бойченко [44], Я. В.Болжеларський [45,46], Р. В. Вернигора, В. Л. Горобець [47, 48], Ю. В. Зеленько [49, 50], Д. М. Козаченко, І. Л. Журавель [51], М. Д. Кацман [52], Д. М. Козадой, Д. В. Ломотько [53-54], О. В. Лаврухін [55], М. Л. Сорока [56-58], О.В. Фомін[59]B. Drzewieniecka & M. Nowak [60], A. A. Conca [61], L. Szaciłło, M. Jacyna з колегами [62], M. Šolc, M. Hovanec [63], F. Borghetti, G. Malavasi [64] та ін.

Дослідників які займаються небезпечними вантажами, можна умовно поділити на 3 категорії:

1. Дослідники які займаються безпекою під час перевезення вантажів.
2. Дослідники які займаються оцінкою ризиків виникнення аварійної ситуації під час транспортування таких вантажів.
3. Дослідники, які займаються локалізацією та ліквідацією аварійних розливів емісій небезпечних вантажів.

Перша категорія дослідників (дослідники, які займаються безпекою під час перевезення вантажів). У дослідженні Афоніна М.О. [42, 43] описано типізацію дорожніх умов за їх складністю, а також диференціацію водіїв за їх психологічними та професійними якостями; наведено результати експериментальних досліджень змін функціонального стану водіїв різних вікових та соціонічних груп залежно від складності дорожніх умов під час перевезення небезпечних вантажів (другий клас ризику), а також порушувалися питання ергономіки транспортних засобів.

Дослідження Болжеларського Я. В.[45] спрямовані на оцінку вимог інтероперабельності до українських вагонів-цистерн, які призначені для перевезення небезпечних вантажів залізничним транспортом. Розглянуті вимоги Технічної сертифікації інтероперабельності до вантажних залізничних вагонів, технічні характеристики вагонів-цистерн, які виробляються в Україні. А також проведені розрахунки для порожнього вагона за наявності підвищення зовнішньої рейки, також зроблені розрахунки критеріїв безпеки руху за цими нормами.

Дослідником Фоміним О.В.[59] для підвищення ефективності експлуатації вагона-хопера запропоновано його удосконалення шляхом розділення кузова на дві окремі секції, що сприяє можливості перевезень в ньому різнотипних вантажів. Для адаптації вагона-хопера до перевезень на залізничних поромах у міжнародному сполученні було запропановано постановка на його шворневих балках вузлів для закріплення ланцюгових стяжок. Визначення динамічної навантаженості несучої конструкції вагона-хопера проведено математичним моделюванням.

У роботі Козаченко Д. М. та Журавель І. Л. [51] охарактеризовано нормативну базу організації перевезень небезпечних вантажів залізницями. Досліджено основні показники перевезення небезпечних вантажів у сучасних умовах функціонування залізничного транспорту. Розроблено деталізовану структуру факторів, які впливають на умови роботи станцій під час перевезень небезпечних вантажів, і запропоновано заходи щодо

вдосконалення технології роботи станцій мережі залізниць з метою підвищення рівня безпеки перевезень.

Дослідниками Козадоєм Д. М. та Ломотько Д. В. [53,54] розглянуто вдосконалення технології виконання міжнародних та внутрішніх перевезень небезпечних вантажів з використанням контейнерних та контрейлерних поїздів. Встановлено, що ці технології мають значні переваги щодо зменшення негативного впливу на навколишнє середовище порівняно з доставкою небезпечних вантажів лише окремими видами транспорту. Наведено коротку характеристику основних екологічних характеристик маршрутів мультимодальних поїздів та оцінено негативний вплив кожного виду транспорту окремо та у складі мультимодальної системи на навколишнє середовище. Запропоновано шляхи подальшого розвитку «зеленої» логістики як фактора безпеки у разі перевезення небезпечних вантажів у контейнерах та трейлерах.

Друга категорія дослідників (дослідники, які займаються оцінкою ризиків виникнення аварійної ситуації під час транспортування небезпечних вантажів). У роботах [16–18] розглядаються проблеми перевезення небезпечних вантажів та причини, що призводить до виникнення аварійних ситуацій. Так, у роботі дослідника Лаврухіна О. В. [55] наведено моделювання поїзних станів при просуванні поїздопотоків з небезпечними вантажами на основі абстрактинх поїзних конструкцій з метою її прогнозування та розв’язання у автоматизованому, а надалі – і у автоматичному режимах.

У дослідженні Вернигори Р. В., Горобця В. Л. [47, 48] з використанням системного аналізу було запропоновано методики для оцінки ризиків під час перевезення небезпечних вантажів, що дозволять посилити заходи безпеки. Розглянуто основні причини ризику (людський фактор, фактори навколишнього середовища, застаріле матеріально-технічне обладнання, виробничий процес, ергономічні чинники тощо) виникнення аварійної ситуації під час перевезення небезпечних вантажів залізничним транспортом.

Проаналізовано формалізований підхід до формування складових системи «людина-машина-навколишнє середовище», що дозволяє розширити можливості оцінки ризиків та аналізу впливу людського фактору на виникнення аварійної ситуації на основі методів математичного моделювання. Запропоновано процедуру координації та організації взаємопов'язаної роботи й відповідальності в системі «відправник – перевізник – одержувач».

У роботі [46] Болжеларський Я. В., досліджуючи сферу небезпечних вантажів, розглядає їх з позиції оцінки ризиків. Його дослідження [46] були спрямовані на оцінювання ризиків залежно від планування. На основі методології MoR (Management of Risk), виконано ідентифікацію та аналіз ризиків (оцінку впливу ризиків). Оцінку ризику здійснювали методом моделювання Монте-Карло. Для ідентифікації ризиків використовувався принцип опису ризиків. Для кожного ризику було вказано причини його виникнення та наслідки, які він може мати.

Дослідник Чеберячко С. І. [65] у своїй роботі розробляв процес керування професійними (динамічними) ризиками при вантажних перевезеннях через зміни в часі небезпечних чинників.

Для побудови процесу керування професійними (динамічними) ризиками вантажних автомобільних перевезень використали основні принципи системної динаміки із застосуванням моделі «краватка-метелик» для встановлення причинно-наслідкових та зворотних зв'язків між небезпечними чинниками, що діють на водія.

У роботі [64] розглядається кількісна модель для аналізу доступності відкритих ділянок залізничної лінії в надзвичайних умовах з використанням дорожньої системи (Borghetti, 2014). У дослідженні [61] описуються особливості формування ризику, пов'язаного з перевезенням небезпечних вантажів, для врахування якого потрібні стратегії та інструменти, що дозволять знизити рівень ризику для суспільства, власності та навколишнього середовища. Це пов'язано з відсутністю у тактичному та

оперативному плануванні додатків для підтримки перевізників небезпечних вантажів.

У роботах Drzewieniecka B. & Nowak M [60], Szaciłło L., Jacyna M., Szczepański E., & Izdebski M [62] описано проблему перевезення небезпечних вантажів залізничним транспортом та дотримання усіх правил міжнародних перевезень, що регламентують дії усіх учасників перевезень.

Третя категорія дослідників (дослідники, які займаються локалізацією та ліквідацією аварійних розливів емісій небезпечних вантажів). Необхідно нагадати, що роботи з ліквідації розливу рідини поділяються такі етапи:

– локалізація розлитої рідини;

– збирання рідини;

– очищення та рекультивація земель.

Сьогодні найбільш поширеним методом ліквідації наслідків аварійних розливів рідких речовин є використання сорбційних технологій [8], тому що вони характеризуються високою ефективністю очищення, технологічністю та економічністю.

Так, у роботі [66] запропонована технологія зі збирання розливів нафтопродуктів під час розробки, видобутку, підготовки та транспортування нафти з нафтових родовищ. Процес первинного збирання розлитої нафти з поверхні землі авторами пропонується здійснювати комбінованим способом з використанням насосів і пересувних вакуумних насосних установок. У цьому випадку може бути застосований спосіб затоплення обсипаної ділянки водою, а найбільш інтенсивне відкачування нафти може організовуватись зі спеціальних накопичувальних ям. Після збору розлитої нафти територія очищається спеціальними сорбційними матеріалами. Автори дослідження [66] пропонують використовувати сорбент «торф–сорб». Його основним компонентом є торф та мох сфагнум. Ця технологія дозволяє збирати розливи небезпечної речовини, проте вона досить складна, передбачає декілька етапів, що значно здорожчують процес локалізації та ліквідації. До того ж, використовуючи сорбент на основі природних матеріалів,

залишається невирішеним питання стосовно їх невеликої сорбційної ємності (ε≥60), і неможливість підвищення їх адсорбційних властивостей. Також торф'яний мох – цінна органічна речовина, що утворюється торф'яними болотами. Обмежена доступність торфу в усьому світі, потреба в руйнівному видобутку торфу із заболочених угідь і, як наслідок, обмежена кількість сировини створює проблеми із логістикою вироблення зазначених сорбційних матеріалів та в подальшому систематичному використанні їх для локалізації та ліквідації розливів нафтопродуктів.

Варіантом подолання відповідних труднощів може бути використання сорбентів з шерсті та волосся, запропоноване іншими авторами у роботі [67]. Адсорбенти екологічного походження, виготовлені із собачого хутра та людського волосся, показують незначну перевагу перед іншими типами сорбентів (ε≥85). Проте залишається питання стосовно регенерації сорбенту після його використання та неможливості повернення адсорбованої речовини. Також все ще залишається не вирішеним питання щодо можливості підвищення адсорбційних властивостей вказаного сорбенту.

У роботі [68, 69] наведено спосіб отримання сорбенту з різних рослинних відходів (солома злакових культур, висівки, торф). Також описано процес карбонізації, температура якого становить 900 °C. У роботі [68] наведено креслення з детальним описом лабораторної установки для отримання активованого вугілля. Використання різних рослинних відходів, завдяки процесу карбонізації, дозволяє підвищувати адсорбційні властивості сорбентів. Проте висока температура для отримання сорбенту ставить під сумнів економічну доцільність використання цього методу.

Тож одним з основних питань для виготовлення «USS» є добір сировини. Усе це пов'язано, по-перше, із складністю пошуку необхідної сировини, з якої можна було б виготовити «Універсальне сорбційне полотно», по-друге – з відсутністю стандартизованих методик для перевірки фізико-хімічних властивостей отриманих сорбентів, які б могли підтвердити

універсальність сорбенту відносно різних класів рідких небезпечних вантажів.

Варто зауважити, що у випадку транспортних аварій, які найчастіше відбуваються на лінійних об’єктах інфраструктури, використання сорбентів рекомендовано для ліквідації аварійних наслідків тільки в разі перевезення рідких небезпечних речовин. Тому при розробці універсального сорбенту акцент треба ставити на класи небезпечних вантажів, що характеризуються рідкою фракцією при перевезенні й можуть бути ліквідовані сорбційними методами, а саме:

– клас 3 Легкозаймисті рідини;

– клас 5.1 Речовини, що окислюють;

– клас 5.2 Органічні пероксиди;

– клас 8 Корозійні речовини.

Активоване вугілля [70, 71] – єдиний промисловий сорбент, що має неполярну поверхнею. Він добре адсорбує органічні, зокрема неполярні речовини, наприклад: розчинники (вуглеводні, їх галогенопохідні, прості й складні ефіри тощо), барвники, нафтопродукти тощо.

Карбонізація рослинної сировини супроводжується паралельними процесами дегідратації з утворенням вугілля та полімеризації з утворенням різноманітних смол через левоглюкозан [73-76]. Причому в кожній роботі дослідники описують та аналізують процес карбонізації на прикладах різної сировини: соснова тирса [73]; тирса у комбінації з мінеральними речовинами (каолін, бетоніт, тальк та ін.) [74]; нанопорошок «УДП ОГА» на основі алюмінію з водою [75]; рослинні відходи [76], акцентуючи увагу також і на температурі карбонізації.

В усіх наукових дослідженнях [68–76] процес карбонізації класифікований за чотирма стадіями, які повною мірою описують хімізм карбонізації, зображений на рисунку 1.11.

Рисунок 1.11 – Стадії процесу карбонізації

Остаточна карбонізація рослинної сировини настає за температури обробки в діапазоні від 800 °C до 950 °C [68–76]. Проте супроводження процесу отримання сорбенту високотемпературною карбонізацією змушує задуматися над пошуком інших матеріалів для карбонізації, що не потребуватимуть їх обробки за високих температур. Це забезпечить енергетичну та економічну ефективність і, як наслідок, зменшення собівартості продукту.

У роботах [8, 66–76] досить детально описано способи отримання універсального сорбенту, які використовуються в усьому світі.

Проте ефективність ліквідаційних заходів залежать не тільки від методики, що застосовується, а й від ефективності її реалізації, що формує наступну проблему, яка також потребує вирішення. Вона пов’язана з відсутністю чіткої скоординованої та взаємопов’язаної роботи і відповідальності в системі «відправник – перевізник – одержувач», що зі свого боку впливає на безпеку під час перевезень небезпечних речовин.

Слід наголосити, що всі питання, які порушуються дослідниками в роботах [42-76], розглядаються не в розрізі функціональної системи «відправник – перевізник – одержувач», а як окремі елементи системи, які жодним чином не взаємодіють один з одним. Тож це завдання й надалі є актуальним.

Для усунення вказаних недоліків щодо властивостей сорбенту та способів його використання для локалізації та ліквідації аварійних наслідків можна застосовувати підхід, використаний Сорокою М. Л. у роботі [77]. Так, дослідник описує способи локалізації та ліквідації розливів небезпечних речовин (нафтопродуктів та їхніх похідних) через використання сорбційних бонів, які кріпляться з обох боків вагонів для перевезення небезпечного вантажу. Проте локалізація та ліквідація аварійних розливів за допомогою способу, наведеного в дослідженні [77], не вирішує таких питань: визначення динамічного балансу для переоснащених вагонів (сорбційні бони, що прикріплені до вагонів); оцінка навантаження на колісні пари рухомого складу та зменшення кількості вантажу (через збільшення навантаження на колісні пари); оцінка матеріально-балансової ефективності сорбентів (співвідношення кількості матеріалу до площі розливу); швидкість розгортання локалізаційно-ліквідаційних заходів.

Дослідник Кацман М.Д. [35] частково намагався вирішити проблеми злагодження ліквідаційних підрозділів, аварійно-відбудовних та пожежних поїздів під час ліквідації наслідків розливу емісій небезпечних вантажів. Проте основний упор в роботі [35] зроблений саме на аварійні ситуації, що супроводжуються пожежами та вибухами. Навіть запропоновані сценарії ліквідації наслідків аварій для ліквідаційних підрозділів, аварійно відбудовних та пожежних поїздів базуються на специфіці роботи пожежних підрозділів. Проте на сьогодні відсоток аварій з розливом емісій з небезпечними вантажами, що супроводжуються пожежами, тим паче вибухами, відносно низький (≤ 25) [29-31], тож недоцільно спиратися тільки на сценарії, які притаманні пожежним підрозділам.

Аналізуючи наявну проблематику, виникає необхідність удосконалення існуючих методів ліквідації аварійних розливів для підвищення ефективності, впровадження принципів ресурсозбереження та безпеки навколишнього середовища.

Висновки до розділу 1

Проаналізувавши динаміку перевезення небезпечних вантажів та кількості транспортних подій із характером впливу небезпечних вантажів у довкілля, досвід європейських країн та України у сфері перевезень небезпечних вантажів, методи локалізації та ліквідації емісій небезпечних речовин, а також бачення дослідників щодо уніфікації нормативних документів України відповідно до країн Європейського Союзу, можна зробити такі висновки:

1. У першому розділі дисертаційного дослідження виконано аналіз статистичних даних основних показників роботи АТ «Укрзалізниця», у результаті якого виявлено, що Україна має розвинену транспортну систему, якою в 2021 р. перевезено понад 621 млн т вантажів, при цьому 87% цих перевезень припадає на залізничний та автомобільний транспорт. Статистичні показники продемонстрували, що залізничний транспорт і далі займає найбільшу частку в загальному обсязі перевезень, зокрема у 2009 — 2015 рр. вона становила 56-59 %, після 2019 – понад 46 %.
2. Перелік небезпечних вантажів, які перевозяться залізничним транспортом, становить близько 4000 назв [29-31]. Співвідношення кількості перевезених вантажів у 2021 році за класами небезпеки показує, що найбільше перевозилися речовини класу небезпеки 3 (легкозаймисті речовини) та речовини класу небезпеки 4.2 (речовини, здатні до самозаймання).
3. Описаний досвід європейських країн та України у сфері перевізного процесу небезпечних вантажів демонструє, що, уклавши угоду про асоціацію з Європейським Союзом, Україна взяла на себе зобов'язання гармонізувати існуючі правила у сфері транспорту з чинними правилами в Європейському Союзі, зокрема з Директивою 2008/68/ЄС [39] щодо внутрішніх перевезень небезпечних вантажів, яка фактично поширює міжнародні угоди про небезпечні вантажі для внутрішніх

перевезень. Адаптація до європейських стандартів вимагатиме додаткових зусиль та витрат. Набагато дешевше запобігати аварійним ситуаціям під час перевезення небезпечних вантажів, ніж потім усувати їх наслідки.

4. Позиції дослідників щодо уніфікації нормативних документів України відповідно до актів країн Європейського Союзу сходяться до того, що найкращим варіантом буде прийняти Правила перевезення небезпечних вантажів (Поточна редакція) як основний документ у процесі перевезення небезпечних вантажів залізничним транспортом.

5. Результати критичного аналізу стану наукових досліджень у сфері запобігання аварійним ситуаціям та ліквідації їх наслідків під час перевезення небезпечних вантажів залізничним транспортом показали, що здебільшого питання у сфері поводження з небезпечними вантажами (крім досліджень [34,77]) розглядаються не в розрізі функціональної системи «відправник – перевізник – одержувач», а як окремі елементи системи, які жодним чином не взаємодіють один з одним. Цим самим підтверджено актуальність та необхідність удосконалення існуючих методів ліквідації аварійних розливів для підвищення їх ефективності, впровадження принципів ресурсозбереження та безпеки довкілля.

6. Враховуючи, що діяльність у сферах сільського господарства, хімічної промисловості, будівництва та інших постійно пов’язана з процесами перевезень НВ, необхідно контролювати дотримання умов перевищення корисного ефекту від функціонування залізничного транспорту над збитками, що пов’язані із забрудненням навколишнього середовища.

7. На основі аналізу динаміки аварійності під час перевезення небезпечних вантажів визначено, що за 2017–2019 роки зафіксовано 78 транспортних подій на залізничному транспорті. З них на катастрофи припадає 2 %, на інциденти – 98 %.

8. Аналіз динаміки кількості транспортних подій з емісією небезпечних вантажів у навколишньому середовищі показав, що витікання вантажу сталося у 80,8 % випадків, самозайманння вантажу відбулося в 11,2 % випадків, випаровування – у 5,9% випадків, розсипання у 0,6 % випадків.
9. Визначено, що найбільша кількість аварій, а також максимальна емісія токсикантів спостерігається внаслідок аварійних розливів нафти та нафтопродуктів, що надалі призводить до еколого-економічних збитків інфраструктури, які сягають сотень тисяч доларів США.
10. Для забезпечення стійкості функціонування залізниць в умовах аварійних ситуацій необхідне впровадження сучасних екологічно орієнтованих, інноваційних рішень щодо запобігання аварійним ситуаціям та ліквідації їх наслідків.

Результати першого розділу опубліковані в наукових працях [1-3, 6, 9, 10].

РОЗДІЛ 2
УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМ ЛІКВІДАЦІЇ АВАРІЙ ТА РОЗРОБКА УНІВЕРСАЛЬНОГО СОРБЕНТУ ЯК ЗАСОБУ МІНІМІЗАЦІЇ НАСЛІДКІВ АВАРІЙНИХ СИТУАЦІЙ ПІД ЧАС ПЕРЕВЕЗЕННЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ РЕЧОВИН

Існує багато способів ліквідації аварійних наслідків під час перевезення небезпечних вантажів, таких як нейтралізація, гасіння піною чи водою, але найбільш поширеним методом локалізації наслідків є використання сорбентів, тому що для них характерні високий ступінь очищення, низька собівартість, простота отримання та використання.

Сорбційні матеріали широко застосовують у багатьох галузях промисловості, сільському господарстві та медицині. Багато в чому сорбент майже незамінний у ході ліквідації наслідків аварійних розливів рідких небезпечних речовин, таких як, наприклад, нафта, нафтопродукти і хімічні речовини Розливи небезпечних речовин призводять до серйозних наслідків, аж до екологічних катастроф. Технологію усунення забруднень шляхом використання сорбентів розробили для швидкого усунення наслідків розливів.

У цьому розділі заплановано: розглянути та проаналізувати принципи формування сучасних систем для ліквідації аварій; вивчити кінетичні залежності сорбціїї рідких фракцій НВ розробити «USS»; проаналізувати сировину для виготовлення «USS»; описати методики для отримання універсального сорбенту, що входить до складу «USS»; дослідити кількісні та якісні показники «USS» та довести можливість використання його як матеріал для локалізації та ліквідації наслідків аварійних розливів емісій. У ході дослідження використовували фізико-хімічні методи. Усі дослідження виконували за стандартизованими методиками на повіреному обладнанні Українського державного університету науки і технологій.

2.1 Принципи формування сучасних систем для ліквідації аварій

Аварії на залізничному транспорті під час перевезення небезпечних вантажів практично у всіх випадках призводять до хімічного, біологічного, радіаційного зараження, пожеж, вибухів з екологічними та економічними наслідками [35]. Характерними особливостями таких аварій є значні розміри та висока швидкість формування зони ураження.

При цьому заходи надання допомоги постраждалим визначаються характером тілесних ушкоджень, ступенем пошкодження технічних засобів, забрудненням навколишнього середовища, наявністю вторинних факторів впливу.

Залежно від масштабу локалізації та ступеня небезпеки речовин до ліквідації наслідків надзвичайної ситуації залучаються як аварійно-рятувальні частини залізниці, так і пожежно-рятувальні формування ДСНС. При цьому на кожне угруповання покладаються певні обов'язки.

На пожежно-рятувальні формування, що прибувають на місце НС, покладаються завдання, що позначені на рис. 2.1.

Рисунок 2.1 – Завдання пожежно-рятувальних формувань

Для ліквідації наслідків аварійних ситуацій з НВ необхідно враховувати їх властивості не лише за класом небезпеки, а насамперед за групою пакування [35, 78, 79]. Тобто для ліквідації аварійної ситуації вантажів класу 1 (вибухових речовин (далі – ВМ)) враховується їхня здатність завдавати значної шкоди життю та здоров'ю людей, житловим,

виробничим та інфраструктурним об'єктам під час транспортування. Також у ході планування аварійно-відновлювальних робіт з ВМ звертають увагу на підклас навантаження.

Так, підклас 1.1 (ВМ з небезпекою вибуху масою) вибухає всією масою під впливом ударів, нагрівання, детонації з утворенням ударної хвилі, що призводить до руйнування рухомого складу, будівельних конструкцій, засобів реконструкції та пожежогасіння, травм людей. Окрім ударної хвилі, уламки пакетів, вагонів, будівельних конструкцій тощо, які на великій швидкості влітають у зону вибуху, теж можуть завдати великої шкоди; небезпеку несуть газоподібні продукти вибуху (окис вуглецю, оксиди азоту, фосфор, ціаністий водень).

Згоряння метальної зброї (порох, ракетне паливо) підкласів 1.2 (невибухові масові вибухові речовини і 1.3 (Вибухові матеріали пожежонебезпечні, що не вибухають масою) за зовнішнім впливом має вигляд вибуху, що супроводжується руйнуванням паковання, транспортного засобу й розльотом окремих уламків на значну дальність (заряди ракетного палива можуть летіти на кілька кілометрів, осередки займання).

Підкласи 1.4 (МВ, які не становлять значної небезпеки), 1.5 (МВ дуже низької чутливості) та 1.6 (МВ вкрай низької чутливості) значно менш небезпечні, можливість вибуху дуже мала, навіть під час запалення або пуску.

Порядок дій спеціалізованих підрозділів визначається Положеннямта іншими чинними нормативними актами.

Стиснені, зріджені та розчинені гази (клас 2) перебувають під тиском у ємностях посудинах (цистернах, балонах) за рахунок утворення в них надлишкового тиску, який значно зростає з підвищенням температури і може призвести до розгерметизації ємності посудини або її руйнування. У разі пошкодження резервуарного котла з негорючим та нетоксичним газом резервуар виноситься в безпечне місце та перебуває під наглядом. Усунення витікання або розливів вантажу в порожній цистерні виконується в

присутності фахівців відправника вантажу (отримувача). При розгерметизації резервуара та наявності витоку пального газу, густина якого більша за густину повітря, щоб уникнути створення вибухонебезпечної концентрації та виникнення сильного вибуху або об'ємного займання газу, що виділився, його підпалюють. На підставі письмового повідомлення фахівців після визначення зони газифікації, евакуації людей та оцінки можливих наслідків об'ємного займання суміші за підписом керівництва та при інтенсивному охолодженні котел, баки дозволено спалювати. У разі витоку отруйних газів для ізоляції газу створюється водяна завіса.

У випадку поломки критого вагона або контейнера з балонами зі стислими або зрідженими газами [35, 78, 79] вагон (контейнер) розкривають, не допускаючи іскор та займання, для перевірки цілісності балонів, наявності витоків газу та ступеня загазованості з дотриманням заходів безпеки, передбачених у аварійній карточці. А потім, перевіривши вагони, контейнери, виконують роботи з оформлення згідно з інструкцією.

До небезпечних речовин класу 3 належать легкозаймисті рідини, температура спалаху яких у закритому тиглі не перевищує +61°С. До основних властивостей виробів класу 3 належить здатність у разі витоку створювати горюче середовище з пожежонебезпечною концентрацією пари над поверхнею розлитої рідини при температурі навколишнього повітря вище температури спалаху займання, при цьому горюча концентрація парів може поширюватися від місця утворення на відстань понад 2 км, а при низьких температура самозаймання парів 100-300°С може призвести до їх займання від гарячих поверхонь.

Для резервуарів, що містять Легкозаймисті речовини(далі ЛЗР), має забезпечуватись герметичність та відсутність нагріву. Нагріті резервуари можуть бути небезпечними, викликаючи опіки. Крім того, нагріті резервуари, особливо їхні верхні частини, що не стикаються з рідкою фазою, можуть викликати займання парової фази уразі їхнього переміщенні з місця на місце із сильними ривками через рух рідкої фази та гідравлічного удару.

Тому під час роботи підрозділів з такими цистернами необхідно передбачити можливість негайного відчеплення тягового обладнання та його переміщення на безпечну відстань, при цьому пожежна техніка має бути в повній готовності. У разі пошкодження бака з ЛЗР, що супроводжується протіканням, необхідно вжити заходів щодо усунення течі, перемістити бак на безпечну відстань та злити вміст у порожній бак. У разі виникнення пожежі при протіканні ЛЗР необхідно створити наземний бар'єр на шляху рідини, що горить, загасити пожежу або підтримувати варіння до повного згоряння рідини, що витекла.

Порожні баки слід вважати небезпечними так само, як і повні.

У разі гасіння пожежі вантажів класу 4.1 враховується, що недостатня вологість сприяє самозайманню після припинення горіння. Після гасіння пожежі таких вантажів [35, 78, 79] виконують додатковий контроль над появою повторних вогнищ.

У разі потрапляння у аварійну ситуацію вагонів з небезпечними вантажами класу 4.2 особливо слід наголосити, що деякі з них (жовтий фосфор, металоорганічні сполуки) самозаймаються, контактуючи з киснем повітря. У цьому випадку запобігти виникненню процесу горіння практично неможливо. При горінні утворюються отруйні речовини. Продовження робіт можливе після гасіння пожежі вогнегасними речовинами, що вказані в аварійній карті.

Речовини класу 4.3 характеризуються високою активністю по відношенню до води. Взаємодія із водою має характер вибуху. У результаті хімічної реакції утворюються горючі гази.

Більшість вантажів цього класу є горючими. Ці властивості враховують під час виконання робіт поблизу водойм та річок, у дощову погоду або взимку.

До класу 5 належать окислювальні речовини і органічні пероксиди, речовини, що виділяють кисень і викликають самозаймання горючих речовин або утворюють з іншими речовинами вибухонебезпечні суміші.

Властивістю небезпечних вантажів цього класу є здатність розкладатися з утворенням кисню [35, 78, 79]. Під час нагрівання процес розкладання перекисів може супроводжуватись вибухом, що призводить до розвитку пожежі у аварійній ситуації; що утворює суміші з горючими речовинами, що самозаймаються в момент їх утворення або активуються за наявності джерела займання; утворює токсичні речовини під час контакту з неорганічними речовинами. Займисті речовини прибираються з місця аварії вантажу.

Клас 6 - Токсичні речовини (отруйні). Вантажі класу 6.1 у разі проникнення в організм або потрапляння на шкіру в екстрених ситуаціях викликають отруєння та захворювання. Більшість вантажів цього класу є горючими речовинами та під час горіння утворюють газоподібні отруйні речовини [35, 78, 79] (ціаністий водень, фосген, хлористий водень, оксиди азоту та ін.). Особливо небезпечні леткі речовини, оскільки в умовах НС вони можуть створювати небезпечні концентрації та призводити до отруєння не тільки в районі НС, а й на значній відстані від нього. У разі пожежі нагрівання викликає випаровування та розкладання негорючих та нелетких токсичних речовин, що збільшує ризик отруєння.

При аваріях під час перевезення радіоактивних матеріалів (вантажів 7-го класу небезпеки) необхідно керуватися заходами, розробленими відправником вантажу відповідно до Положення про планування заходів та дій при аваріях при перевезенні радіоактивних матеріалів, затверджених наказом Держатомрегулювання України від 04.07.2005 N 38 [80], що додаються до транспортних документів. Доступ до зони радіаційної транспортної аварії дозволено особам, зайнятим аварійно-відновлювальними роботами. Тобто фахівці відправника (одержувача), територіальної служби цивільного захисту України [35,78,79] після прибуття на місце радіаційної аварії спільно з фахівцями Держатомрегулювання України і залізниці виявляють потерпілих, яку їм було надано екстрену допомогу і якою мірою визначають ступінь радіаційної небезпеки за показниками відповідних

приладів, перевірити цілісність вантажної тари чи паковання, наявність у зоні аварії легкозаймистих і горючих рідин чи газів, вибухонебезпечних, отруйних чи окиснювальних речовин, можливість займання поблизу паковань з радіоактивними матеріалу; зібрати інформацію про місцезнаходження населення, розташування водойм, можливість доступу в район аварії. Уся зібрана інформація використовується фахівцями в ході планування та реалізації заходів щодо ліквідації наслідків надзвичайної ситуації, спричиненої радіоактивним забрудненням місцевості .

У ході роботи з небезпечними вантажами класу 8 (їдкі речовини) враховують, що при безпосередньому контакті ці речовини спричиняють ураження живих тканин, а при витіканнях та розливах – пошкодження та знищення вантажів та транспортних засобів[35,78,79]. Окремі вантажі цього класу є горючими речовинами, що утворюють токсичні продукти горіння, що виявляють окиснювальні властивості та підпалюють горючі речовини (матеріали).

2.2 Концепція розробки сорбційних матеріалів для ліквідації наслідків аварій під час перевезення небезпечних вантажів

Зазвичай у аварійних ситуаціях під час перевезення небезпечних вантажів (розливів), якщо виключена можливість самозаймання, їх спочатку знешкоджують спеціальними розчинами, а потім зрізають забруднений ґрунт для подальшої утилізації. Тут слід зауважити, що методи знешкодження не завжди підходять для ліквідації, а особливо для локалізації наслідків аварійних розливів, тому що не всі речовини можуть бути використані як нейтралізатори, особливо якщо існує можливість змішування вантажів різних класів небезпеки. Крім того, потрібно розуміти, що для конкретного класу вантажу, рекомендований певний нейтралізант, тому необхідно мати широкий спектр різних розчинів-нейтралізаторів, що значно збільшує вартість ліквідаційних заходів. Але є й інші методи ліквідації, наприклад,

сорбційні, які дозволяють локалізувати та ліквідувати розливи вантажів різних класів небезпеки, а також дають змогу універсалізувати цей процес для більшості класів небезпечних речовин, що значно знижує вартість ліквідації розливів. Саме тому в роботі запропоновано використання сорбційних методів ліквідації наслідків аварій під час перевезення небезпечних вантажів як ефективніших та економічно вигідніших.

Щоб зрозуміти переваги методів сорбції, розглянемо сам термін «сорбція» і те, як його можна використовувати для поліпшення вимірювань локалізації та кліренсу.

У загальному сенсі під сорбцією розуміється поглинання газів, пари та розчинених речовин твердими або рідкими тілами (адсорбентами).

Також необхідно розуміти, що сорбція – це сукупність процесів адсорбції, абсорбції, хемосорбції та капілярної конденсації, які відрізняються одна від одної формою абсорбції, тому [81, 82]:

- адсорбція – поглинання поверхнею твердого тіла або поглинання на межі поділу «рідина – рідина» та «рідина – газ (пар)»;
- абсорбція – абсорбція всією масою рідини або твердого тіла;
- хемосорбція – абсорбція з утворенням хімічної сполуки;
- капілярна конденсація, що виявляється в утворенні рідкої фази в порах та капілярах поглинача.

Поглинаюче тіло називають сорбентом, а поглинуте – сорбатом (сорбативом).

Сорбційні процеси широко застосовуються в промисловості для очищення хімічних продуктів, уловлювання парів і газів, збагачення корисних копалин тощо. У водних розчинах роль сорбенту часто виконують колоїди [83, 84]. До твердих сорбентів, здатних до регенерації та широко застосовуваних у техніці, належать активоване вугілля, силікагель, іоніти, цеоліти.

Технологічні адсорбенти поділяються на такі види:

а) за абсорбційним методом:

1) адсорбенти, у яких токсини «накопичуються» на поверхні адсорбенту;

2) абсорбенти, у яких токсична речовина поглинається по всьому об'єму абсорбенту.

б) за походженням[82]:

1) мінеральні (бентоніти, палігорскіти);

2) органічні (сполуки органічного походження на основі модифікованих глюкоманнанів клітинних стінок дріжджів та бактеріального пептидоглікану, неперетравлюваної целюлози, різних видів активованого вугілля);

3) синтетичні полімери (холестирамін, полівінілпіролідон).

З огляду на вищевикладене, необхідно визначити, які властивості сорбенту будуть відповідати сформульованим вимогам щодо ліквідації аварійних розливів. При цьому необхідно звертати увагу на факт взаємодії окремих адсорбентів із різними речовинами, що підлягають локалізації або видаленню. Тому в ряді випадків сорбційні матеріали можуть працювати неефективно через помилкову оцінку їх можливих властивостей.

Також варто зауважити, що адсорбенти застосовуються для ліквідації наслідків аварій лише під час перевезення рідких небезпечних речовин. Саме тому ліквідація не всіх класів небезпечних вантажів сорбційними методами буде ефективною.

З урахуванням акценту на економічність та технологічність заходів увага була зосереджена на розробці універсального адсорбенту, який може бути використаний для локалізації та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій при перевезенні небезпечних вантажів, для таких груп небезпечних вантажів:

Клас 3. Легкозаймисті рідини

Клас 5.1. Окислювальні речовини

Клас 5.2. Органічні пероксиди

Клас 8. Корозійно-активні речовини

Крім того, необхідно зауважити, що деякі речовини класів 4.3, 6.1, 6.2 і 9, що перебувають у рідкому стані, також можуть бути ліквідовані сорбційними методами. Але під час роботи із цими вантажами може виникнути потреба у створенні особливих умов, що потребують високої кваліфікації персоналу. Тому основна увага при розробці універсального сорбенту була зосереджена на ліквідації рідких речовин класів 3, 5.1, 5.2 та 8, обсяги яких переважають [розділ 1]

У табл. 2.1 наведено найбільш поширені матеріали, які застосовуються як сорбенти для ліквідації наслідків аварій під час перевезення небезпечних вантажів залізничним та водним транспортом [82].

Аналіз таблиці дозволяє зробити висновок, що найбільш поширеними адсорбентами є активоване вугілля та тирса. Саме тому ці матеріали використовували для виробництва універсального сорбенту з композиційних матеріалів.

Таблиця 2.1 – Сорбційні матеріали для ліквідації наслідків аварій під час перевезення небезпечних вантажів різними видами транспорту [35,78]

Сорбенти	Класи небезпеки			
	Клас 3 (легкозаймисті речовини)	Клас 5 (органічні пероксиди)		Клас 8 (їдкі речовини)
		5.1	5.2	8.1
Активоване вугілля	+	+	+	+
Кам'яне вугілля				
Пісок (глина)	+			
Вовна	+			
Модифіковані торфи	+			
Деревна тирса	+	+	+	
Продукти із сушеного зерна	+			
Макулатура		+	+	

Для порівняння технологічних параметрів проаналізовано досвід використання універсальних адсорбентів у різних країнах, зокрема й в Україні.

Аналіз досвіду використання сорбентів різних марок та призначень

Торф'яний поглинач SONET-SORB [86, 87]. Екологічно чистий торф'яний продукт сорбент *SONET-SORB*, призначений для швидкого поглинання та фіксації нафти, нафтопродуктів, олій, мазуту та інших неполярних рідких забруднювачів вуглеводневої природи. Сорбент застосовується на суші та водній поверхні, а також для створення буферної зони біля берега, видалення райдужних тонких плівок, очищення гаваней, забруднених скельних поверхонь, причалів, хвилерізів, замаслених металоконструкцій, транспортних засобів.

Зберігає працездатність при температурі від -20°С до +100°С.

Сорбент виготовляється з донних торфів за технологією піролізу. Має найвищу насипну густину серед аналогів. При використанні реальних природних умовах сорбент не розсіюється на вітрі й щільно покриває забруднене місце.

Дрібнодисперсна структура (дрібнодисперсний порошок) має максимальну площу контакту й властивість швидкого вбирання нафтопродуктів. Сорбент можна ефективно розпорошувати за допомогою різного пневматичного обладнання.

Технологія піролізу робить адсорбент максимально гідрофобним. Сорбент не вбирає воду, залишається у воді в конгломераті й не дає змиватися покритій плямі не менше ніж 25 днів.

Ефективність адсорбенту в широкому діапазоні температур від -20 до +100 °С.

Швидкість сорбції нафтопродуктів: товарної нафти середньої в'язкості за температури +20ºС становить 15-30 с, бензину та тонких (райдужних) плівок вуглеводневого характеру з поверхні води – 1-2 с, моторного мастила – 5-8 с. За від’ємних температур час поглинання мастила збільшується до 1-2 хв.

Основні переваги сорбенту *SONET-SORB* серед торф'яних аналогів [84,85]:

1) Сорбент має швидку абсорбцію органічних забруднень завдяки своїй структурі; сорбент стерильний, тому не має патогенних мікроорганізмів.
2) Сорбент швидко покриває плями забруднень і швидко їх поглинає.
3) Адсорбент може знімати з поверхні води тонкі (райдужні) плівки.
4) Сорбент економно локалізує та усуває аварійні розливи на водній поверхні.
5) Сорбент немає процесу десорбції.
6) Сорбент має високотехнологічне застосування завдяки своїй реології як дисперсного матеріалу.
7) Сорбент можна використовувати як на суші, так і у воді.

Утилизація сорбентів та конгломератів здійснюється: шляхом спалювання з метою отримання теплової енергії на діючих електростанціях без її перетворення; як пластифікуючий компонент під час виробництва дорожніх покриттів; як компонент для виробництва протифільтраційних екранів; шляхом поховання на звалищі; переробка на підприємствах, що займаються утилізацією побутових відходів (можлива з попереднім вилученням нафтопродуктів) та подальшим спалюванням або внесенням у ґрунт адсорбенту.

Загалом усі способи утилізації відпрацьованого адсорбенту екологічно безпечні та потребують значних витрат.

Біорозкладний абсорбент OCLANSORB [82, 86]. Екологічно безпечний, нетоксичний, неабразивний органічний сорбент має здатність біологічно розщеплювати абсорбовані нафтопродукти.

На відміну від інших абсорбентів, OCLANSORB миттєво поглинає та інкапсулює абсорбовані вуглеводні, а також пригнічує їх леткі та горючі пари.

Сорбент виготовлений із торф'яного моху сфагнуму (Sphagnum Peat Moss) компанією "HI POINT INDUSTRIES" (Ньюфаундленд, Канада).

Компанія «TIET» є ексклюзивним офіційним дистриб'ютором нафтоабсорбенту та нафтопродуктів OCLANSORB [84,86] у країнах Митного союзу.

Призначення адсорбенту OCLANSORB і галузь застосування: має експрес-абсорбцію та фіксацію нафти, мастил, мазуту та інших рідких забруднень вуглеводневої природи в ґрунті та на поверхні водойм; завдяки адсорбенту можна створити буферну (захисну) зону біля узбережжя і пляжів, щоб уникнути забруднення нафтопродуктами, що скидаються на берег; сорбент може очищати забруднені поверхні доків, скель, резервуарів, замаслених приміщень, а також видаляти нафтопродукти з інших поверхонь; він може видалити маслянисту (райдужну) плівку на поверхні води.

Також може застосовуватися для рекультивації територій, забруднених нафтопродуктами, і запобігання забруднення підземних вод.

Переваги сорбенту:

1) сорбент нетоксичний, виготовлений із природної сировини за спеціальною технологією;
2) не містить патогенних мікроорганізмів;
3) сорбент не порушує екологічного балансу в екосистемах, не впливає на біотипи й не викликає мутагенезу;
4) не робить негативного впливу на довкілля, абсорбовані нафтопродукти повністю затримуються сорбентом, що дозволяє безпечно утилізувати використані сорбенти;
5) сорбент характеризується високою гідрофобністю, не намокає та не розчиняється у воді, швидко розтікаючись поверхнею забруднення. У разі контакту з нафтопродуктами незворотно зв'язується та вбирається, перешкоджаючи поширенню забруднення;
6) легкий та зручний для транспортування, зберігання та використання;
7) сорбент характеризується плавучістю не менше 10 діб, при випадінні на дно нафтопродукти, поглинені сорбентом, містяться всередині частинок сорбенту в інкапсульованому вигляді й поступово розкладаються;

8) сорбент неабразивний під час використання та не ушкоджує пластикові, металеві та інші покриття;

9) сорбент можна наносити як механічним, так і ручним способом.

Використання сорбентів та конгломератів можливе: шляхом спалювання для одержання теплової енергії на діючих електростанціях без її перетворення; як пластифікуючий компонент під час виробництва дорожніх покриттів; як компонент для виробництва протифільтраційних екранів; поховання на звалищі.

Універсальний гранульований абсорбент. Термін придатності за дотримання умов зберігання необмежений.

Абсорбент органо-мінеральних нафтопродуктів ЕКОЛАН [82,87]. Високоефективний нафтосорбент є органо-полідисперсним порошком з високорозвиненою питомою поверхнею.

Сорбент може бути використаний для швидкого та ефективного видалення аварійних розливів нафти та нафтопродуктів з відкритих водних поверхонь, ґрунтів, асфальту, бетону в широкому діапазоні температур з подальшим біорозкладанням у разі захоронення в ґрунті та перетворенням у гумусі.

Олеофільний поглинач нафтопродуктів OL - ЕХ КУБ [82,88]. Поліуретановий гідрофобний абсорбент OL - ЕХ КУБ – абсорбційні кубики. Застосовується для ліквідації розливів нафтопродуктів (бензину, дизельного палива, моторних мастил, мастил, органічних розчинників та інших вуглеводневих речовин) у широкому діапазоні температур шляхом ліквідації забруднення у водоймах зі стоячою та проточною водою.

Застосовується самостійно як гідрофобний абсорбент і як фільтроабсорбуючий матеріал, як наповнювач фільтрувальних патронів і фільтроелементів, установок і станцій очищення стічних вод, що містять нафтопродукти.

Переваги сорбенту:

- не поглинає воду;
- має високу сорбційну здатність.
- не здувається вітром та має високу швидкість поглинання.
- легко підхоплюється із будь-якої водної поверхні.
- не становить небезпеки для навколишнього середовища.

Термін придатності сорбенту не обмежений, якщо дотримано умови зберігання.

Вивчення сорбентів різних марок та призначень, доводить, що спектр сорбентів для локалізації розливів небезпечних речовин у ґрунті є суттєвим, але лише одиниці з них відповідають особливим вимогам ліквідації наслідків аварій на залізничному транспорті. Крім того, треба зауважити, що виробники використовують багато різних індикаторів для демонстрації переваг своїх виробів, але, на жаль, вони не доступні для порівняння.

Порівняння різних сорбентів за основними та узагальненими характеристиками наведено в табл. 2.2, яка демонструє якісні характеристики деяких сорбентів.

Таблиця 2.2 – Порівняльна характеристика різних типів адсорбентів

Параметри	СІ	Торф'яний сорбент SONET-SORB	Біорозкладний сорбент OCLANSORB	Органо-мінеральний сорбент нафтопродуктів ЕКОЛАН	Олеофільний сорбент нафтопродук-тів OL-EX CUBE	Розроблене універсальне сорбційне полотно («USS»)
1. Склад	-	Торф	Торф'яний сфагновий мох	Органо-мінеральний полідисперсний порошок	Поліуретан	Фільтрувальна тканина ТГФ-8, Кавові відходи, Деревна тирса
2. Міцність гранул на стирання,	%	68	70	71	73	-
3. Насипна густина	г/ дм^3	440-450	275 – 285	220	328	1200
4. Вологість, за масою	%	13	6	5	-	4

продовження табл. 2.2

5.Ефективність очищення	%	90	95	93	97	93-95
6. Зольність	%	13-14	13-14	5	-	4
7.Пакування, мішок	кг	20	12	-	10	30

Аналізуючи наведені дані, робимо висновок, що у разі використання адсорбентів для збирання розливів небезпечних речовин необхідно враховувати такі фактори:

- Економічність.

Низька вартість адсорбенту сприятиме частішому використанню адсорбенту потенційними споживачами для ліквідації розливів, що дозволить здешевити ліквідаційні заходи загалом.

Використання природних матеріалів або їх відходів як адсорбентів сприятиме здешевленню, доступності адсорбенту та його широкому застосуванню у процесі ліквідації аварійних розливів небезпечних речовин.

- Поширеність/доступність сорбенту.

Цей критерій дозволить підвищити надійність постачання сорбенту суб'єктам та знизити його вартість.

- Безпечність.

Зазвичай способи знешкодження небезпечних відходів (сорбент +небезпечний відхід) – це термічний спосіб (спалювання) або біологічний метод знешкодження та утилізації відповідно до вимог ДержСанПіН 2.2.7.029-99[89].

Проте, необхідно зауважити, що найкращою доступною технологією видалення та утилізації нафтовмісних відходів є вилучення та повернення частини нафтопродуктів з адсорбентів. Зазначений спосіб та спосіб утилізації є найбільш оптимальними для повернення більшої частини зібраних нафтопродуктів, що дозволить частково повернути втрачений вантаж і, як наслідок, скоротити втрати коштів.

Адсорбент повинен бути нешкідливою речовиною або, у крайньому випадку, повинен належати до четвертого класу небезпеки для відходів (малонебезпечні речовини) залежно від ступеня впливу на організм.

Сорбент повинен бути негорючим або легкозаймистим відповідно до вимог ДСТУ 8829:2019 [90]. За потенційною небезпекою він може: викликати пожежу, збільшувати небезпечні чинники пожежі, отруювати середовище проживання (повітря, воду, ґрунт, рослинний, тваринний світ та ін.), вражати людину через шкірні покриви, слизові оболонки дихальних шляхів при безпосередньому контакті або на відстані як у звичайних умовах, так і в разі виникнення пожежі [79].

Використання адсорбентів із заданими властивостями дозволить мінімізувати вимоги безпеки, зокрема щодо проведення організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних, медико-біологічних та екологічних заходів.

- Технологічність

Сорбент повинен бути технологічно не складним у використанні. Він має швидко розкладатись та швидко збиратись у зоні розливу небезпечного вантажу. Це дозволить значно зменшити час на ліквідацію.

Агрегатний стан адсорбенту – твердий (речовини та матеріали). Використання порошку як сорбенту в твердому агрегатному стані небажано через можливе знесення частинок сорбенту під дією вітру.

Адсорбент повинен мати оптимальну сорбційну здатність для різних класів небезпечних вантажів. Як правило, природні матеріали або їх відходи та адсорбенти на їх основі мають низьку поглинальну здатність. Тож оброблені (модифіковані) матеріали мають набагато більшу поглинальну здатність, ніж вихідний природний матеріал.

Рішення про використання природного матеріалу, його залишків або модифікованого природного матеріалу за інших рівних умов повинно прийматися з урахуванням вартості, доступності та сорбційної здатності.

Значення сорбційної здатності повинно залишатися оптимальним (не значно змінюватися) у широкому діапазоні робочих температур

навколишнього середовища. Ця вимога зумовлена застосуванням адсорбенту в різні пори року. Вибираючи тип сорбенту, доцільно використати інформацію про кліматологію в конкретному регіоні.

Сорбційну здатність доцільно вказувати з урахуванням класифікації класів небезпечних вантажів.

- Оптимальна десорбція.

Сорбент повинен характеризуватися мінімальною/оптимальною десорбцією різних класів небезпечних вантажів.

Після утилізації розливів небезпечних вантажів з використанням адсорбенту відпрацьований адсорбент, що містить небезпечний вантаж, повинен бути поміщений у контейнер для запобігання вторинному забрудненню довкілля [82]. Його десорбція (мінімальна/оптимальна) повинна враховувати широкий діапазон значень температури зберігання відходів, що містять небезпечні вантажі.

Проаналізувавши існуючі адсорбенти, зроблено висновок, що адсорбенти здебільшого використовуються для видалення розливів нафти та нафтопродуктів, а універсальних засобів ліквідації розливів речовин класів небезпеки 3, 5.1, 5.2 та 8 поки що не існує.

Саме тому наголошується на необхідності виробництва та застосування адсорбенту як засобу локалізації та ліквідації наслідків аварій під час перевезення небезпечних вантажів, який був би універсальним для багатьох класів небезпечних вантажів.

2.3 Аналіз сировини для виготовлення універсального сорбенту

Для виготовлення універсального сорбенту для збирання аварійних розливів з твердої поверхні було проведено широкий пошук сорбційних матеріалів, що характеризуються високими технологічними показниками за мінімальної собівартості. Найбільш перспективним матеріалом, що повністю відповідає заданим вимогам, виявилося активоване вугілля, яке можна

швидко отримати з широкого ряду органічних відходів рослинного походження (лушпиння, листя, солома, тирса, відходи кави, жмих тощо) шляхом карбонізації. Таким чином, враховуючи особливості процесу карбонізації найвагомішим експлуатаційним показником є масова частка води в сировині.

Визначення масової частки води в сировині для виготовлення активованого вугілля виконували за ГОСТ 12597-67 [91]. Суть методу полягає у висушуванні продукту в сушильній шафі до постійної маси та визначенні зменшення маси продукту. Для визначення показників прямого вимірювання використовувалася така вимірювальна апаратура та допоміжне обладнання:

- сушильна шафа з електрообігрівом типу СШ-150;
- ртутний термометр скляний за ГОСТ 27544-87[92];
- лабораторні аналітичні ваги за ДСТУ 7270:2012 [93] 2-го класу точності з максимальною межею зважування 200 г;
- ексикатор за ГОСТ 25336-82[94] з гранульованим хлористим кальцієм або силікагелем згідно з ГОСТ 3956-76[95];
- ложки або шпатель для взяття проб, щипці тигельні.

Підготовку до визначення масової частки води в активованому вугіллі та каталізаторах на їх основі проводять:

- підготовку допоміжного обладнання;
- підготовку сушильної шафи до роботи;
- підготовку аналітичних терезів до роботи.

Масова частка води в активованому куті та каталізаторах на їх основі визначається розрахунковим методом. Для проведення аналізу зважують близько 1 г зразка в склянці, попередньо висушеній та зваженій разом з кришкою у грамах з точністю до четвертого знака після коми. Потім склянку з підвішеним зразком поміщають у сушильну шафу, попередньо нагріту до 105-110°С, і сушать за такої температури протягом 1 години. Потім чашку із зразком виймають із шафи, охолоджують у ексикаторі та зважують. Склянки

із суспензіями проб повинні розташовуватися в сушильній шафі без кришок, а кришки повинні бути закриті при охолодженні в ексикаторі та зважуванні.

Аналіз виконували паралельно на двох зразках. Результати зважування записували в грамах із точністю до четвертого знака після коми. Тривалість кожного періоду сушіння відраховували з моменту, коли температура в шафі після встановлення чашок знову досягне 105-110 °С.

Масову частка води (Х) у відсотках розраховували за формулою (2.1):

$$X = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m} \cdot 100 \qquad (2.1)$$

За результат аналізу приймали середнє арифметичне двох паралельних визначень, заокруглене до 0,1%.

2.4 Технологія виготовлення універсального сорбенту та загальна постановка експерименту (методи та матеріали)

2.4.1 Технологія виготовлення універсального сорбенту

Однією зі складових для виробництва універсального адсорбенту було активоване вугілля.

Активоване (активне) вугілля є одним із видів промислових адсорбентів. Пориста структура активованого вугілля та розвинена поверхня визначають наявність адсорбційних властивостей.

Активоване вугілля – єдиний промисловий сорбент із неполярною поверхнею. Він добре адсорбує органічні речовини, зокрема неполярні, наприклад: розчинники (вуглеводні, їх галогенпохідні, прості та складні ефіри та ін.), барвники, нафтопродукти та ін.

Активоване вугілля використовується здебільшого з такою метою:

- очищення питної води та стічних вод;
- ліквідація наслідків під час аварій у ґрунті;
- очищення газів та відновлення розчинників;
- отримання ліків;

- очищення спирту та вина;
- поділ газових сумішей;
- виробництво каталізаторів;
- одержання особливо чистих хімічних продуктів;
- у системах захисту органів дихання.

Основною характеристикою активованого вугілля є його адсорбційні властивості, які визначаються текстурою цієї речовини, а також природою функціональних груп поверхні. Крім адсорбційних властивостей важливу роль відіграють також його механічні властивості, переважно механічна міцність та гранулометричний склад.

Механічна міцність характеризує здатність активованого вугілля чинити опір руйнуванню (стиранню, роздавлюванню) під впливом зовнішніх навантажень. Гідравлічний опір шару адсорбенту та його поведінка в адсорберах із псевдозрідженим шаром залежать від гранулометричного складу. У сукупності ці два показники підкреслюють стабільність роботи газу та гідродинамічні характеристики адсорбційних пристроїв, які використовують активоване вугілля.

Висока механічна міцність досягається в разі отримання деревного вугілля із деревини твердих порід: шкаралупи волоського горіха, кісточок плодів, листяних порід. Тому шкаралупа кокосового горіха широко використовується для отримання високоміцного активованого вугілля [70-73,76].

Одним із перспективних нових напрямів наукової діяльності може стати розробка технології отримання конкурентоспроможного активованого вугілля із природної вуглецевої сировини, зокрема відходів виробництва.

Карбонізація (по суті піроліз) є найбільш поширеним методом одержання вуглецю та вуглецевих адсорбентів. Дослідники у цій сфері вважають, що під час карбонізації рослинної сировини відбуваються паралельні процеси дегідратації з утворенням вуглецю та полімеризації з

утворенням різних смол за рахунок левоглюкозану [68-75]. У спрощеному вигляді процеси карбонізації рослинної сировини наведено на рис. 2.2.

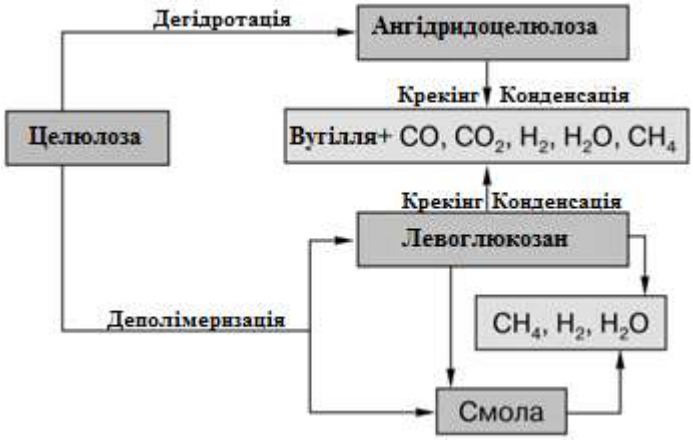


Рисунок 2.2 – Схема паралельних процесів хімічної карбонізації рослинної сировини [68-77,81,82]

У складнішому підході дослідники [1,68-77,81,82] класифікують процес карбонізації за трьома стадіями, які повністю описують хімію карбонізації:

– карбонізація в інтервалі температур від 150 °С до 300 °С: супроводжується розкладанням основних компонентів геміцелюлоз (пентозанів) з виділенням у газовій фазі води, кисневмісних газів, мурашиної та оцтової кислот, фурфуролу;

– карбонізація в інтервалі температур від 325 °С до 375 °С: супроводжується розкладанням кристалічної целюлози та лігніну з утворенням води, вуглецю, вуглекислого газу, метанолу та фенольних продуктів;

– карбонізація в інтервалі температур від 400 °С до 650 °С: супроводжується складними піролітичними процесами, внаслідок яких відбувається розрив аліфатичних та ациклічних зв'язків сполук сировини з одночасними вторинними рекомбінаційними реакціями з утворенням напівкоксу;

– карбонізація в інтервалі температур від 650 °С до 900 °С: остаточна карбонізація сировини, що супроводжується процесами поліконденсації з втратою кисню, водню, азоту та сірки.

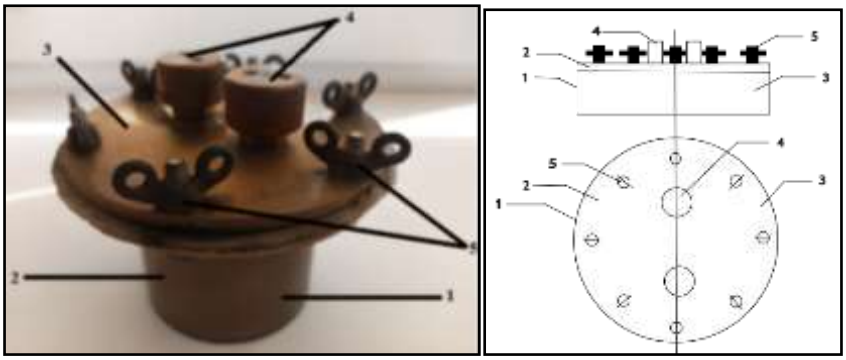
– Остаточна карбонізація рослинної сировини відбувається при температурі обробки в діапазоні від 800 °С до 950 °С.

Традиційно процес виробництва активованого вугілля складається з двох стадій [82]: піролізу (карбонізації) та активації. Процес активації здійснюється хімічним та парогазовим методами. Хімічні методи полягають у випаленні сировини у присутності неорганічного активатора ($ZnCl_2$, H_3PO_4 та ін.). У процесі хімічної активації виходить вугілля з високою активністю, але воно забруднене різними неорганічними домішками, і такий продукт не можна використовувати в медичній та харчовій промисловості. Парогазові методи [9] забезпечують одержання чистого продукту, що не вимагає подальшої обробки, але при цьому скорочується виробництво активованого вугілля. Активуючими агентами можуть бути: інертні гази, вуглекислий газ, повітря, водяна пара та ін.

Цікавим є поєднання стадій піролізу та активації за тривалістю процесів в одному апараті, що має явні переваги з позиції економіки порівняно з класичними методами.

2.4.2 Загальна постановка експерименту (методи та матеріали)

Процес карбонізації відходів здійснювався на оригінальній установці, принципову схему якої наведено на рис. 2.3. Установка дозволяє здійснювати карбонізацію рослинних залишків в умовах лабораторного коксування без застосування спеціального обладнання та інертного середовища. Встановлені в кришці зворотні клапани обмежують доступ кисню в зони карбонізації та не перешкоджають виділенню газоподібних продуктів.



а *б*

а – загальний вигляд карбонізатора; *б* – принципова схема реактора: 1 – циліндрична форма, 2 – простір для розміщення відходів, зона карбонізації, 3 – кришка форми, 4 – отвори зі зворотними клапанами для видалення продуктів карбонізації, 5 – болти фіксації кришки форми

Рисунок 2.3 – Форма для карбонізації відходів

Дослідники стверджують, що ця лабораторна установка здатна моделювати технологічні процеси карбонізації в промисловій шнековій печі [1,3,81]. Карбонізацію проводили в муфельній печі в умовах коксування за постійної температури від 100 ºС до 500 ºС з кроком 50 ºС, час карбонізації зразків відходів становив 60 хвилин .

Отриманий сорбент насипали у спеціально підготовлені мішки із сорбційної тканини ТГФ-8 і скріплювали мішок степлером, щоб сорбент не висипався.

Промислове виробництво універсального сорбенту здійснюватиметься за допомогою установки піролізу, після чого отриманий вуглецевий сорбент буде розподілятись у спеціально виготовлені мішки з сорбційної тканини ТГФ-8, прошиті нитками.

На рис. 2.4а та 2.4б схематично зображено універсальне сорбційне полотно, яке пропонується використовувати для локалізації ліквідації наслідків аварії під час перевезення небезпечних вантажів [1,3,11].

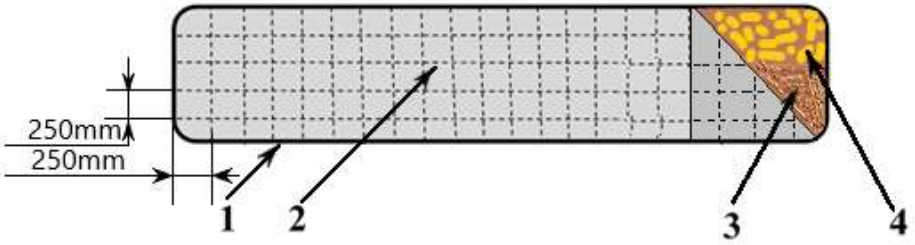


Рисунок 2.4а – Універсальне сорбційне полотно в розгорнутому вигляді

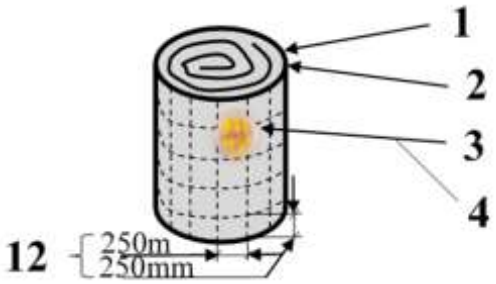


Рисунок 2.4б – Універсальне сорбційне полотно в складеному вигляді

Пропоноване сорбційне полотно містить мішок *1* з фільтрувальної тканини *2*, відходів карбонізації з кавової гущі (до 70 %) *3*, стружки деревини (до 70 %) *4* із сорбційною густиною полотна 1200 г/м^2 і більше. Сорбційне полотно додатково буде прострочуватись. Пропонується виготовляти комірки *12* із сорбційної тканини *8* розмірами 250 мм × 250 мм.

Контакт сорбційної тканини відбувається спочатку з мішком *1* фільтрувальної тканини *2*, а потім із сумішшю органічних відходів (наприклад, кавові відходи, лушпиння *3* та деревна стружка *4*).

Запропоновано використовувати універсальне сорбційне полотно як засіб для локалізації та ліквідації розливів різних небезпечних вантажів (класів 3, 5, 8) на будь-яких видах транспорту, таких як авіаційний, автомобільний, залізничний, морський, річковий та трубопровідний.

Крім того, було отримано Патент на корисну модель № u202103033[11], у якому описується спосіб використання універсального сорбційного полотна.

Після виготовлення сорбенту перейшли до другої частини експерименту, а саме: визначення якісних і кількісних показників отриманого сорбційного полотна.

2.5 Визначення якісних та кількісних показників розробленого адсорбенту

Основною характеристикою активованого вугілля та вугільних адсорбентів загалом є адсорбційні властивості, які визначаються текстурою адсорбенту та характером функціональних груп на поверхні [9, 81,82].

Крім адсорбційних властивостей важливу роль також відіграють його механічні властивості, зокрема механічна міцність і гранулометричний склад [76]. Більшість нормативних документів, статей, книг, журналів та багато іншої літератури не містять конкретної інформації на цю тему, тому що для багатьох країн світу та країн Євросоюзу вона не є актуальною. Це підтверджує актуальність та своєчасність досліджень. Тому, дослідивши наявну інформацію, з'ясовано основні характеристики, які демонструють якість адсорбенту. На рисунку. 2.5 наведено основні критерії експлуатаційних властивостей універсальних вуглецевих адсорбентів із композитних матеріалів, що використовуються дослідниками для оцінки якісних та кількісних показників адсорбентів, які застосовуються для ліквідації наслідків аварій під час перевезення небезпечних вантажів.

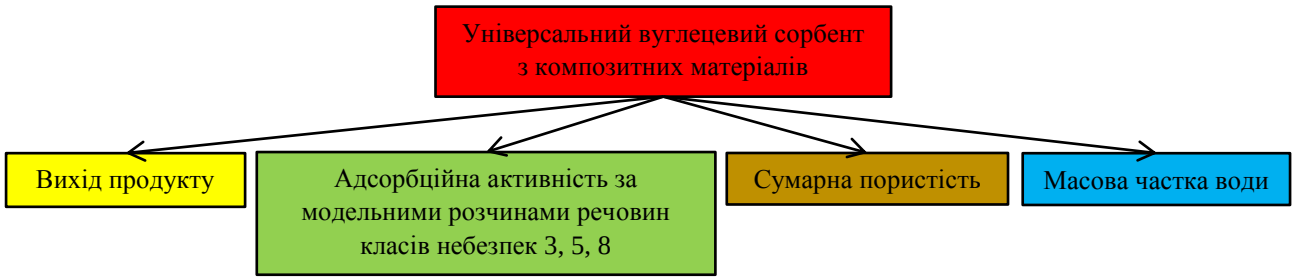


Рисунок 2.5 –Основні критерії ефективності універсальних вуглецевих адсорбентів із композитних матеріалів [82]

Безперечно, міжнародні стандарти та технічні умови на активоване вугілля мають ширший перелік вимог, ніж наведено на рис. 2.5, однак аналіз наукових досліджень у цій галузі показує, що більшість авторів, які займаються пошуком нових сорбційних матеріалів, базуються здебільшого на цих показниках.

Для визначення якісних характеристик було виготовлено 9 різних моделей сорбційних полотен. Детальні конструкції сорбційних полотен з їхніми параметрами зображено на рис. 2.6.

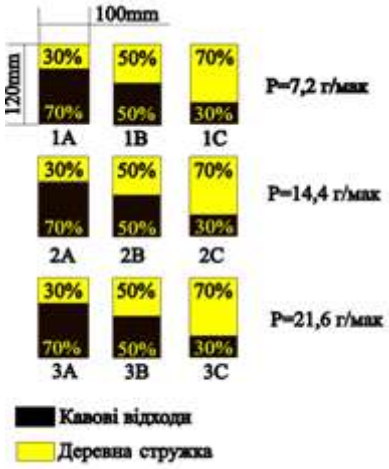


Рисунок 2.6 – Деталізовані моделі сорбційних полотен з різними параметрами [1]

Визначення адсорбційної активності з модельними розчинами речовин класів небезпеки3, 5, 8. Як модельні речовини використовували рідкі вантажі, що у великих обсягах перевозяться різними видами транспорту. Аналіз статистичних даних про динаміку перевезень небезпечних речовин різними видами транспорту, підтвердив, що:

- для третього класу небезпеки – це бензин та дизельне паливо;
- для п'ятого класу небезпеки – перекис водню (H_2O_2).
- для восьмого класу небезпеки речовин характерними є 2 категорії: луги і кислоти. Як модельна речовина обрано 25%-ний розчин аміаку (аміачна вода).

Хімічний аналіз виконували за такими методиками:

Нафтопродукти за методикою виконання вимірювань масової частки нафтопродуктів гравіметричним способом (МВВ № 081/12-0116-03) [96].

Аналіз небезпечних вантажів класів 5 та 8 здійснювали за стандартизованими гравіметричними методами [1, 3].

Експериментальну частину виконували так: у посудину, зважену на аналітичних вагах, насипали 200 г сухого ґрунту, попередньо очищеного від різних домішок та подрібнено у ступці.

На підготовлений ґрунт наносили модельні речовини, імітуючи аварійну ситуацію, коли небезпечна речовина пролилася під час транспортування згідно зі стандартизованою методикою. Модель розтікання речовини на поверхні ґрунту передбачає 30 хвилин – це приблизний час розгортання сорбційного матеріалу на місці розливу небезпечної речовини (коли сорбційне полотно готове до використання). Далі зміщуємо розроблений мініпрототип «USS», попередньо зважений на аналітичних вагах і доведений до постійної маси та густини. Для покращення поглинальних властивостей універсального сорбційного полотна «USS» виконували ущільнення поверхні контакту системи «ґрунт – USS». Час контакту «USS» з поверхнею розливу сягав 1 години.

Після того як сорбційне полотно поглинуло модельну рідину протягом однієї години, відпрацьований «USS» зважували, і далі за формулою (2.2) розраховували масу модельного розчину, поглинутого сорбційним полотном:

$$\mathrm{m} = m_{\text{бр.сорб}} - m_{\text{ч.сорб}}\ , \qquad (2.2)$$

де m – маса модельного розчину, поглинутого «USS»;

$\mathrm{m}_{\text{бр.сорб}}$ – маса адсорбенту разом з адсорбованою небезпечною речовиною;

$\mathrm{m}_{\text{ч.сорб}}$– маса чистого адсорбенту до поглинання модельного розчину.

Знаючи масу модельного розчину, що поглинувся «USS», знаходимо об'єм модельного розчину за формулою

$$V = \frac{m}{\rho}, \qquad (2.3)$$

де V – об'єм модельного розчину;

m – маса модельного розчину, поглиненого «USS»;

ρ - густина модельного розчину.

Далі, знаючи об'єм модельного розчину, що використовується для імітації розливу небезпечної речовини, знаходимо очищувальний ефект за формулою (2.4):

$$W = \frac{V_2 * 100}{V_1}, \qquad (2.4)$$

де V_1 – обсяг модельного розчину, який використовується для імітації розливу небезпечної речовини;

V_2 – обсяг модельного розчину, який був поглинений «USS»;

100 – модельне рішення, що імітує розлив небезпечної речовини у відсотках (%).

Аналіз для шкідливих речовин класу 3 проведено за стандартизованою методикою вимірювання масової частки нафтопродуктів гравіметричним методом МВВ № 081 / 12-0116-03[96].

2.5.1 Результати дослідження якісних показників процесу карбонізації сировини для виготовлення сорбенту

На першому етапі [1,3,82] дослідження вивчалася залежність виходу продукту карбонізації від температури камери лабораторної установки (див. рис. 2.2). Результати експериментів згруповані на графіку залежності $E=f(T)$ та зображені на рис. 2.7.

Аналізуючи графік залежності $E=f(T)$ (див. рис. 2.7) [1, 3, 82], можна дійти висновку, що підвищення температури видалення залишку знижує вихід продукту карбонізації за квадратичною залежністю. Вихід продукту карбонізації деревної стружка за низьких температур досягає 50...60%, за помірних температур – 30...50 %, за середніх температур – менше ніж 25 %.

Вихід продукту карбонізації [1, 3, 82] з кавових залишків за низьких температур досягає 70...80 %, помірних температур – 50...69 %, за середніх

температур менш ніж 40 %. Створення інертного середовища (азот, аргон та ін.) підвищить експлуатаційні характеристики продукту, особливо за середніх температур карбонізації.

Варто зауважити, що вологість сировини, а саме відходів кави та стружки, становила 5 %. Розміри фракцій відходів кави становили від 0,1 мм до 1 мм, а відходів деревної стружки– 5 мм. до 20мм.

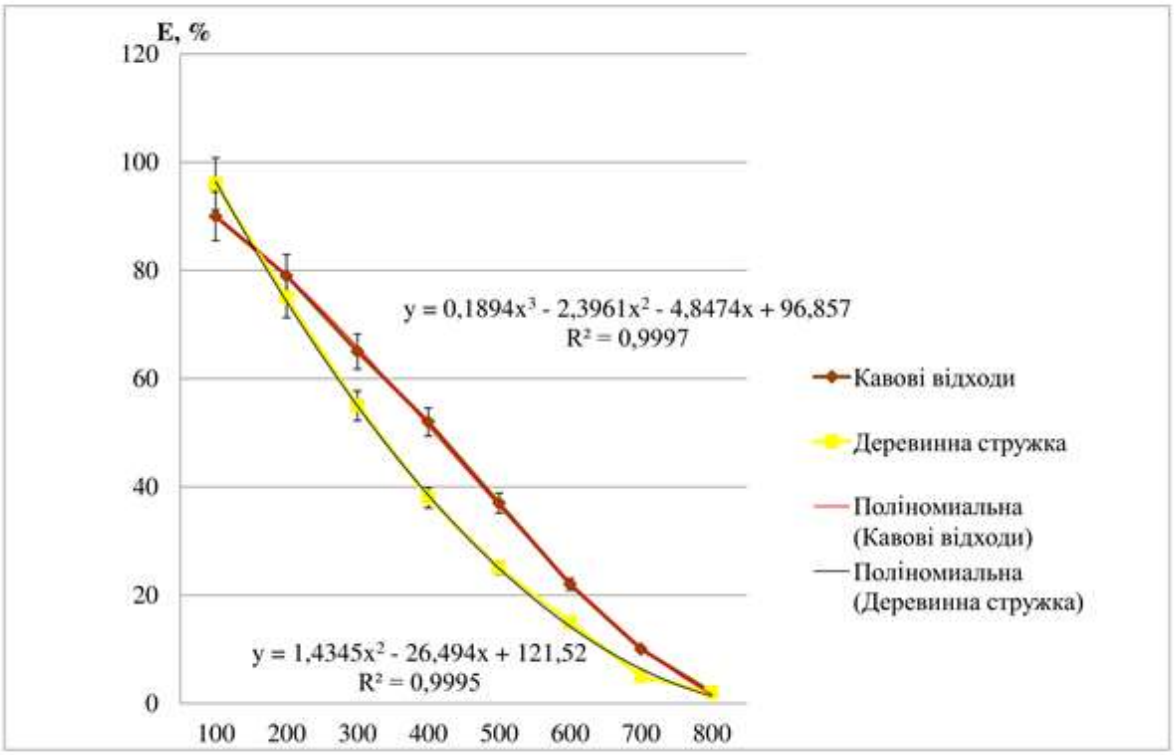


Рисунок 2.7 – Графік залежності виходу продукту сатурації від температури камери сатурації [1, 3, 82]

2.5.2 Аналіз ефективності використання сорбенту на основі рослинних відходів для ліквідації наслідків аварій з небезпечними вантажами класів небезпеки 3, 5.1, 5.2, 8

У цьому підрозділі адсорбційні характеристики визначали за модельними розчинами речовин класів небезпеки 3, 5, 8. Як зазначалося вище, до цих класів небезпеки належать рідкі небезпечні вантажі, що перевозяться залізничним транспортом.

Після циклів фізико-хімічного аналізу було отримано експериментальні дані, наведені в табл. 2.3-2.5. Похибка виміру не перевищувала 4 %.

Як видно з таблиць, значна різниця в разі збільшення густини адсорбенту майже не призводить до збільшення сорбційної здатності: за першого збільшення густини спостерігається незначне збільшення, а за другого збільшення густини значення адсорбційної активності суттєво не змінюється. Як видно з таблиць 2.3-2.5найкращий результат демонструє група № 3, і так само, як і в групах № 1, 2, найкращою виявилася пропорція 50 % кавових відходів і 50 % тирси. Але враховуючи, що різниця між другою та третьою групами невелика, раціональним є використання другої групі. По-перше, через невелику різницю в сорбційній здатності, по-друге, з економічних міркувань та з позиції економії сировини під час виробництва сорбційного полотна.

Таблиця 2.3 – Результати аналізу визначення поглинальної властивості за модельним розчином бензину марки 95 (нафтопродукти)

№ зразка	Маса бюксу порожнього, г	Маса бюксу з бензином, г	Маса бензину в наважці проби грунту, мг	Масова частка бензину в пробі грунту після адсорбції, мг/кг	Масова частка бензину в пробі грунту після розливу, мг/кг	Поглинальна властивість робоча, %
Група №1						
1А	45,31	45,38	67,33	1900,00	10650,00	82,00
2А	46,70	46,75	58,20	1600,00	10650,00	85,00
3А	41,40	41,47	62,67	1750,00	10650,00	83,50
Група №2						
1В	45,31	45,36	47,53	1250.00	10650,00	88,00
2В	46,69	4673	38,56	950.00	10650,00	91,00
3В	41,40	41,45	43,66	1120.00	10650,00	89,50
Група №3						
1 С	45,31	45,35	38,66	955,00	10650,00	91,00
2 С	46,69	46,72	32,56	750,00	10650,00	93,00
3С	41,40	41,44	35,54	850,00	10650,00 _	92,00

Примітка: маса наважки грунту, взятого для аналізу, дорівнює 30 г

Таблиця 2.4 – Результати аналізу визначення поглинальної властивості за модельним розчином 15 % перекису водню(H_2O_2)

№ зразка	Маса сорбц. пол. до поглинання, г	Маса сорбц. пол. після поглинання розчину H_2O_2, г	Маса адсорбованого розчину H_2O_2, (мг)	Поглинальна властивість робоча, %
Група №1				
1А	8,6719	8,7128	40,90	81,80
2А	8,6877	8,7302	42,50	85,00
3А	8,6664	8,7081	41,70	83,50
Група №2				
1В	15,8571	15,9014	43,95	87,90
2В	15,8617	15,9072	45,51	91,02
3В	15,8601	15,9049	44,75	89,60
Група №3				
1 С	23,1705	23,6259	45,54	91,08
2 С	23,1273	23,1738	46,47	92,94
3С	23,0812	23,1272	46,00	92,00

Примітка: використано моделі ґрунту масою 200 г, на яку зімітовано розлив розчину перекису водню масою 50 мг.

Таблиця 2.5 – Результати аналізу визначення поглинальної властивості за модельним розчином аміаку 25%

№ зразка	Маса сорбц. пол. до поглинання, г	Маса сорбц. пол. після поглинання, г	Маса адсорбованого розчину аміаку 25%, мг	Поглинальна властивість робоча, %
Група №1				
1А	8,6709	8,7192	48,30	80,50
2А	8,6867	8,7365	49,80	83,00
3А	8,6668	8,7157	48,90	81,50
Група №2				
1В	15,8682	15,9192	51,00	85,00
2В	15,8703	15,9237	53,40	89,00
3В	15,8608	15,9130	52,20	87,00
Група №3				
1С	23,0703	23,1243	54,00	90,00
2С	23,1073	23,1625	55,20	92,00
3С	23,0612	23,1152	54,20	90,33

Примітка: використано моделі ґрунту масою 200 г, на яку зімітовано розлив розчину аміаку 25 % масою 60 мг

Висновки до розділу 2

Результати розробки «USS» для локалізації та ліквідації аварійних розливів під час перевезення небезпечних вантажів класів 3, 5.1, 8 залізничним транспортом, що реалізовані в цьому розділі дисертаційної роботи, такі:

1. На базі принципів ресурсозбереження та екологічності розроблено технологію виготовлення та застосування універсального сорбційного матеріалу як засобу мінімізації негативних наслідків аварій під час перевезення небезпечних вантажів.
2. Запропоновано спеціальний сорбент (складова частина універсального сорбційного полотна «USS»), що вирізняється високою функціональністю, економічністю та екологічністю. Принципи ресурсозбереження реалізуються через низький рівень енерго- та ресурсовитарт під час виробництва «USS».
3. Надано детальний опис спеціально розробленого устаткування (карбонізатора) для виготовлення «USS», а також визначено етапи технологічних процедур виготовлення та застосування запропонованого «Універсального сорбційного полотна» (USS) з описом оптимальних технологічних показників (температура карбонізації $\leq 500°C$, тривалість 60 хв та вихід продукції на рівні 40-60%).
4. За допомогою виготовлених макетів з різними характеристиками експериментально визначено оптимальний тип, співвідношення компонентів та їх густину в складі універсального сорбційного полотна «USS», за яких підтверджено його універсальність та ефективність очищення. Як основні складові «USS» використовували продукти карбонізації шляхом їх інтеграції в різних співвідношеннях у тканинну матрицю зі густиною наповнення до 1800 г/м^2.
5. Описано стандартизовані методики виконання дослідження адсорбційних характеристик запропонованого «USS» з різними

модельними розчинами (бензин А-95, 25 % розчин аміаку та 15 % розчин перекису водню), які підтверджують його універсальність, ефективність та ступінь очищення.

6. Отримано характеристики адсорбційних показників «USS» які доводять можливість використання універсального сорбційного полотна як засобу локалізації та ліквідації аварійних розливів небезпечних вантажів класів 3, 5.1, 8, а саме: оптимальне співвідношення складових сорбенту – карбонізата рослинних відходів різного типу з густиною засипки 1200 г/м^2, при цьому ступінь очищення поверхні за допомогою розробленого «USS» становить 92 %.

Результати цього розділу впроваджено в наукових працях [4, 5, 7-11].

РОЗДІЛ 3
ІДЕНТИФІКАЦІЯ ТА АНАЛІЗ ФАКТОРІВ ВИНИКНЕННЯ АВАРІЙНИХ СИТУАЦІЙ ПІД ЧАС ПЕРЕВЕЗЕННЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ ВАНТАЖІВ ЗАЛІЗНИЧНИМ ТРАНСПОРТОМ

На сьогодні ймовірність виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру в Україні має стійку тенденцію до зростання.

Аналіз та оцінка ризиків виникнення аварійних ситуацій під час перевезення небезпечних вантажів залізничним транспортом залежно від специфіки їх функціонування, практичне застосування під час розробки документації, яка визначає ступінь небезпеки відповідних об’єктів, прийняття обґрунтованих рішень щодо її зниження, запобігання аварійним ситуаціям і своєчасне реагування в разі їх виникнення на сьогодні є актуальними питаннями.

У цьому розділі на базі методів порівняльної типології, експертних оцінок та системного аналізу для маршруту, що пролягає через станцію Воскобійня, планується визначення показника ризику комплексної дії негативних факторів аварійних ситуацій під час транспортування НВ та характеристики його просторового розподілу.

3.1 Модельна оцінка ризику виникнення аварії по залізничній станції Воскобійня Дніпропетровської області

Під ризиком на залізничному транспорті розуміється ймовірність втрат, збитків у процесі здійснення перевезень залізничним сполученням. Ризики на залізничному транспорті характеризуються складністю та різноманітністю, тому їх необхідно класифікувати за окремими ознаками [10]. Найважливішими ознаками класифікації ризиків на залізничному транспорті є:

– об’єкт прояву;

– джерела виникнення;

– етапи транспортування;

– різновиди перевезень;

– можливість впливати на ризики;

– час виникнення;

– умови;

– розмір збитків тощо.

Оцінка ризиків дозволяє організації враховувати, якою мірою події можуть вплинути на досягнення її цілей. Оцінка ризику складається з ідентифікації ризику, його аналізу та порівняльної оцінки. Для цього використовують кількісні або якісні методи оцінки, або, досить часто, їх поєднання.

Для створення моделі оцінки ризиків виникнення аварійної ситуації було проведено ідентифікацію небезпечного вантажу un 1511 «Карбамід», оцінку потенційних ризиків його перевезення та зберігання в умовах населеного пункту, а також аналіз потенційних сценаріїв небезпечної події. Для об’єктивної оцінки факторів ризику та ідентифікації всіх видів небезпеки застосовували довідкову інформацію як вихідні дані процедурного аналізу (табл. Б.1 додатка Б).

Аналіз ідентифікації небезпеки перевезення, зберігання та поводження з вантажем «Карбамід» (un 1511) підтверджує, що ця речовина є високотоксичною. Отруєння можливе в разі вдихання його парів, під час контакту карбаміду зі шкірою або потрапляння через шлунково-кишковий тракт людини. Потрапляючи до організму, він впливає на всі системи органів і швидко потрапляє у кров.

Передозування добрива в більшості випадків викликає сильні опіки у рослин і може призвести до їхньої загибелі, з цілим рядом добрив карбамід є несумісним (деревний попіл, кальцієва селітра, простий суперфосфат, вапно, крейда, гіпс і доломітове борошно).

3.2 Оцінка потенційних ризиків перевезення та зберігання небезпечного вантажу un 1511 в умовах населеного пункту

Оцінку ризиків виникнення аварійної ситуації виконували біля населеного пункту Кам’янське, а саме: на залізничній станції Воскобійня із радіусом імовірного ураження 1,5 км. На рис. 3.1 наведено геопросторову характеристику майданчика (координати майданчика 48,51935 34,47176).

Рисунок 3.1 – Геопросторова характеристика майданчика[10]

Для повної оцінки ризику аварійної ситуації проаналізовані локації скупчення ризику наведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Аналіз локації скупчення ризику[97]

<table>
<tr><td>Інформація про адміністративно-територіальну одиницю</td><td>Ка́м'янське́ (у 1936–2016 роках — Дніпродзержи́нськ) — місто у Дніпропетровській області. Населення за даними Держстату України станом на 1 січня 2021 року складало 229 794 осіб. Кам'янське розташоване на берегах Кам'янського водосховища, у середній течії Дніпра, нижче греблі Середньодніпровської ГЕС, за 35 км на захід від міста Дніпро. Протяжність із сходу на захід 22 км, з півночі на південь — 18 км. Кам'янське лежить на місці стику Українського кристалічного масиву і Дніпровсько-Донецької западини, що визначає складний рельєф міста.
Лівобережна частина Кам'янського розташована на Придніпровській низовині. Висота над рівнем моря не вище 65 метрів. Правобережна частина розташована здебільшого (крім прибережної смуги шириною 700—1000 метрів) на відрогах Придніпровської височини. Тут поверхня хвиляста, розчленована ярами й балками, висота над рівнем моря коливається від 80 до 180 метрів</td></tr>
<tr><td>Аналіз демографічної ситуації</td><td><table><tr><td>2016</td><td>2017</td><td>2018</td><td>2019</td><td>2020</td><td>2021</td><td>2022</td></tr><tr><td>239237</td><td>237244</td><td>235066</td><td>233358</td><td>231915</td><td>229794</td><td>226845</td></tr><tr><td colspan="7">Населення Кам’янського, тисяч осіб</td></tr></table></td></tr>
<tr><td>Аналіз соціальної інфраструктури</td><td>У Кам’янському 40 шкіл, 13 навчальних закладів 2-3 рівня акредитації, 1 ЗВО 3-4 рівня акредитації, 2 палаци культури, 2 кінотеатри, літературна студія., близько 6 спортивних споруд.
У потенційній зоні ураження 1,5 км розташовані: адміністративні будівлі, відділення банків, продуктові та побутові магазини, житлові будинки, автобусні зупинки</td></tr>
<tr><td>Аналіз виробничої інфраструктури</td><td>У потенційній зоні ураження 1,5 км: електростанція, виробничі склади/заводи, Криничанське водосховище</td></tr>
<tr><td>Ідентифіковані джерела інших видів ризику та небезпек</td><td>Зараження води на водосховищі, пожежа на складі, вибух або пожежа на електростанції, аварійна ситуація на заводах</td></tr>
<tr><td>Аналіз структури природного (урбанізованого) простору та особливо цінних природних об’єктів</td><td>Багатоквартирна житлова забудова
Соціальні будівлі
Водосховище.
Землі сільськогосподарського призначення
Природні та історичні пам’ятки в зоні ураження відсутні</td></tr>
</table>

Далі переходимо безпосередньо до аналізу аварійних сценаріїв під час перевезення небезпечних вантажів. Для цього використано метод «Аналізу першопричини (RCA, RCFA)», у рамках якого з метою більш якісного та точного аналізу поєднано 4 існуючі структуровані методи аналізу (діаграма Ісікави, діаграма дерева ключових подій, метод експертної оцінки та аналіз чутливості проєкту).

Поєднання діаграм Ісікави та дерева ключових подій дозволяє виявити ключові взаємозв'язки між різними факторами й більш точно зрозуміти досліджуваний процес. Комбінована діаграма сприяє визначенню головних факторів, ключових подій, які можуть вплинути на подальший розвиток аналізу, що роблять найбільш значний вплив на розвиток розглянутої проблеми, а також запобігання діям цих факторів або їх усуненню.

Аналіз літературних джерел [42-76, 34, 35] показав, що до основних аварійних сценаріїв під час перевезення небезпечних вантажів належать:

- розгерметизація цистерн на під'їзних коліях через порушення маневрових робіт;
- терористичний акт із підривом цистерн з небезпечними вантажами;
- спалах цистерн на ПК через ігнорування вимог пожежної безпеки працівниками;
- сходження цистерн з рейок через їх незадовільний технічний стан;
- неправильне визначення класу, виду небезпеки, умов перевезення, зберігання та обробки вантажу;
- несправність колій рухомого складу;
- несправність засобів сигналізації, централізації та блокування;
- помилки диспетчерів;
- неуважність і халатність машиністів.

Для побудови дерева подій та наслідків серед вищезазначених основних сценаріїв небезпечної події було обрано 5 основних, які, на думку експертів у цій сфері [42-76, 34, 35], можуть відбутися на досліджуваній станції.

До кожного з 5 сценаріїв розписали потенційні наслідки (індикатори): 5 зовнішніх та 5 внутрішніх.

Ідентифікацію потенційних сценаріїв небезпечної події наведено в табл. 3.2. Орієнтовна кількість небезпечного вантажу – 160 т.

Аналіз потенційних сценаріїв небезпечних подій вказує на те, що саме людський фактор (порушення безпеки руху, маневрової роботи або неправильне інформування перевізника про вантаж) є основною причиною їх виникнення.

Після моделювання потенційних сценаріїв небезпечних подій було проаналізовано причини та наслідки ключової події, що наведено в табл. 3.3, де серед 5 основних сценаріїв небезпечної події обирали один, який ймовірно ставався – розгерметизація цистерн на під'їзних коліях через порушення маневрових робіт. За допомогою комбінованої діаграми Ісікави дерева ключової події (рис. 3.2) побудовано причинно-наслідковий зв'язок на підставі розписаних раніше потенційних наслідків (індикаторів): 5 зовнішніх та 5 внутрішніх (табл.3.3) для обраного сценарію.

Далі для аналізу ризиків використано метод «матриця Леопольда», який поєднує в собі 2 методи: експертного аналізу ризиків та аналізу чутливості проєкту, де чутливість – процентна зміна критерію (ЧДД), розділена на процентну зміну змінного фактора.

Вони використовуються в тому випадку, якщо обсяг вихідної інформації є недостатнім для оцінки ефективності (похибка результатів > 30 %), та у випадку, де нам потрібно оцінити зміну чутливості Цей метод нам допоміг зрозуміти пріоритетність настання того чи іншого потенційного сценарію небезпечних подій, враховуючи середнє арифметичне значення експертних оцінок різних дослідників [42-76, 34, 35]. Використовуючи спеціальні ключі шкали оцінювання, наведені в табл. 3.4, було побудовано карти ризиків ключової події (табл. 3.5).

Таблиця 3.2 – Ідентифікація потенційних сценаріїв небезпечної події[10]

Сценарій небезпечної події		Потенційні наслідки (індикатори)	
		Внутрішні	Зовнішні
1	Розгерметизація цистерн на під'їзних коліях через порушення маневрових робіт	1. Розлив вантажу (об'єм, $м^3$) 2. Фінансові збитки (вартість, тис. грн) 3. Отруєння працівників (кількість працівників, час днів непрацездатності) 4. Вибух/пожежа (площа ураження, $м^2$) 5. Зупинка технологічного процесу (час простою, сума втраченого прибутку)	1. Отруєння населення (кількість, осіб) 2. Забруднення повітря житлової забудови (рівень концентрації домішки в повітрі, мг) 3. Забруднення води водосховища (рівень концентрації домішки в воді, $м^3$) 4. Закриття руху поїздів (час простоїв, год) 5. Забруднення ґрунтових вод (рівень концентрації домішок у воді, $м^3$)
2	Терористичний акт із підривом цистерн з карбамідом	1. Травмування/смерть працівників. Зупинка роботи підприємства 2. Займання технологічних приміщень. Руйнація колійного розвитку 3. Знищення іншого вантажу. Фінансові збитки	1. Забруднення води водосховища. Оголошення надзвичайного стану. Отруєння населення 2. Вибух на електростанції, аварії на заводах 3. Закриття руху поїздів 4. Закриття дорожнього руху
3	Спалах цистерн на ПК через ігнорування вимог пожежної безпеки працівниками	1. Травмування працівників 2. Фінансові збитки 3. Пожежа в технологічних приміщеннях. Спалах іншого вантажу 4. Вибух/пожежа	1. Забруднення повітря житлової забудови. Отруєння населення 2. Вибух на електростанції 3. Оголошення надзвичайного стану. Закриття руху поїздів

продовженн табл. 3.2

4	Схід цистерн з рейок через їх незадовільний технічний стан	1. Пошкодження залізничної інфраструктури 2. Пошкодження вагонів 3. Травмування працівників 4. Пошкодження інших вантажів 5. Руйнація колійного розвитку	1. Закриття руху поїздів 2. Забруднення повітря житлової забудови 3. Забруднення води водосховища 4. Отруєння населення 5. Забруднення ґрунтових вод
5	Неправильне визначення класу, виду небезпеки та умов перевезення вантажу	1. Вибух/пожежа 2. Травмування робітників 3. Фінансові збитки 4. Пошкодження інфраструктури 5. Зупинка технологічного процесу	1. Закриття руху 2. Отруєння населення 3. Забруднення повітря житлової забудови 4. Аварії на сусідніх підприємствах. Оголошення надзвичайного стану

Таблиця 3.3 – Аналіз причин та наслідків ключової події [10]

Першопричина	Причина		Опис ключової події	Наслідок		Індикатор		Тип індикатора
ВНУТРІШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ								
	П.1	Перевищення швидкості маневрового состава		**Н.1**	Розлив вантажу	**Н.1**	Об’єм, $м^3$	Кількісний
Недотримання вимог безпеки та низький рівень трудової дисципліни	**П.2**	Керівник маневрів не проконтролював закріплення РС	Розгерметизація цистерн на під’їзних коліях через порушення маневрових робіт	**Н.2**	Фінансові збитки	**Н.2**	Вартість, тис. грн	Кількісний
	П.3	Машиніст при проведенні маневрів передав управління сторонній особі особі		**Н.3**	Отруєння працівників	**Н.3**	Кількість працівників, час днів непрацездатності	Кількісний
	П.4	Не були нанесені трафарети про небезпеку на цистерни		**Н.4**	Вибух/пожежа	**Н.4.1**	Площа ураження, $м^2$	Кількісний
						Н.4.2	Категорія пожежі	Якісний
	П.5	Перед пересуванням цистерн не переконалися у відсутності перешкод для руху		**Н.5**	Зупинка технологічного процесу	**Н.5**	Час простою, сума втраченого прибутку	Кількісний

продовження табл. 3.3

ЗОВНІШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ								
Не вкладено додаткові башмаки	**П.6**	Штормовий вітер спричинив самовільний вихід вагонів	Розгерметизація цистерн на під'їзних коліях через порушення маневрових робіт	**Н.6**	Отруєння населення	**Н.6**	Кількість, осіб	Кількісний
Машиніст локомотива не врахував стан рейок	**П.7**	Ожеледиця, що призвела до збільшення гальмівного шляху і аварії		**Н.7**	Вибух на електростанції	**Н.7.1**	Площа займання, $м^2$	Кількісний
Керівник маневрів не вжив заходів	**П.8**	Туман з нульовою видимістю				**Н.7.2**	Категорія пожежі	Якісний
Проведення маневрових робіт в умовах надзвичайної ситуації	**П.9**	Землетрус		**Н.8**	Забруднення повітря житлової забудови	**Н.9**	Рівень концентрації домішки в повітрі, мг	Кількісний
	П.10	Ракетний снаряд, що пошкодив колію, в результаті чого стався самовільний вихід вагонів		**Н.9**	Забруднення води водосховища	**Н.9**	Рівень концентрації домішки у	Кількісний
				Н.10	Закриття руху поїздів	**Н.10**	Час простоїв, год	Кількісний

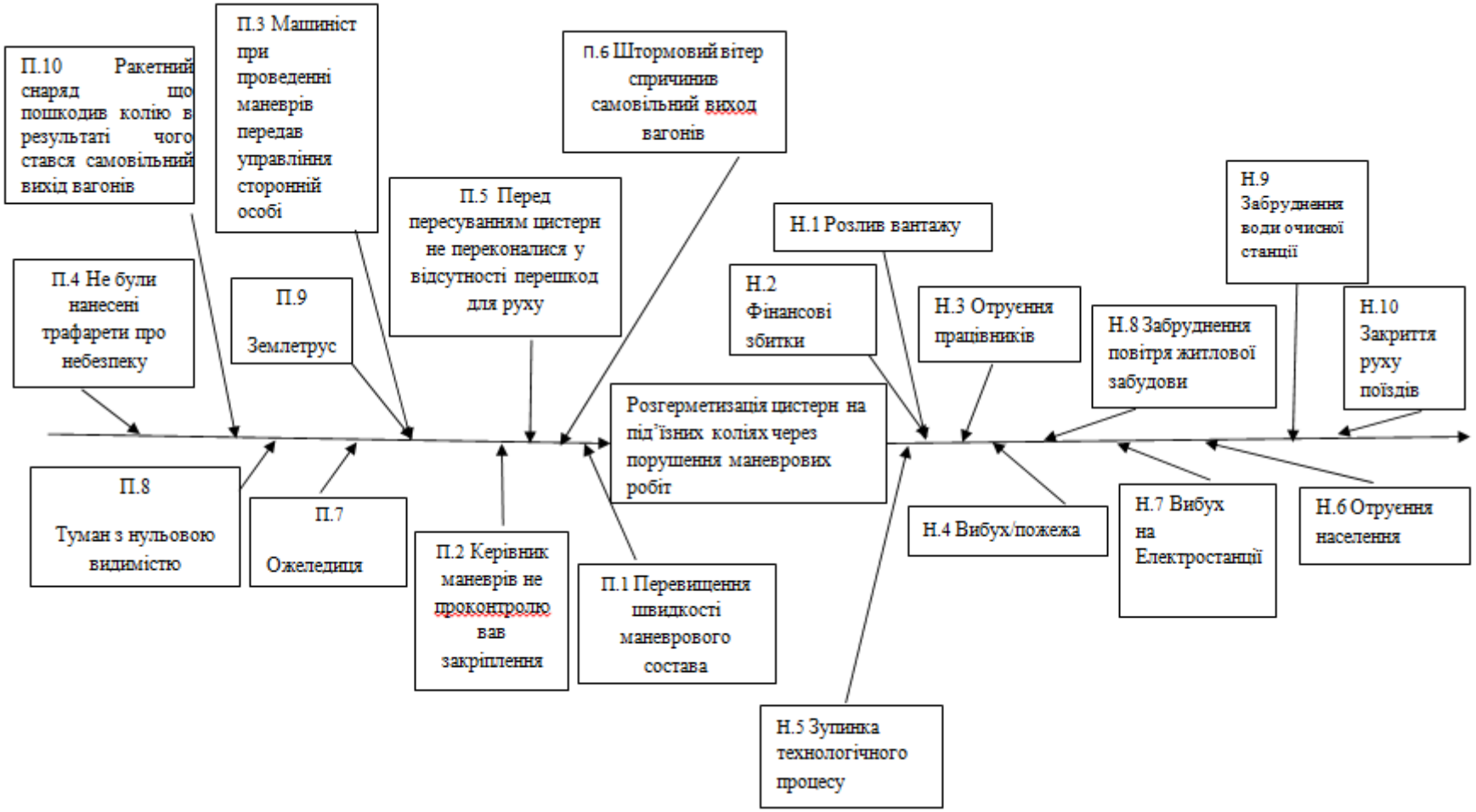


Рисунок 3.2– Комбінована діаграма Ісікави дерева ключової події [10]

Сама «матриця Леопольда» використовується для оцінки можливого впливу проєкту на довкілля. Для нашого аналізу «матриця Леопольда» була трохи видозмінена. У лівій частині таблиці наведено «Причини внутрішнього та зовнішнього середовища», а також їхні сумарні значення. У правій частині замість колонки «Дія» наведено «Наслідки внутрішнього та зовнішнього середовища» та їхні сумарні значення. Завдяки видозмінам у «Матриці Леопольда» ми зможемо експертну оцінку перевести у числа для визначення « експертної оцінки», а також виявлення «Прямих та прихованих пріоритетів». У табл. 3.5 «Карта ризиків ключової події (внутрішня експертна самооцінка)» наведена у вигляді «матриці Леопольда».

Ця «Карта ризиків ключової події (внутрішня експертна самооцінка)» демонструє імовірність настання того чи іншого «Наслідку внутрішнього середовища» Н(1-5) та «Наслідку зовнішнього середовища» Н(6-10) у результаті виникнення тієї чи іншої «Причини внутрішнього середовища» (П1-П5) та «Причини зовнішнього середовища» П(6-10), при чому для кожного з п’яти П(1-5) або П(6-10) моделюється ймовірність настання – як для кожного з п’яти Н(1-5), так і для кожного Н(6-10), де:

П(1-5) – «Причини внутрішнього середовища»;

1-5 –порядкові номери «Причин внутрішнього середовища»;

П(6-10) – «Причина зовнішнього середовища»;

6-10 – порядкові номери «Причини зовнішнього середовища»;

Н(1-5) – «Наслідок внутрішнього середовища»;

1-5 – порядкові номери «Наслідку внутрішнього середовища»;

Н(6-10) – «Наслідок зовнішнього середовища»;

6-10 – порядкові номери «Наслідку зовнішнього середовища»;

Для подальшого аналізу розраховуються ΣПВ, ΣПЗ та ΣНВ,ΣНЗ за формулами (3.1)-(3.4).

Для П(1-5): $\Sigma НВ(1\text{-}5)=Н1+Н2+Н3+Н4+Н5$ (3.1)

Для П(6-10): ΣНЗ(6-10)=Н6+Н7+Н7+Н9+Н10, (3.2)

Для Н(1-5): ΣПВ(1-5)=П1+П2+П3+П4+П5 (3.3)

Для Н(6-10): ΣПЗ(6-10)=П6+Н7+Н9+Н9+Н10, (3.4)

де, ΣПВ – сумарне значення п’яти різних «Причин внутрішнього середовища»;

ΣПЗ – сумарне значення п’яти різних «Причин зовнішнього середовища»;

ΣНВ – сумарне значення п’яти різних «Наслідків внутрішнього середовища»;

ΣНЗ – сумарне значення п’яти різних «Наслідків зовнішнього середовища»;

1-5 – порядкові номери «Причин внутрішнього середовища» або «Наслідка зовнішнього середовища»;

6-10 – порядкові номери «Причини зовнішнього середовища» або «Наслідка зовнішнього середовища».

Далі розраховуються ΣПЗНЗ, ΣПЗНВ та ΣПВНЗ, ΣПВНВ за формулами (3.5)-(3.8).

ΣПВНВ(1-5)=ΣПВ1+ΣПВ2+ΣПВ3+ΣПВ4+ΣПВ5 (3.5 а)

ΣПВНВ(1-5)=ΣНВ1+ΣНВ2+ΣНВ3+ΣНВ4+ΣПВ5 (3.5 б)

ΣПЗНВ(6-10)=ΣПЗ1+ΣПЗ2+ΣПЗ3+ΣПЗ4+ΣПЗ5 (3.6 а)

ΣПЗНВ(1-5)=ΣНВ1+ΣНВ2+ΣНВ3+ΣНВ4+ΣНВ5 (3.6 б)

ΣПВНЗ(1-5)=ΣПВ1+ΣПВ2+ΣПВ3+ΣПВ4+ΣПВ5 (3.7 а)

ΣПВНЗ(6-10)=ΣНЗ1+ΣНЗ2+ΣНЗ3+ΣНЗ4+ΣПЗ5 (3.7 б)

ΣПЗНЗ(6-10)= ΣПЗ6+ ΣПЗ7+ ΣПЗ8+ ΣПЗ9+ ΣПЗ10 (3.8 а)

ΣПЗНЗ(6-10)= ΣНЗ6+ ΣНЗ7+ ΣНЗ8+ ΣНЗ9+ ΣНЗ10 (3.8 б)

При цьому не важливо, яку з двох формул для розрахунків ви обираєте – а чи б, сумарне значення повинне бути однаковим. Тобто між

формулами а і б можна поставити знак рівності (рівняння 3.5 а = рівнянню 3.5 б.)

ΣПВ1+ΣПВ2+ΣПВ3+ΣПВ4+ΣПВ5=ΣНВ1+ΣНВ2+ΣНВ3+ΣНВ4+ΣПВ5

Для рівнянь (3.6(а,б))-(3.8(а,б)) зберігається ідентична рівність, де:

ΣПВНВ – сумарне значення ΣПВ(1-5) або ΣНВ(1-5);

ΣПЗНВ – сумарне значення ΣПВ(6-10) або ΣНВ(1-5);

ΣПВНЗ – сумарне значення ΣПВ(1-5) або ΣНВ(6-10);

ΣПЗНЗ – сумарне значення ΣПВ(6-10) або ΣНВ(6-10).

Далі за формулами (3.9) та (3.10) розраховується ΣП та ΣН:

$$\Sigma П(1\text{-}10)= \Sigma ПВ(1\text{-}10)+ \Sigma ПЗ(1\text{-}10), \quad (3.9)$$

де ΣП – сума всіх 10 причин (П(1-10));

1-10 – порядкові номери «Причин внутрішнього середовища», «Причин зовнішнього середовища» або порядкові номери їх сум.

$$\Sigma Н(1\text{-}10)= \Sigma НВ(1\text{-}10)+ \Sigma НЗ(1\text{-}10), \quad (3.10)$$

де ΣН – сума всіх 10 наслідків (Н(1-10));

1-10 – порядкові номери «Наслідків внутрішнього середовища», «Наслідків зовнішнього середовища» або порядкові номери їх сум.

Далі за формулою (3.11) ми розраховуємо ΣПН:

$$\Sigma ПН= \Sigma ПЗНЗ+\Sigma ПЗНВ+\Sigma ПВНЗ+\Sigma ПВНВ, \quad (3.11)$$

де ΣПН – це сума всіх сумарних значень внутрішніх та зовнішніх причин або наслідків.

Аналіз прямих пріоритетів (ППр) виконано за формулою (3.12)

$$ППр = \frac{\sum Н}{\sum ПН}. \quad (3.12)$$

Аналіз прямих наслідків (ПНс) здійснено за формулою (3.13)

$$ПНс = \frac{\sum П}{\sum ПН}. \quad (3.13)$$

Таблиця 3.4 – Ключ шкали оцінювання[10]

		Тиск впливу наслідків				
		Мінімальний	Невеликий	Помірний	Значний	Великий
Оцінка ймовірності настання наслідку	Напевно	Нижче середнього	Середня	Вище середньої	Висока	Висока
	Ймовірно	Низька	Нижче середнього	Середня	Вище середньої	Висока
	Можливо	Низька	Нижче середнього	Середня	Вище середньої	Вище середньої
	Малоймовірно	Низька	Нижче середнього	Нижче середнього	Середня	Вище середньої
	Мінімально	Низька	Низька	Нижче середнього	Середня	Середня
Якісна оцінка (експертна думка)		Низька	Нижче середнього	Середня	Вище середньої	Висока
Кількісна шкала		5 – 10 – 15 - 20	25 – 30 – 35 – 40 – 45	50 – 55- 60 - 65	70 – 75 – 80 - 85	90 – 95 - 100

Таблиця 3.5 – Карти ризиків ключової події (внутрішня експертна самооцінка)[10]

		Наслідки внутрішнього середовища						Наслідки зовнішнього середовища						
		Н.1	Н.2	Н.3	Н.4	Н.5	ΣНВ	Н.6	Н.7	Н.8	Н.9	Н.10	ΣНЗ	ΣН
Причини внутрішнього середовища	П.1	80	90	60	65	65	360	30	65	35	75	65	270	630
	П.2	50	70	20	20	50	210	20	50	40	70	50	230	440
	П.3	50	90	20	20	50	230	30	10	10	50	40	140	370
	П.4	50	80	60	20	90	300	50	45	35	70	45	245	545
	П.5	30	70	70	80	85	335	70	60	35	70	75	310	645
	ΣПВ	260	400	230	205	340	1435	200	230	155	335	275	1195	
Причини зовнішнього середовища	П.6	40	30	10	10	20	110	30	60	40	60	55	245	355
	П.7	80	50	60	65	45	300	40	70	30	60	75	275	575
	П.8	30	80	40	60	35	245	30	10	10	40	40	130	375
	П.9	70	50	50	60	40	270	50	90	20	40	60	260	530
	П.10	90	90	55	70	90	395	55	90	45	85	80	355	750
	ΣПЗ	310	300	215	265	230	1320	205	320	145	285	310	1265	
	ΣП	570	700	445	470	570		405	550	300	620	585		5215

Домінуючий впливу середовища визначали за формулою (3.14)

$$\text{ПДв}(1-10) = \frac{\sum \text{ПВНВ}}{\sum \text{ПН}} \quad (3.14)$$

Для інших ПДз, ПНв, ПНз домінуючий вплив середовища визначали аналогічно (див. табл. 3.8).

де ПДв та ПНв – домінуючі внутрішні впливи середовища

ПДз та ПНз – домінуючі зовнішні впливи середовища

Аналіз прямих пріоритетів

Таблиця 3.6 –Результати зваженої оцінки пріоритету причин та наслідків[10]

Причина	Розрахункова вага	Пріоритет (ранг)	Наслідок	Розрахункова вага	Пріоритет (ранг)
П.1	0.12	2	Н.1	0,11	3
П.2	0.08	5	Н.2	0.13	1
П.3	0,07	6	Н.3	0,09	4
П.4	0,10	4	Н.4	0,09	4
П.5	0,12	2	Н.5	0,11	3
П.6	0,07	6	Н.6	0,08	5
П.7	0,11	3	Н.7	0,11	3
П.8	0,07	6	Н.8	0,06	6
П.9	0,10	4	Н.9	0,12	2
П.10	0,14	1	Н.10	0,11	3

Таблиця 3.7 – Результати аналізу домінуючого впливу середовища[10]

Причини	Наслідки	
	Внутрішні	Зовнішні
Внутрішні	0,28	0,23
Зовнішні	0,25	0,24

Аналіз прихованих впливів причин на наслідків. Аналіз прихованих впливів причин на наслідків наведено в табл. 3.8 та 3.9. Ця таблиця також має вигляд «матриці Леопольда». Для виявлення прихованих пріоритетів спочатку знайшли сумарне значення п’яти різних «Прихованих причин внутрішнього та зовнішнього середовищ», використовуючи дані з табл. 3.5.

$$\text{dПВ}(1\text{-}5) = \Sigma\text{ПВ}(1\text{-}5) / \Sigma\text{ПВНВ}. \quad (3.15)$$

$$\text{dПВ}(6\text{-}10) = \Sigma\text{ПВ}(6\text{-}10) / \Sigma\text{ПВНЗ}. \quad (3.16)$$

$$dПЗ(1\text{-}5)= ΣПЗ\ (1\text{-}10) / ΣПЗНВ. \quad (3.17)$$

$$dПЗ(6\text{-}10)= ΣПЗ(1\text{-}10) / ΣПЗНЗ. \quad (3.18)$$

де, dПВ – значення одного з п’яти показників різних «Прихованих причин внутрішнього середовища»;

dПЗ – значення одного з п’яти показників різних «Прихованих причин зовнішнього середовища»;

(1-5) т (6-10) – порядкові номери.

Далі знайшли сумарне значення п’яти різних «Прихованих наслідків внутрішнього та зовнішнього середовищ», використовуючи дані з табл. 3.5 (формули (3.19)-(3.22)).

$$dНВ(1\text{-}5)= ΣНВ(1\text{-}5) / ΣПВНВ. \quad (3.19)$$

$$dНВ(6\text{-}10)= ΣНВ(6\text{-}10) / ΣПЗНВ. \quad (3.20)$$

$$dНЗ(1\text{-}5)= ΣНЗ\ (1\text{-}10) / ΣПВНЗ. \quad (3.21)$$

$$dНЗ(6\text{-}10)= ΣНЗ(1\text{-}10) / ΣП3НЗ. \quad (3.22)$$

де dНВ – значення одного з п’яти різних «Прихованих наслідків внутрішнього середовища»;

dНЗ - значення одного з п’яти різних «Прихованих наслідків зовнішнього середовища».

Далі визначили прихований (неявний) вплив причин на наслідки за формулами (3.23) – (3.26).

Причому для кожного з 5 dП(1-5) або dП(6-10) моделюється ймовірність настання – як для кожного з 5 dН(1-5), так і для кожного dН(6-10);

$$dПНВ(1\text{-}5) = dПВ(1\text{-}5) * dНВ(1\text{-}5). \quad (3.23)$$

$$dПНВ(6\text{-}10) =dПВ(1\text{-}5) * dНЗ(6\text{-}10). \quad (3.24)$$

$$dППЗ(1\text{-}5) = dПЗ\ (6\text{-}10) * dНВ(1\text{-}5). \quad (3.25)$$

$$dПНЗ(6\text{-}10) = dПЗ(6\text{-}10) * dНЗ(6\text{-}10). \quad (3.26)$$

де dП(1-5) – «Приховані причини внутрішнього середовища»;

1-5 –порядкові номери «Прихованих причин внутрішнього середовища»;

dП(6-10) – «Приховані причини зовнішнього середовища»;

6-10 – порядкові номери «Прихованих причини зовнішнього середовища»;

dН(1-5) – «Приховані наслідки внутрішнього середовища»;

1-5 – порядкові номери «Прихованих наслідків внутрішнього середовища»;

dН(6-10) – «Приховані наслідків зовнішнього середовища»;

6-10 – порядкові номери «Прихованих наслідків зовнішнього середовища»;

Далі проаналізували, які з отриманих чисел найбільші, та обрали перші п’ять чисел. Після чого занесли їх у табл. 3.10, таким чином ми отримали виявлені приховані пріоритети, що дозволяють спрогнозувати настання відповідного наслідку(Н), який імовірно станеться в результаті відповідної попередньої причини.

Таблиця 3.8 – Результати обчислення прихованих впливів та їх просторового розподілу [10]

	dH1	dH2	dH3	dH4	dH5	dHB	dH6	dH7	dH8	dH9	dH10	dHЗ
dП1	0,045	0,070	0,040	0,036	0,059	0,251	0,038	0,043	0,029	0,063	0,052	0,226
dП2	0,027	0,041	0,023	0,021	0,035	0,146	0,032	0,037	0,025	0,054	0,044	0,192
dП3	0,029	0,045	0,026	0,023	0,038	0,160	0,020	0,023	0,015	0,033	0,027	0,117
dП4	0,038	0,058	0,034	0,030	0,050	0,209	0,034	0,039	0,027	0,057	0,047	0,205
dП5	0,042	0,065	0,037	0,033	0,055	0,233	0,043	0,050	0,034	0,073	0,060	0,259
dΣПВ	0,181	0,279	0,160	0,143	0,237		0,167	0,192	0,130	0,280	0,230	
dП6	0,020	0,019	0,014	0,017	0,015	0,083	0,031	0,049	0,022	0,044	0,047	0,194
dП7	0,053	0,052	0,037	0,046	0,040	0,227	0,035	0,055	0,025	0,049	0,053	0,217
dП8	0,044	0,042	0,030	0,037	0,032	0,186	0,017	0,026	0,012	0,023	0,025	0,103
dП9	0,048	0,046	0,033	0,041	0,036	0,205	0,033	0,052	0,024	0,046	0,050	0,206
dП10	0,070	0,068	0,049	0,060	0,052	0,299	0,045	0,071	0,032	0,063	0,069	0,281
dΣПЗ	0,235	0,227	0,163	0,201	0,174		0,162	0,253	0,115	0,225	0,245	

Таблиця 3.9 – Виявлені приховані пріоритети [10]

Критерій порівняння:			Запропонована стратегія подолання ризику
1	П1-Н2	0,070	Локомотивна бригада повинна проходити позапланові, повторні та цільові інструктажі, на яких детально розбираються вимоги безпеки під час роботи у аварійних ситуаціях
2	П5-Н9	0,073	
3	П10-Н1	0,070	Проведення інструктажів, контролю знань стосовно правил маневрової роботи, перевезення небезпечних вантажів в умовах ракетного обстрілу з детальним розбором усіх можливих наслідків НС
4	П10-Н7	0,071	
5	П10-Н10	0,069	

На рис 3.2 показана характеристика просторового розподілу негативних факторів аварійних ситуацій під час транспортування небезпечних вантажів

Рисунок 3.2 Характеристика просторового розподілу негативних факторів аварійних ситуацій під час транспортування небезпечних вантажів

Висновки до розділу 3

Результати щодо показника ризику комплексної дії негативних факторів аварійних ситуацій під час транспортування НВ та характеристики його просторового розподілу для станції Воскобійня, що реалізовані в цьому розділі дисертаційної роботи, такі:

1. На базі системного аналізу здійснено модельну оцінку ризику виникнення аварії по залізничній станції Воскобійня Дніпропетровської області. Аналіз потенційних сценаріїв небезпечних подій підтверджує, що саме людський фактор: порушення безпеки руху, маневрової роботи або неправильне інформування, – є основною причиною їх виникнення.

2. Виявлено приховані пріоритети та надано відповідні рекомендації для зменшення ризику їх настання (проведення інструктажів, контролю знань стосовно правил маневрової роботи, вимог безпеки під час роботи у аварійних ситуаціях, перевезення небезпечних вантажів в умовах ракетного обстрілу з детальним розбиранням усіх можливих наслідків НС).

3. На базі аналізу карт-матриць ризиків здійснено ідентифікацію основних та супутніх факторів і причин виникнення аварійної ситуації з небезпечним вантажем, які за характером та порядком розміщення інфраструктурних об’єктів до залізничної станції можуть значно впливати на масштаби аварії.

4. Доведено, що розташування поруч із залізницею таких об’єктів, як продуктопроводи, підприємства високого класу небезпеки та природні охоронні об’єкти, може значно посилити масштаб та наслідки аварії.

5. За допомогою «матриці Леопольда» побудовано карти ризиків ключової події та виявлено «прямі пріоритети». Найбільш імовірними причинами виникнення аварійної ситуації стали терористичний акт, що пошкодив колію, у результаті чого стався самовільний схід вагонів; перевищення швидкості рухомого складу з цистернами; ожеледиця, що призвела до збільшення гальмівного шляху і аварії; а також недотримання

штатного режиму експлуатації колійного господарства та вимог ПТЕ, що зі свого боку може призвести до зупинки технологічного процесу, розливу вантажу та фінансових збитків.

6. Визначення показника ризику комплексної дії негативних факторів аварійних ситуацій під час транспортування НВ дало можливість формулювання чіткої ієрархії подій (за причинами та наслідками), що сприяє підвищенню безпеки процесу перевезення шляхом розроблення процедури реагування на позаштатні ситуації й надає можливості її автоматизації.

Результати даного розділу опубліковані в статті [10].

РОЗДІЛ 4
МОДЕЛЮВАННЯ СХЕМ ОРГАНІЗАЦІЇ АВАРІЙНО-ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ РОБІТ, ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЛІКВІДАЦІЙНИХ ДІЙ ПІДРОЗДІЛІВ ТА ЇХНІХ ОПЕРАТИВНИХ ФОРМУВАНЬ

Для відновлення пропускної спроможності залізниці, у разі надзвичайних ситуацій, аварій на мережі залізниць діють аварійно-відновлювальні підрозділи: пожежні (ПП) та аварійно-відновлювальні поїзди (ВП), аварійно-польові команди, аварійно-відновлювальні літучки контактної мережі, зв'язку та засобів центрального блокування. У разі потреби задіюють технічні засоби та співробітників Державної служби з надзвичайних ситуації (далі – ДСНС), Міністерства внутрішніх справ (далі – МВС), пожежних частин, військових частин, медичних установ, центрів Держспоживслужби (та їхніх лабораторій), обладнання та засоби спеціалізованих підприємств та організацій інших відомств. У ліквідації аварійних ситуацій з небезпечними вантажами також беруть участь представники відправника вантажу та/або представники вантажоодержувача (за наявності).

Таке широке коло осіб, задіяних у ліквідації наслідків НС на залізничному транспорті, потребує організації оперативного процесу інформування та отримання розпоряджень від усіх задіяних підрозділів. При цьому багато залежить від завчасно та якісно підготовленого плану реагування на НС (ситуаційного плану), що містить схему залучення сил та коштів (з урахуванням місцевих умов), грамотних та чітких дій причетних осіб, а також від їхньої підготовленості.

В цьому розділі заплановані:

- розробка рекомендацій щодо удосконалення взаємодії суб’єктів перевезення небезпечних вантажів залізничним транспортом з метою запобігання ризикам аварій;

- оцінювання результативності дій ліквідаційних підрозділів та їхніх оперативних з’єднань щодо відновлення безпечного стану і належного рівня екологічної безпеки залізничної транспортної системи;

- розроблення функціональної моделі управління ліквідацією наслідків аварійної ситуації на залізничному транспорті, що забезпечуватиме оперативне реагування, спростить процедуру прийняття управлінських рішень та мінімізує негативні наслідки аварійних емісій;

- доведення за допомогою аналітичних та графічних залежностей показників динамічної завантаженості комбінованих вагонів-хоперів можливості перевезення сорбційних матеріалів («USS») у складі вантажного потяга як вагонів-прикриттів;

- отримання за допомогою розробленої простої моделі оптимальної кількості необхідних вагонів-хоперів (з «USS») відповідно до маси вантажу, створення спеціальних номограм для спрощення процедури формування поїздів за співвідношенням вагонів-хоперів (з «USS») до цистерн (танк-контейнерів, контейнерів) із небезпечними вантажами.

4.1 Аналіз наслідків аварійних ситуацій з небезпечними вантажами під час їх перевезення залізничним транспортом для визначення порядку їх ліквідації

До типових транспортних подій під час перевезення небезпечних речовин належать: пошкодження вагонів без впливу для небезпечного вантажу; пошкодження вагонів, що спричинило розсипання (розлив) небезпечного вантажу; пошкодження вагонів із утворенням емісій (розливів, розсіювань) небезпечних вантажів у довкілля; пошкодження вагонів внаслідок пожежі (вибуху) небезпечного вантажу.

У зв'язку з викладеним запропоновано таку класифікацію транспортних подій щодо їх наслідків (рис. 4.1).

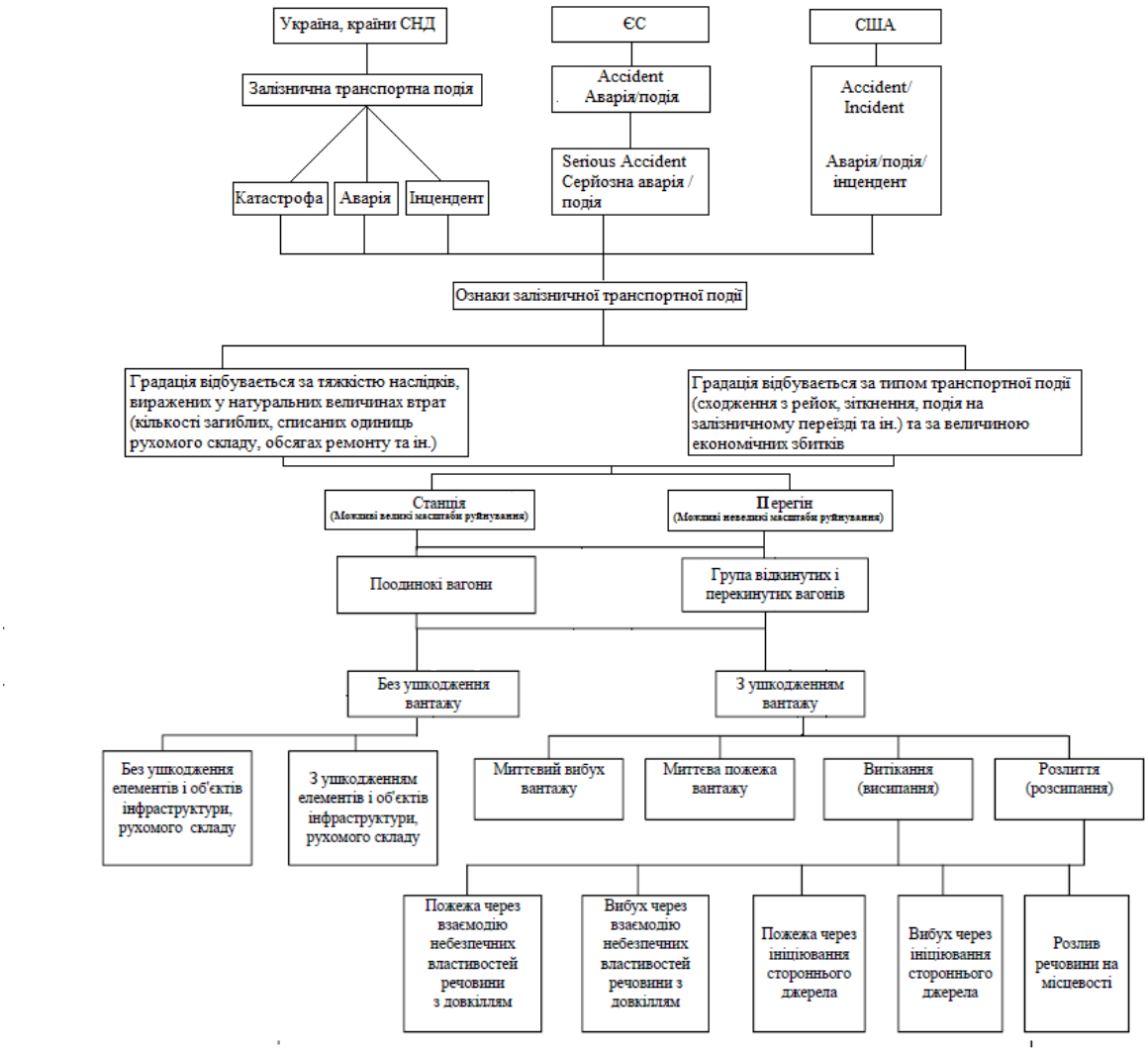


Рисунок 4.1 – Класифікація транспортних подій та їх наслідків

Основними причинами виходу з ладу вантажних вагонів є сходження їх з рейок через несправність колії, вихід з ладу ходової частини або зчіпних пристроїв рухомого складу, неправильне керування поїздом, несанкціоноване втручання у діяльність залізничного транспорту, зіткнення з автотранспортом на залізничних переїздах, зіткненнях із залізничним рухомим складом тощо.

Швидкість руху, погодні умови, рельєф, колійний профіль значно впливають на характер сходження рухомого складу з рейок. На його характер можуть впливати перешкоди, наприклад, поворот вагона, що зійшов з рейок, залишення його частин на шпальних ґратах з подальшим скупченням вагонів, що рухаються.

Сходження рухомого складу, що відбуваються при наїзді, можуть супроводжуватись, руйнуванням основної та бічних частин локомотива або вагона, що призводить до пожежі.

У більшості випадків окремі вагони або окремі групи з 2-4 вагонів спускаються на станціях під час розпуску з гірок через несправності колії, стрілочних переводів або «перескакування» через гальмівний башмак [35]. Такі сходження характеризуються відносно невисокими швидкостями руху, що не призводить до падіння рухомого складу на бік та пошкодження вантажу. Зіткнення в разі виконання маневрів, які здійснюються з дещо більшою швидкістю, часто супроводжуються більш складними сходженнями, аж до перекидання рухомого складу.

На перегонах [35, 98, 99] досить рідко трапляються сходження з рейок одиночного рухомого складу чи груп із невеликою кількістю вагонів. Вони виникають здебільшого на станціях і розподіляються залежно від наслідків таким чином: сходження локомотива або вагона з колісною парою; сходження всіх вагонів без їх виштовхування з-під рами рухомого складу; опускання всіх візків з викидом візка з-під рами та зануренням кінця візка в землю; сходження з викидом всіх візків, падінням рухомого складу набік або з перекиданням.

На насипах у більшості випадків, а особливо на криволінійних ділянках колії, рухомий склад може бути повністю або частково відкинутий за межі габариту. У глибоких виїмках відкиданню рухомого складу за межі габариту будуть перешкоджати укоси, у зв’язку з чим обсяг завалів у виїмках за інших рівних умов буде більшим, ніж на насипах. Характер завалів значною мірою залежить від причин та типу зіткнень рухомого складу. У разі лобових та бічних зіткненнях, як правило, утворюються складні завали з руйнуванням та телескопічним з'єднанням рухомого складу зі значними емісіями вантажу. Відбувається це в основному через проїзд заборонних знаків, порушення правил прийому та відправлення поїздів, відмову пристроїв системи керування, сходження вагонів зі станційних колій, а також зіткнення вагонів

поїздів, за яких вони зійдуть з рейок на сусідні колії. Випадки сходження рухомого складу через дефект колій, через знос деталей або вузлів вагона характеризуються меншим обсягом робіт, хоча в цих випадках багато залежить від конкретних обставин.

Найбільш складні випадки виникають у разі сходження з рейок або зіткнення рухомого складу в тунелях, мостах, а також двох зустрічних поїздів.

Завал – це скупчення різних предметів, що ускладнюють чи перешкоджають руху, яке утворилося природним чи штучним шляхом. Аналіз транспортних подій [35, 98, 99] свідчить про те, що характер завалів багато в чому залежить від причин зіткнень і сходжень рухомого складу. У разі лобових і бічних зіткнень утворюються складні завали з руйнуванням і телескопічним з’єднанням рухомого складу та значним ушкодженням вантажу.

Як вказувалося вище, до внутрішніх подій належать відмови технічних засобів, що впливають на безпеку, помилкові дії персоналу (так званий «людський фактор»), пожежі тощо, а до зовнішніх – небезпечні природні явища, несанкціоноване втручання третіх осіб, поломки та несправності елементів рухомого складу та об'єктів інфраструктури, спричинені їх технічним станом внаслідок фізичної експлуатації та старіння, а також неякісного ремонту та поточного утримання [35].

За статистичними даними [35, 98, 99], до небезпечних відмов елементів колії належать: обрив колії (24,4 %), вихід з ладу елементів об'їзду (14,7 %), відмови, що призводять до неприпустимих параметрів колії (36,2 %), викид колії (12,1 %), деформація ґрунту (12,6 %).

Основними причинами таких відмов є порушення технології виготовлення рейок, стрілочних переводів тощо, незадовільне утримання елементів верхньої будови колії.

Аналізуючи ситуацію на залізничному транспорті, небезпечні відмови вантажних вагонів через несправність гальм (52 %), осі колісних пар (25 %)

спричинені незадовільною якістю їх ремонту та технічного обслуговування поїздів. Переломи хребтових та шкворневих балок (2,6 %) стаються внаслідок застосування вагонними депо під час їх відновлення незносостійких матеріалів.

Крім того, до небезпечних відмов цистерн, призначених для перевезення небезпечних вантажів, належать вихід з ладу зливного пристрою (52,8 %), тріщина у зварному шві (18,2 %), тріщина в котлі цистерни (13,1 %), розтин люка (3,1 %), вихід з ладу запобіжного клапана (2,0 %), корозійні пробоїни (1,1%) та деякі інші, які стали наслідком порушень технології під час проведення планових видів ремонту та технічного обслуговування [35, 98, 99].

Аварії та катастрофи також стаються внаслідок падіння частин вагонів і вантажу на колію (2,6 %) через незадовільне кріплення або виходи з ладу пристроїв кріплення вантажу [100, 101].

Особливий вплив на стан безпеки руху поїздів має «людський чинник», з ним пов'язано 72,8 % усіх транспортних подій.

Основними етапами розвитку аварій та катастроф на залізничному транспорті є:

- стадія ініціації, куди входять етапи накопичення механічних пошкоджень устаткування, відхилень від заданих режимів експлуатації і навіть порушень контролю над станом устаткування (у разі екстремальних зовнішніх впливів може виникати ненадовго). Цей етап закінчується виникненням аварійної ситуації, тобто умов, відмінних від нормальних умов перевезення вантажу;

- стадія розвитку аварійної ситуації, коли локомотивна бригада та працівники залізничного транспорту, пов'язані з рухом поїздів, системами автоматичного захисту втрачають контроль над процесами нормального функціонування транспортного процесу, викидом енергії, шкідливих речовин або запускаються неконтрольовані реакції, формуються уражальні фактори,

що становлять загрозу для людей, інфраструктури та навколишнього середовища;

– етап руйнування захисних кожухів паковань (транспортних контейнерів із вантажем), балонів, цистерн, контейнерів, вагонів тощо та вихід уражальних факторів за захисні бар'єри (стадія руйнування первинного контейнера);

– етап впливу вражальних факторів катастроф чи аварій на рухомий склад, об'єкти залізничної інфраструктури, навколишнє природне середовище (формування вторинного рецептора).

Дослідження причин залізничних аварій та катастроф, що сталися в Європі та США, показали, що ці транспортні події найчастіше відбуваються на станціях перемикання. Аналіз аварійних сценаріїв з викидами небезпечних речовин підтверджує, що найбільш значущими з погляду пошкодження рухомого складу є транспортні події, що відбуваються з крупногабаритними та великотоннажними відправками при зіткненні або сходженні вагонів з рейок.

З огляду на свою фізичну природу, впливи аварій і катастроф на рухомий склад та об'єкти залізничної інфраструктури можуть бути механічними (удари з різною швидкістю при різних зіткненнях рухомого складу, перекидання при сходженні з рейок), тепловими (пожежа, нагрівання зовнішніх джерел), впливами агресивних середовищ та іонізуючих випромінювань (у разі аварій з іншими об'єктами навколишнього середовища), балістичними (бомбардування, аварії з вибухонебезпечними предметами) та комплексними [35, 98, 99].

Основними видами впливу на рухомий склад та об'єкти залізничного транспорту під час аварій та катастроф є лінійні навантаження та удари, що призводять до механічного руйнування елементів конструкції, викиду, скидання небезпечних вантажів, ініціювання вибухонебезпечних перетворень, вихід з ладу електричних, електромеханічних та радіоелектронних приладів і пристроїв. Ударні впливи виникають при

падінні вантажу, дії повітряної ударної хвилі та в деяких інших випадках. У процесі удару навантаження додається до елементів конструкції протягом короткого проміжку часу. Це призводить до прискорення таких елементів, що, у свою чергу, може викликати різні пошкодження конструкції. Інтенсивність ударного впливу залежить від форми, амплітуди та тривалості ударного імпульсу.

Основними видами теплового впливу є термічний удар (наприклад, світлове випромінювання вибуху) та нагрівання (аеродинамічний, тепловий потік, полум'я).

При залізничних аваріях і катастрофах термічні ефекти проявляються здебільшого у вигляді пожеж, що є неконтрольованими процесами горіння [35, 102, 103]. Параметрами, що визначають тепловий ефект пожежі, є температура, інтенсивність та тривалість нагріву. До інших параметрів пожежі належать: площа вогнища загоряння, його периметр, лінійна швидкість поширення вогню, швидкість горіння горючих речовин і матеріалів, інтенсивність газообміну, площа задимлення та інші. Розрізняють внутрішні пожежі, тобто горіння в обмеженому просторі (вагони, локомотиви, контейнери тощо) та відкриті пожежі, тобто горіння, не обмежене розмірами будівельних конструкцій.

Вивчення аварій, що супроводжувалися пожежею (вибухом), дозволило встановити наявність таких небезпечних зон:

– зона дії повітряної ударної хвилі (надлишкового тиску) під час вибуху хмари паливо-повітряної суміші;

- зона прямої дії полум'я;

– зона дії теплового випромінювання пожеж при розливах газоподібних речовин, легкозаймистих та горючих рідин та випромінювання вогняних куль;

- зона дії осколків (уламків) зруйнованих цистерн.

При цьому небезпечні радіуси надлишкового тиску ударної хвилі вибухів пароповітряної суміші при аваріях із газоподібними речовинами

можуть сягати для людей до 1800 м, для техніки – до 450 м. Небезпечні радіуси зон дії теплового випромінювання при аваріях за участю газоподібних речовин та утворенням вогняної кулі можуть встановлювати для людей до 300 м, а для техніки – 120 м.

Небезпечні радіуси зон дії теплового випромінювання пожеж при горінні розливів газоподібних речовин, ЛЗР можуть бути: при розливі газоподібних речовин із резервуару для людей – 80 м, для обладнання – 40 м; при зливі легкозаймистих та горючих рідин з цистерни для людей – 60 м, для техніки – 35 м; при розливі газоподібних речовин із двох та більше резервуарів радіус небезпечної зони для людей становить 120 м, для техніки – 55 м.

Зона осколків (уламків) при вибуху цистерни досягає до 150 м, а в окремих випадках до 450 м. Зафіксовано випадки, коли вибух відривав танк від каркаса й відкидав його на відстань до 80 м.

Розміри скидів, а також розміри вибухонебезпечних зон при витіканнях газоподібних речовин та ЛЗР визначають розміри можливої пожежі після займання або вибуху хмари паливо-повітряної суміші.

З більшою інтенсивністю пожежа розвивається в разі викиду газоподібних речовин із залізничних цистерн у випадках залізничних аварій чи катастроф. При цьому цистерни перевертаються та пошкоджуються, тому загальна площа займання може становити до 10 000 $м^2$.

Характерною особливістю таких пожеж є значна швидкість зростання площі горіння. Зазвичай вона становить близько 330 $м^2$/хв, іноді може досягати 1000 $м^2$/хв.

У разі розливів горючих рідин із залізничних цистерн, що відбуваються внаслідок наїзду або катастрофи, горіння розлитого нафтопродукту може поширитися не тільки на сусідні поїзди, а й на найближчі будівлі, а в разі потрапляння небезпечної речовини в каналізацію або каналізаційні канави – на об'єкти, розташовані на відстань до 1 км. Швидкість поширення полум'я

над розлитим нафтопродуктом становить 15-25 м/хв, а окремих випадках може збільшуватися до 40 м/хв.

Тому не викликає сумнівів, що події на залізничному транспорті, зокрема з небезпечними вантажами, суттєво відрізняються за своїми причинами, характером розвитку та наслідками для навколишнього середовища від тих, що відбуваються на стаціонарних об'єктах чи інших видах транспорту, що надалі необхідно враховувати під час виконання ліквідаційних заходів.

4.2 Оцінка ефективності дій розрахункових одиниць та їх оперативних зв'язків щодо відновлення безпечного стану та належного рівня екологічної безпеки залізничної транспортної системи

Реагування на надзвичайну ситуацію, що виникає на залізничному транспорті, починається з отримання інформації, яка зазвичай надходить від машиніста локомотива або його помічника, що містить дані про характер ситуації, наявність постраждалих, назву вантажу, його кількість і так далі.

Згідно з встановленою на сьогодні у АТ «Укрзалізниця» схемою оповіщення, залучені посадові особи уточнюють дані про транспортну пригоду та надають відповідну інформацію керівництву залізниці, дирекції залізниці та Укрзалізниці [103-105].

Створюються оперативні штаби в акціонерному товаристві «Укрзалізниця», регіональних відділеннях залізниць та управлінні залізничного транспорту для оперативного керування реагуванням на надзвичайну ситуацію.

Слід зауважити, що чинними нормативними документами передбачено лише порядок оповіщення про виникнення аварійної ситуації на залізниці, але порядок реагування на такі ситуації не визначено, чітко не прописано послідовність дій, які необхідно вжити. Таке положення легко пояснюється тим, що подібні ситуації є різноплановими як за масштабом, характером, так

і за способами реагування. Проте найнеобхіднішим є приведення всіх способів реагування на різні сценарії аварії до універсальної класифікації способів реагування на них. Усе це впливає на оперативність аварійно-ліквідаційних підрозділів та підрозділів Державної служби з надзвичайних ситуацій, залежить від оптимізації роботи цих підрозділів, оперативного реагування на аварійні ситуації на залізничному транспорті, а також забезпечення таких підрозділів ефективною спеціальною технікою, обладнанням, спорядженням і засобами захисту.

Проведення робіт з локалізації аварійних ситуацій на залізничному транспорті та ліквідації їх наслідків передбачає спостереження за ситуацією, що склалася, вибір ефективного способу дій з урахуванням усіх застережень та застосуванням встановлених заходів безпеки.

На ефективність робіт також впливає укомплектованість та оснащеність частин та їхнє територіальне розташування по відношенню до місця НС.

У зв'язку із викладеним пропонується розглянути концептуальну схему управління ліквідацією наслідків надзвичайної ситуації з небезпечними вантажами (рис. 4.2), яка на сьогодні вважається універсальною, тому що враховує попередню класифікацію залізничних аварійних ситуацій і форм реагування

Ця схема дозволяє в короткі терміни отримати чітку інформацію про аварійні наслідки та оперативно ухвалити рішення щодо проведення ліквідаційних заходів. Проте час прибуття аварійно-ліквідаційних формувань та підрозділів ДСНС для виконання заходів не враховується, що може призводити до незворотних наслідків для довкілля. Тому пропонується передбачити фаховий супровід кожного вантажного поїзда з небезпечними вантажами. Такий фахівець має відповідати всім вимогам до супровідного персоналу для перевезення небезпечних речовин (ППНВ, Правила безпеки та порядку ліквідації наслідків аварійних ситуації з небезпечними вантажами при перевезенні їх залізничним транспортом та ін.)

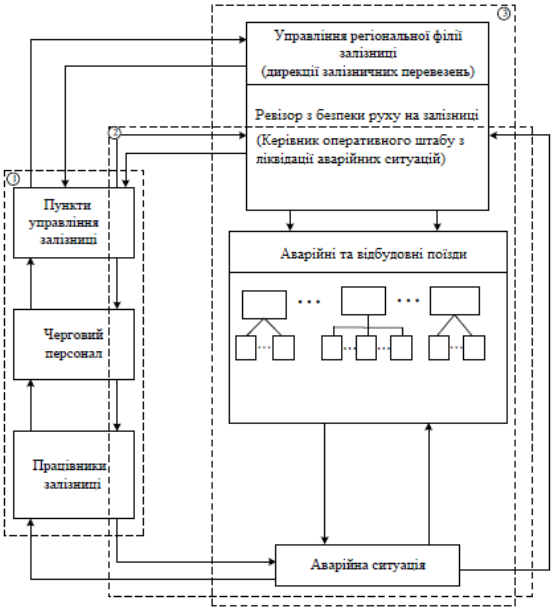


Рисунок 4.2 – Схема управління ліквідацією наслідків залізничної аварії

Фахове супроводження кожного вантажного поїзда з небезпечними вантажами має мінімізувати наслідки аварій. Для проведення спеціального навчання АТ «Укрзалізниця» звертається до спеціально уповноважених органів та центрів, які мають відповідних фахівців, ліцензії та сертифікати Міністерства інфраструктури.

При цьому основний акцент необхідно робити на постійній співпраці АТ «Укрзалізниця» та відповідного Центру, який проводить спеціальне навчання з метою контролю якості надання відповідних послуг.

На сьогодні існує кілька проблем щодо співпраці Центрів спеціального навчання та АТ «Укрзалізниця», а саме [9-11]:

- відсутня мотивація в успішному навчанні серед робітників інфраструктури;
- складний графік робочого часу та щільний графік проведення спеціального навчання;
- низька кадрова забезпеченість, пов’язана зі скрутною економічною ситуацією;
- недостатній рівень освіти за фахом;
- невідповідність слухача вимогам за віком (навчання робітників передпенсійного та пенсійного віку);

- незабезпеченість місць проведення спеціального навчання відповідною кількістю нормативних документів та посібників, зокрема у разі проведення спеціального навчання на лініях;
- недосконалий кадровий контингент у зв’язку з низькою оплатою праці;
- недосконала процедура добору працівників для проходження спеціального навчання;
- відсутність надання реальних практичних навичок щодо вивчення питань локалізаційно-ліквідаційних заходів аварійних ситуацій з НВ для причетних до цих процесів осіб.

Тому рекомендується АТ «Укрзалізниці» та Центрам спеціального навчання приділяти більшу увагу саме практичній стороні питання. Також пропонується проведення практичних занять з відпрацювання навичок розгортання запропонованого «USS» на місці в умовах, наближених до реальної ситуації. Відпрацювання повинно тривати хоча б 1 день безпосередньо на реальному об’єкті АТ «Укрзалізниці» для відпрацювання реальної техніки швидкого розгортання «USS» (до 30-35 хв) усіма учасниками локалізаційно-ліквідаційного процесу, а також для злагодження їхньої роботи.

На рис. 4.3 наведено схематичну модель, що демонструє взаємодію підрозділів АТ «Укрзалізниця» з іншими суб'єктами перевезення небезпечних вантажів залізничним транспортом.

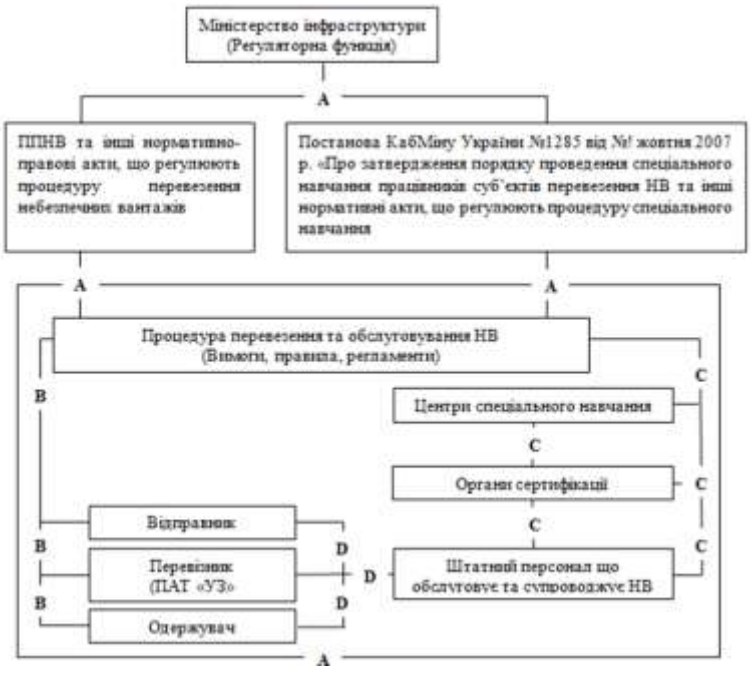


Рисунок 4.3 – Функціональна модель взаємодії суб'єктів перевезення НВ залізничним транспортом

Функціональна модель (рис. 4.3) демонструє регуляторну функцію Міністерства інфраструктури через нормативно-правові акти на процедуру перевезення – інформаційний потік (Потік А). Процедурним потоком (Потік В) описуються вимоги, правила, регламенти процедури перевезення та обслуговування НВ для всіх учасників системи «відправник – перевізник – одержувач». Процес підготовки, навчання «Центрами спеціального навчання» штатного персоналу, що обслуговує та супроводжує НВ, з атестацією та видачою відповідних сертифікатів «Органами сертифікації» описується навчальним потоком (Потік С). Фаховим потоком (Потік D) описується необхідність фахового обслуговування та супроводження НВ штатними працівниками для всіх учасників системи «відправник –перевізник – одержувач».

Також необхідно враховувати існуючу ситуацію з наявністю нової та ремонтопридатної техніки, яка використовується безпосередньо на етапах локалізації та ліквідації. На жаль, на сьогоднішній день обладнання для

проведення локалізаційних та ліквідаційних заходів морально застаріло та не завжди готове до експлуатації в реальних умовах.

Існує й інша проблема. Згідно з «Інструкцією з організації відновлювальних робіт з ліквідації наслідків транспортних пригод на залізницях України» [103, 105] та «Правилами безпеки та порядку ліквідації наслідків аварійних ситуацій з небезпечними вантажами при перевезенні їх залізничним транспортом»[105] забороняється починати роботи з ліквідації наслідків сходжень та зіткнень рухомого складу з небезпечними вантажами до прибуття відповідної аварійної служби та одержання інструктажу на ведення відновлювальних робіт. У цьому разі відновлювальні роботи повинні проводитися лише під керівництвом начальника дирекції залізничних перевезень через начальників відбудовних поїздів. Саме через цей пункт ані людина, що супроводжує вантаж, ані будь-хто інший не має змогу займатися локалізаційно-ліквідаційними заходами, і саме через це втрачається багато часу, за який можна було б розпочати аварійно-відновлювальні роботи. Тому пропонується внести зміни до порядку супроводження НВ, відповідальності за ведення ліквідаційних заходів та порядку організації відновлювальних робіт, ліквідації наслідків аварійних ситуацій з небезпечними вантажами при перевезенні їх залізничним транспортом.

4.3 Моделювання схем організації аварійно-відновлювальних робіт, вибір найкращої моделі та її обґрунтування

Аналіз діаграми 4.1 підтверджує, що залежно від кількості вагонів (поодинокі або групи вагонів) та типу ушкодження вантажу (з ушкодженням вантажу або без ушкодження вантажу), спостерігаються різні сценарії розвитку подій, які треба враховувати та приймати відповідні рішення.

Таким чином, можна виділити такі групи:

група 1 – поодинокі вагони:

а) без ушкодження вантажу;

б) з ушкодженням вантажу;

група 2 – група перекинутих вагонів:

а) без ушкодження вантажу;

б) з ушкодженням вантажу;

Детальніше проаналізуємо сценарії локалізаційних та ліквідаційних заходів у разі виникнення транспортних подій для різних груп (рис. 4.4а та 4.4б).

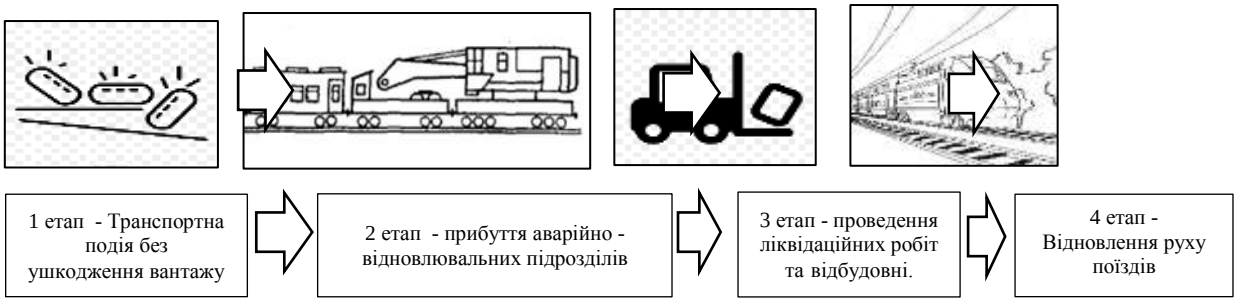


Рисунок 4.4*а* – Сценарій №1 для груп 1а, 2а

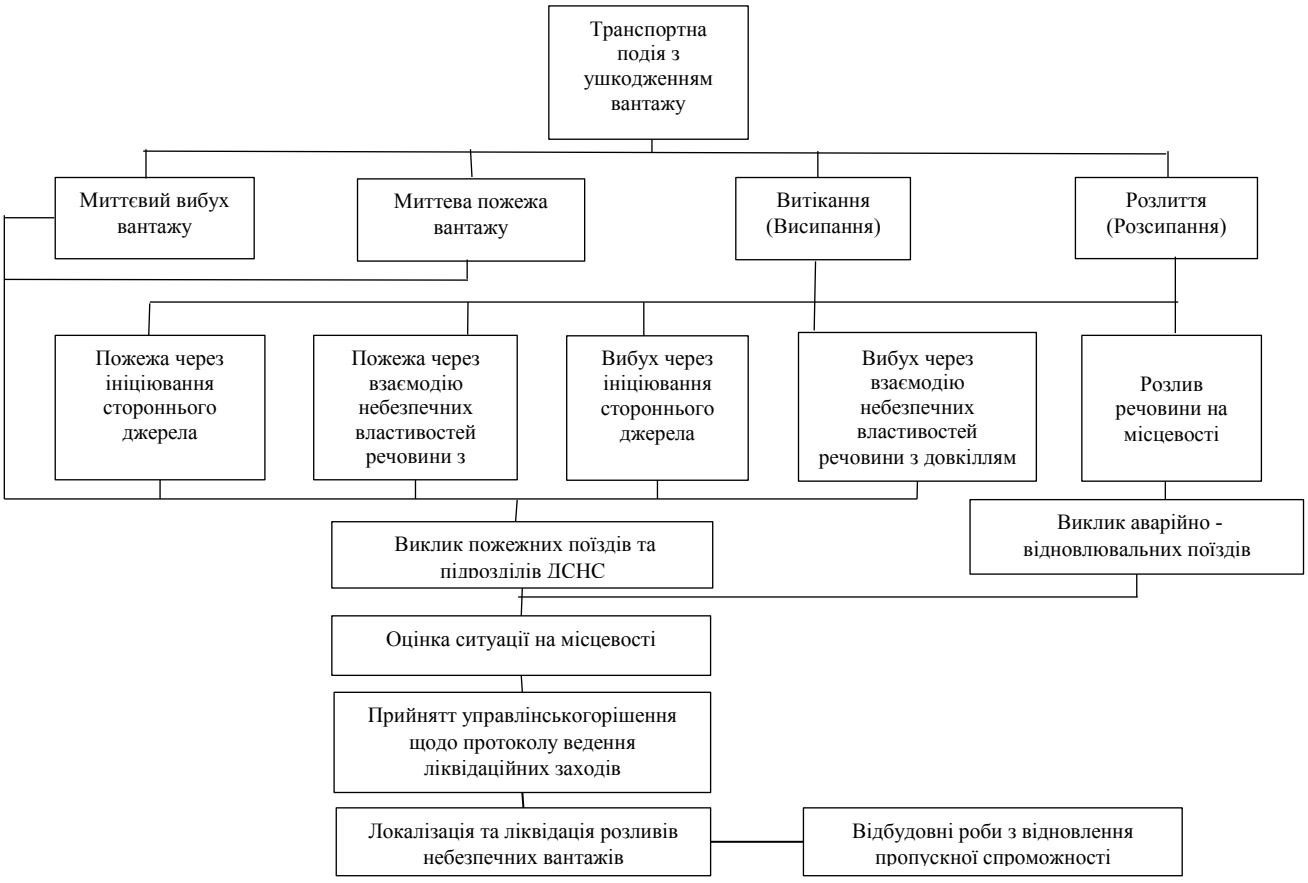


Рисунок 4.4б – Сценарій №2 для груп 1б, 2б

Як бачимо, існує безліч різних сценаріїв розвитку подій під час локалізації та ліквідації аварійних розливів небезпечних вантажів. У цій роботі автор пропонує докладніше розглянути етап локалізації та ліквідації аварійних розливів небезпечних вантажів у разі розливу речовин на місцевості (рис. 4.5).

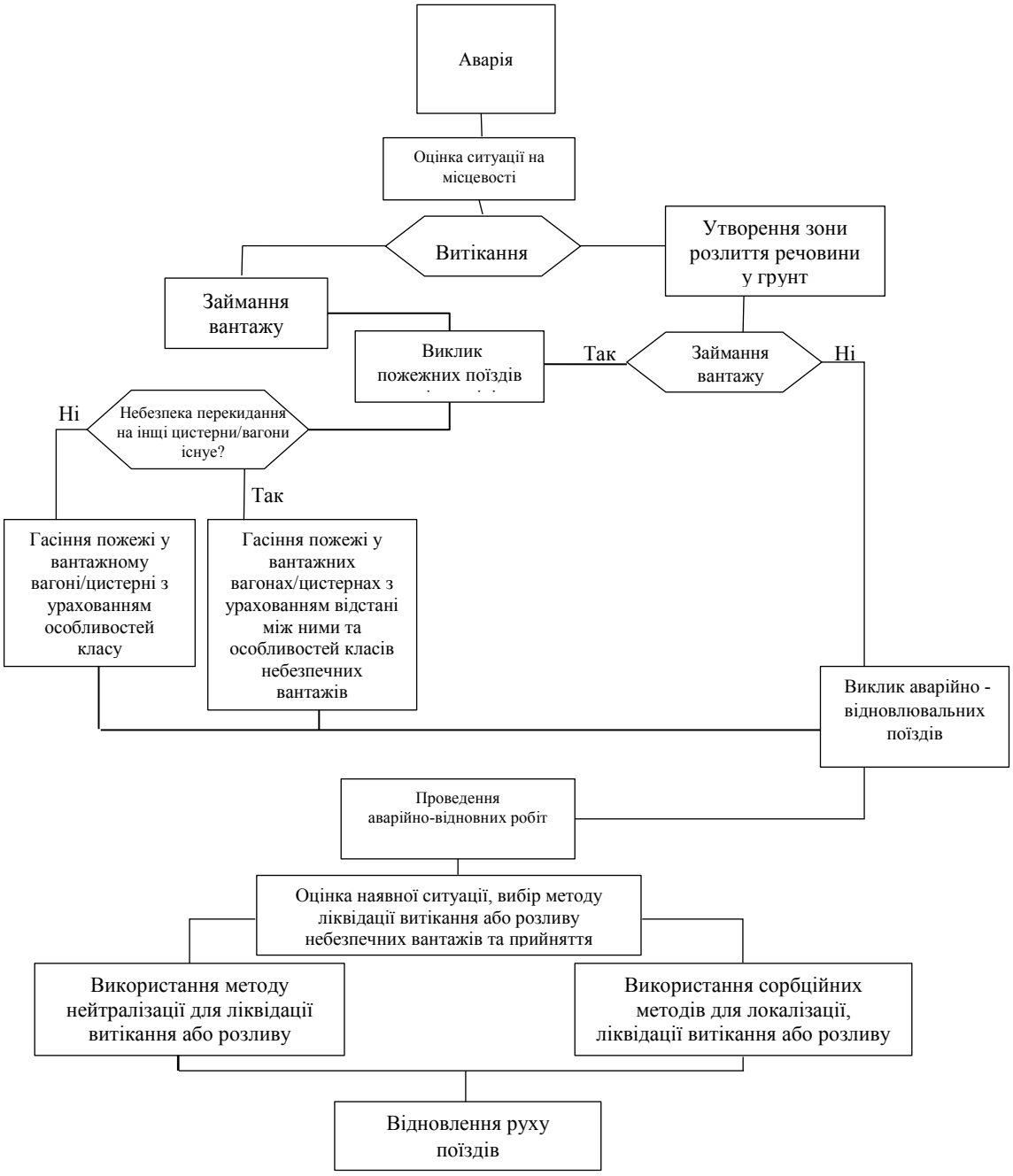


Рисунок 4.5 – Етап локалізації та ліквідації аварійних розливів небезпечних вантажів у разі розливу речовини на місцевості

Далі розглянемо питання щодо запровадження етапу локалізації у процес після виникнення надзвичайної ситуації та до прибуття аварійно-відновлювальних формувань та екстрених служб, що значно скоротить час врегулювання. Відповідно до п. 5.51 Правил та порядку дій з ліквідації наслідків аварійних ситуацій з небезпечними вантажами при їх перевезенні залізничним транспортом [105] роботи з локалізації забруднень (заражень) виконуються відповідно до рекомендацій, що містяться в розділах аварійної карти й пов'язані з дотриманням заходів особистої безпеки і передбачають:

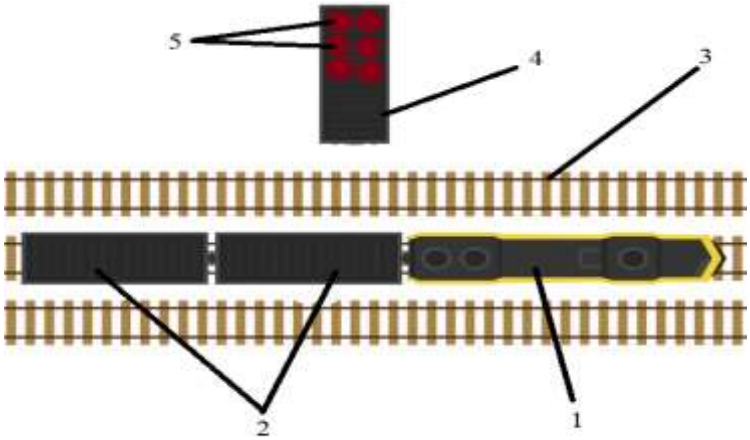
- перекачку залишки небезпечного вантажу з пошкодженого контейнера до відповідного;
- відкачування пролитої рідини із низьких ділянок;
- відкачування води, забрудненої небезпечними речовинами, із місць її скупчення;
- накриття залишків пролитої рідини сипким матеріалом для вбирання небезпечної речовини;
- збирання розсипів і зняття верхнього шару зараженого ґрунту, засипання котлованів незараженим ґрунтом;
- обвалення місць розливів; будівництво дамб, влаштування котлованів, ям, сифонів, відстійників для збору (накопичення) шкідливих речовин;
- улаштування відвідних канав, перекриття поперечних канав на схилі, улаштування тимчасових самопливних лотоків, розміщення жолобів, труб для відведення шкідливих речовин;
- улаштування дренажу зараженої частини території;
- будівництво гідротехнічних споруд уздовж дренажу для захисту його від шкідливих речовин у період сильних дощів чи відлиг;
- створення водяної завіси в разі інтенсивного випаровування газу (парів) для ізоляції частини території;
- переорювання зараженої ділянки;
- створення споруд, що утримують наноси в річищі ріки, водоймищ для затримки зараженого мулу.

Тобто існує чітко прописаний етап локалізації, але за запропонованою схемою супроводження відповідальність за впровадження першочергових локалізаційних заходів має бути покладена на супровідника.

Далі пропонується розглянути використання сорбційних методів як методів, обраних (див. розд. 3) для локалізації та ліквідації розливів небезпечних речовин, оскільки вони належать до тих, які дозволено впроваджувати в ці етапи відповідно до п. 5.51 Правил та порядку дій з ліквідації наслідків аварійних ситуацій з небезпечними вантажами при їх перевезенні залізничним транспортом. Крім того, у розділі 3 наведено недорогі та прості у використанні сорбційні методи, де адсорбенти можуть бути використані у різних формах. У розділі 3 був представлений один з можливих варіантів використання сорбенту у вигляді універсального сорбційного полотна, що дозволить значно ефективніше використовувати його на етапах локалізації та ліквідація розливів вантажів.

Далі пропонується детальніше розглянути два способи використання універсального сорбційного полотна («USS»).

Перший варіант використання «USS» наведено на рис. 4.6.

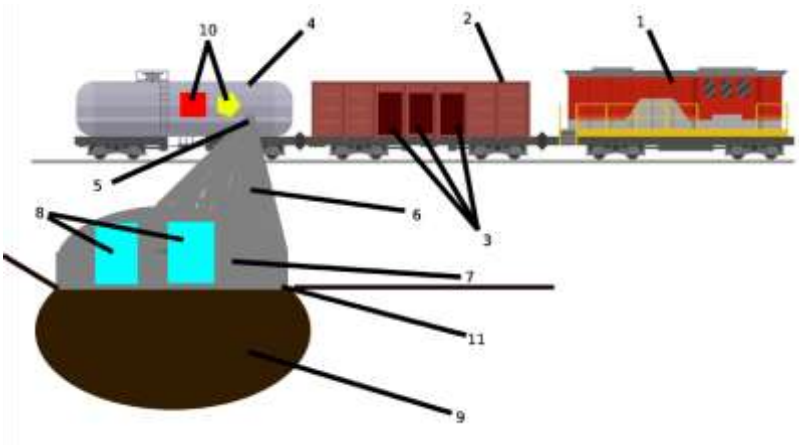


1 – локомотив; 2 – контейнери з небезпечним вантажем; 3 – аварійно-небезпечна ділянка; 4 – вагон із сорбційним полоном «USS»; 5 – барабани із сорбційним полоном «USS»

Рисунок 4.6 – Приклад використання універсального сорбційного полотна («USS») № 1

Схема працює таким чином: біля аварійно-небезпечної ділянки розміщується вагон із сорбційним полоном «USS» *4* у барабанах. Якщо настає аварійна ситуації із рідкими вантажами на цій аварійно-небезпечній ділянці, фахівець або помічник машиніста відчиняє вагон із «USS» і починає закидати ним зону розливу НВ.

Ця схема дозволяє розпочати оперативну локалізацію та ліквідацію аварійних розливів НВ при перевезенні їх залізничним транспортом, без великих додаткових фінансових затрат на доставку полотна на місце аварії. Проте вона має свої недоліки, через те що вагон з «USS» все ще може розташовуватися далеко від місця аварійного розливу НВ. Тому наступною схемою (рис. 4.7) вирішено питання стосовно скорочення часу та відстані для негайного процесу локалізації та ліквідації аварійних розливів НВ.



1 – локомотив; *2* – вагон із сорбційним полотном; *3* – барабани із сорбційним полотном; *4* – цистерна з небезпечним рідким вантажем; *5*– отвір, через який просочується небезпечний вантаж; *6* – поверхневий стік рідких небезпечних вантажів залежно від рельєфу місцевості; *7* – зона формування дзеркала, що зникає; *8* – сорбційна тканина; *9* – зона пошкодження ґрунтового шару; *10* – небезпечний вантаж; *11* – дзеркало течі

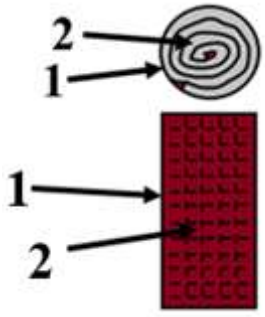
Рисунок 4.7 – Приклад використання універсального сорбційного полотна («USS») № 2 [8-11]

Схема працює таким чином [8-11]. До локомотива *1* прикріплюється вагон *2* з контейнерами *3* із універсальним сорбційним полотном («USS») *8*. Якщо виникає аварійна ситуація під час перевезення рідкого небезпечного

вантажу *10*, то фахівець, що супроводжує вантаж, відчиняє контейнери *3* із універсальним сорбційним полотном («USS») *8* та використовує його в зоні утворення дзеркала *11* витоку *7*, для того щоб запобігти потраплянню небезпечного вантажу *10* у товщу ґрунту та зменшити зону ураження товщі ґрунту *9*. Потім відпрацьоване універсальне сорбційне полотно («USS») складають назад у контейнер *3* для подальшої регенерації по прибуттю локомотива *1* до місця його постійної дислокації. Після проведення регенерації сорбційне полотно можна використовувати знову.

Таким чином, використання запропонованого універсального сорбційного полотна («USS») *8* дозволяє локалізувати та/або ліквідувати рідкі небезпечні речовини класів небезпеки 3, 5, 8 на рівні адсорбційної активності більше 90 %.

На рис. 4.8 детально показаний контейнер із універсальним сорбційним полотном («USS»).



1 – контейнер для перевезення вбирних серветок;

2 – вбирна тканина у складеному вигляді

Рисунок 4.8 – Контейнер із сорбційним полотном («USS») [11]

Як бачимо на схемі, для того щоб не використовувати додатковий вагон, сорбційне полотно пропонується, перевозити у так званих вагонах-прикриттях, які встановлюють між рухомим складом та локомотивом. Як вагон для перевезення пропонується використання комбінованих вагонів моделей 19-795 та 19-795-01 (рис. 4.9) [106].

Рисунок 4.9 – Автопоїзди моделей 19-795 та 19-795-01, у яких передбачено перевезення універсального сорбційного полотна («USS») [10, 106]

Ці вагони призначені для перевезення сипких вантажів та інших сипких матеріалів по всій мережі залізниць колії 1520 мм з навантаженням через верхні люки та вивантаженням самопливом у міжрейковий простір через нижні розвантажувальні люки, а також для перевезення пакетованих алюмінієвих зливок, Т-подібних зливок, фасованих товарів, які потребують захисту від атмосферних опадів [106]. Гальмо – автоматичне пневматичне з роздільним гальмуванням візків та стоянкове. Ходова частина – два двовісні візки мод. 18-7055 тип 2 ГОСТ 9246 або інші візки тип 2 ГОСТ 9246. Автозчеплення СА-3. Поглинаючий апарат класу Т1

Технічні характеристики вагона наведено в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Технічні характеристики вагона [11,106]

Технічні характеристики	Значення
Вантажопідйомність, не більше , т	64,0
Об'єм кузова для сипких вантажів, $м^3$	74,0
Об'єм кузова для тарних вантажів, $м^3$	70,0
Маса тари, не більше, т	29,1
Розрахункове статичне навантаження від колісної пари на рейки , кН(тс)	230,5 (23,5)
База вагона, мм	11 500
Довжина вагона по осях автозчеплень , мм	16 620
Габарит за ГОСТ 9238	1-ВМ

Кількість люків: - завантажувальних - розвантажувальних	 3 6
Візок	18-7055
Конструкційна швидкість , км/год	120
Міжремонтний пробіг, км	210 000
Строк служби, років	26

Ці моделі комбінованих вагонів (19-795 і 19-795-01) були обрані тому, що вони мають не тільки верхні завантажувальні люки та нижні розвантажувальні люки, а й бічні двері, через які також можливе навантаження та вивантаження абсорбційного полотна. Крім того, це вагон українського виробництва – ПАТ «Крюківський вагонобудівний завод», що значно спрощує логістику його придбання, доставки та використання.

4.4 Оцінка впливу вагона-прикриття на загальні та динамічні характеристики поїзда

Після завантаження сорбенту в цей комбінований вагон-хопер і приєднання його до поїзда ми перевірили можливість використання такої комбінації під час перевезення небезпечних речовин поїздом. Розрахунки виконувалися за допомогою спеціальної програми «Аналізатор програм поїздів, Обчислювальний комплекс ДІІТ», розробленої фахівцями Українського державного університету науки і технологій.

Для розрахунків було взято такі вихідні дані:

кількість цистерн у поїзді – 59, з них 1 вагон – комбінований вагон моделі 19-795 або 19-795-01 з нашим універсальним сорбційним полотном («USS»). Маса 1 цистерни (m) = 80 т. Прийнятий варіант із заправкою бака "Кас з недоливом 1,27 м".

Для розрахунку також нами було обрано відрізок колії від станції Верхньодніпровськ до станції Кам’янське в районі станції Воскобійня. (рис. 4.10).

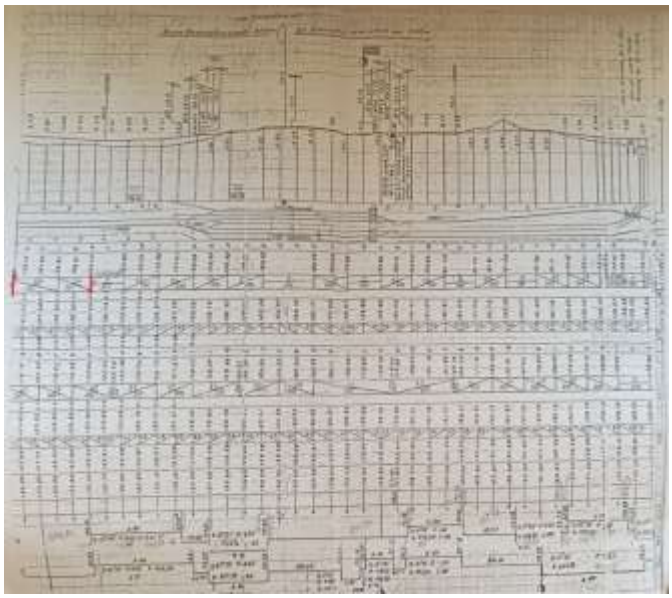


Рисунок 4.10 – План залізничної колії від станції Верхньодніпровськ до станції Кам'янське

Результати розрахунків у вигляді графіків зображені на рис. 4.11, 4.12, 4.13.

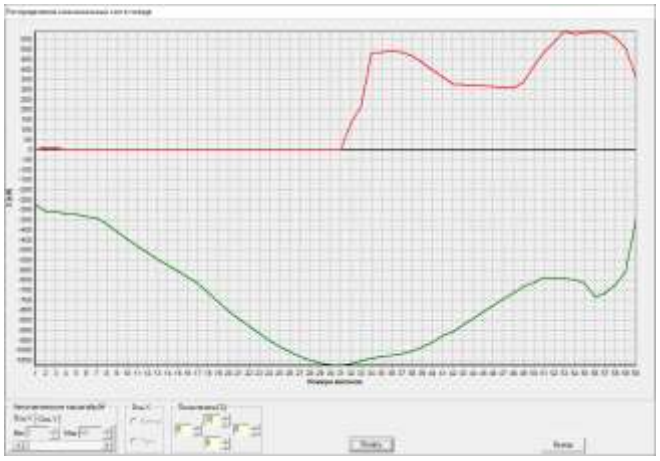


Рисунок 4.11 – Розподіл максимальних сил у поїзді за $V_0 = 20$ км/год

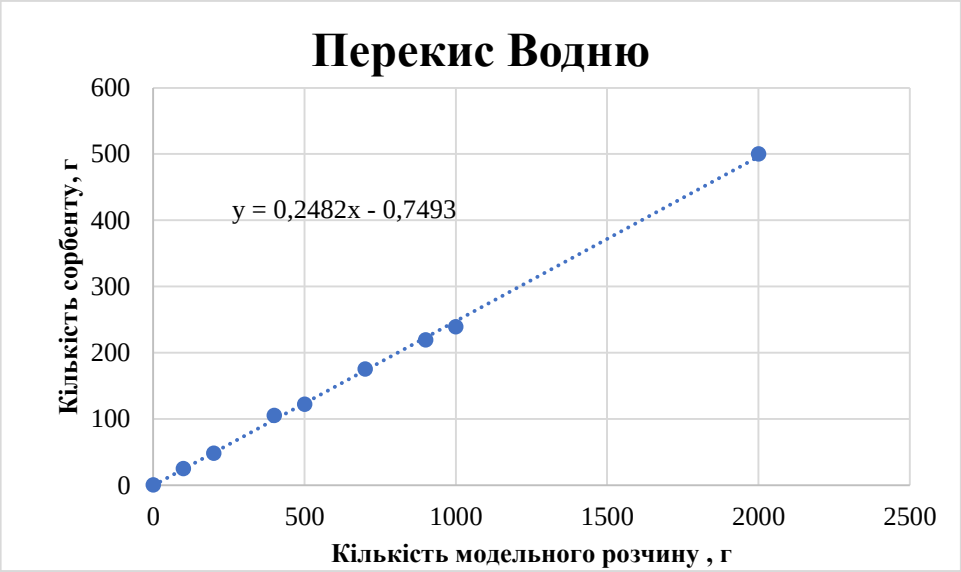
Рисунок 4.12 – Розподіл максимальних сил у поїзді за V_0=20 км/год зі зміщенням

Рисунок 4.13 – Розподіл максимальних сил у поїзді за V_0=30 км/год

Аналіз графіків підтверджує, що використання вагона-прикриття (комбінований вагон моделей 19-795 або 19-795-01), заповненого металевими барабанами із сорбційними полотнами, котками для ущільнення сорбенту, а також іншим інструментом, який можливо буде використовувати для ліквідації аварійних наслідків розливів небезпечних вантажів, жодним чином не вплине на загальні та динамічні характеристики потяга, що означає, що зменшувати кількість вантажу не потрібно.

4.5 Кінетичні залежності процесу сорбції рідких фракцій НВ розробленим універсальним сорбційним полотном («USS»)

Для спрощення процедури оснащення поїздів моделей 19-795 та 19-795-01 у яких передбачено перевезення «Універсальних сорбційних полотен» (USS) було побудовано номограми(рис. 414-4.16). Для цього потрібно обрати необхідну кількість вантажу що буде перевозитись(модельного розчину) провести лінію до графічного зображення рівняння й потім провести лінію до іншої осі із значеннями, та отримати необхідну кількість сорбенту яка зможе ліквідувати n кількість розчину.



примітка сорбційна ємність «USS» по відношенню для розчину - перекису водню 4 г/г

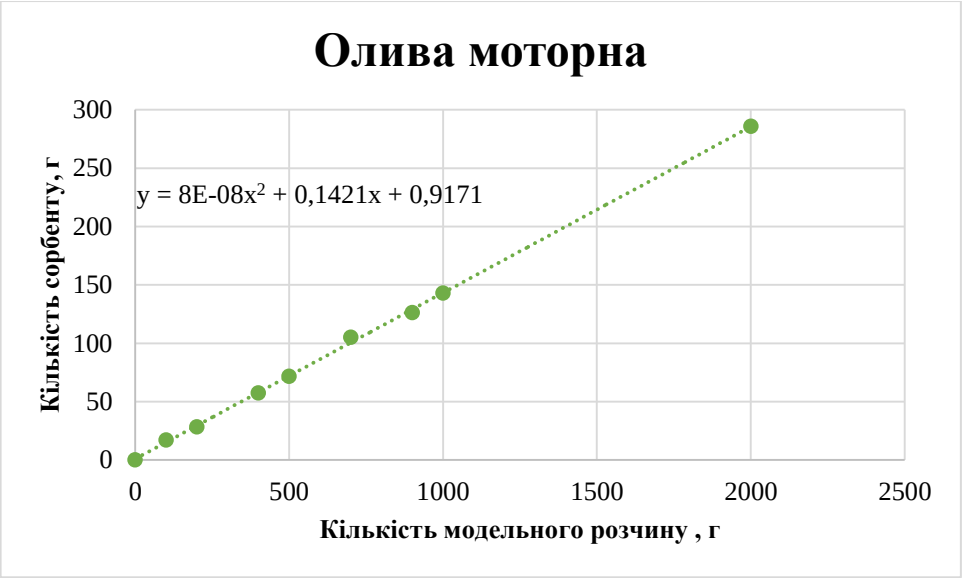
Рисунок 4.14 Кінетична залежність процесу сорбції рідкої фракції розчину перекису водню розробленим універсальним сорбційним полотном («USS»)

Так як густина розчину перекису водню та розчину аміаку майже однакова, з різницею у знаці після коми, було прийнято рішення зробити номаграмму для розчину – перекису водню (4.14).

Натомість через різну щільність для речовин 3 класу небезпечних речовин, які мають майже однакові характеристики, було прийнято рішення додатково до модельного розчину бензину (рис 4.15) побудовати номограмму для модельного розчину – оливи моторної (рис. 4.16).

примітка сорбційна ємність «USS» по відношенню для розчину – 95 бензину 5 г/г

Рисунок 4.15 Кінетична залежність процесу сорбції рідкої фракції 95 бензину розробленим універсальним сорбційним полотном («USS»)



примітка сорбційна ємність «USS» по відношенню для розчину - оливи моторної 7 г/г

Рисунок 4.16 Кінетична залежність процесу сорбції рідкої фракції оливи моторної розробленим універсальним сорбційним полотном («USS»).

Таким чином використання розроблених номограм дозволить, без особових зусиль та проведення складних розрахунків, заповнити вагони необхідною кількістю «USS».

4.6 Регенерація та утилізація універсального сорбційного полотна («USS»)

Після використання «USS» його необхідно регенерувати для повторного використання чи утилізації.

Сорбційне очищення може бути регенеративним, коли поглинуті речовини утилізуються, або деструктивним, коли поглинуті речовини руйнуються. Залежно від мети сорбційного очищення застосовують різні способи регенерації адсорбенту або його руйнування.

Існує три основні методи регенерації адсорбентів: хімічний, низькотемпературний та термічний. Хімічна регенерація: обробка відпрацьованого сорбенту розчинами реагентів. Найпростіший спосіб регенерації адсорбенту – нагрівання його в певному об'ємі очищувальної води. Це призводить до збільшення ступеня дисоціації та розчинності сорбату та, як наслідок, до десорбції частини сорбату. За 90 °С десорбується близько 20-30% сорбату. Крім того, можна нагрівати не адсорбент, а воду та фільтрувати її через шар активованого вугілля. Ефект від такої регенерації невеликий і становить 10-40 %.

Універсальні адсорбенти можна регенерувати методом крекінгу. В Україні є кілька компаній, які займаються регенерацією методом крекінгу. Ефект від такої регенерації також невеликий і становить 10-40 %. Використання крекінгу для універсального сорбційного полотна дозволить досягти також до 40 % ефекту.

Ще один метод регенерації – механічна обробка (віджимання) тканини. Ефект від такої регенерації невеликий і становить 15-40 %, проте цей метод не потребує значних фінансових витрат і дозволяє багаторазово використовувати «USS».

У багатьох випадках навіть після багаторазового використання «USS» як циклічного поглинального матеріалу після завершення робочого циклу він підлягає утилізації як відходи з урахуванням їх класифікації за класами

небезпеки згідно з Державним класифікатором відходів 005-96 [107]. Утилізація відходів (відходи «USS») може здійснюватися такими способами:

1. Захоронення в землі. Для цього необхідно передбачити дренажні канали. Щоб обробка нафтоокисними бактеріями пройшла успішно, необхідно перевірити кислотно-лужний баланс ґрунту.
2. Захоронення на звалищах.
3. Термічна утилізація. У більшості випадків нафтопродукти, що збираються, змішують з вугіллям, що використовується на ТЕЦ.

На сьогодні існує безліч компаній, які згідно з нормативними вимогами мають право здійснювати утилізацію відходів та до яких ПАТ «Укрзалізниця» може звернутися із цим питанням.

Висновки до розділу 4

З метою вдосконалення порядку перевезення небезпечних вантажів, а також порядку локалізації та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій у дисертації:

1. Розроблено рекомендації щодо удосконалення взаємодії суб’єктів перевезення небезпечних вантажів залізничним транспортом шляхом підготовки фахових спеціалістів для відправки, супроводу та отримання НВ на всіх етапах взаємодії відправника – перевізника – одержувача з метою запобігання ризикам виникнення аварій.

2. Запропоновано переглянути та допрацювати порядок перевезення небезпечних вантажів залізничним транспортом (підвищення вимог до персоналу, який здійснює операції з небезпечними вантажами, супровід небезпечних вантажів та вдосконалення порядку проведення спеціальної підготовки).

3. Запропоновано на рівні документа дозволити участь аварійно-відновлювальних поїздів та інших учасників у локалізації та ліквідації наслідків аварії, забезпечення зазначених підрозділів необхідною технікою для проведення ліквідаційних заходів.

4. Удосконалено спосіб локалізації та ліквідації аварійних ситуацій та наслідків перевезення небезпечних вантажів залізничним транспортом (розробка ситуаційних карт, інструкцій та сценаріїв з елементами моделювання).

5. Для перевезення «USS» у складі вантажного потяга запропоновано використання окремих типів вагонів (комбіновані вагони моделей 19-795 та 19-795-01), що забезпечить зручний доступ до ліквідаційних матеріалів та зменшить витрати часу на ліквідаційні заходи за рахунок швидкого розгортання засобів ліквідації (30–35 хв).

6. На базі аналітичних та графічних залежностей показників динамічної завантаженості комбінованих вагонів-хоперів було також доведено можливість перевезення сорбційних матеріалів («USS») у складі вантажного потяга як вагонів-прикриттів без зменшення кількості вантажу.

7. Надано рекомендації щодо регенерації та повторного використання відпрацьованого полотна «USS». Регенерація відпрацьованих «USS» здійснюється із застосуванням механічного методу – шляхом віджиму. Ефект регенерації становить 15–40 %, проте цей метод не потребує значних фінансових затрат, та дозволяє зберегти певну кількість втраченого вантажу і повторно використовувати сорбційні полотна. Для доочищення (регенерації) «USS» можливо застосування термічних методів після етапу віджиму, що підвищить ступінь вилучення та регенерації до 90%.

8. Надано рекомендації щодо утилізації відпрацьованого полотна «USS». Після багато разового використання, сорбційні полотна потрібно утилізувати як відхід беручи до уваги його клас небезпеки за Державним класифікатором відходів 005-96. Утилізацію відходів (сорбційних полотен), можна проводити за допомогою спалювання, низькотемпературної відгонки летких фракцій та захоронення на сміттєзвалищах.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено важливі наукові та практичні завдання, спрямовані на розвиток та удосконалення ефективності роботи суб'єктів перевезення небезпечних вантажів та підвищення безпеки експлуатації залізничного транспорту. Результати виконаних досліджень дозволяють зробити такі основні висновки:

1. Виконано аналіз статистичних даних основних показників роботи АТ «Укрзалізниця», у результаті якого виявлено, що Україна має розвинену транспортну систему, якою в 2021 р. перевезено понад 621 млн т вантажів, при цьому 87% цих перевезень припадає на залізничний та автомобільний транспорт. Статистичні показники продемонстрували, що на залізничний транспорт припадає найбільша частка в загальному обсязі перевезень. Зокрема, у 2009–2015 рр. вона становила 56–59 %, після 2019 р. – понад 46 %. Перелік небезпечних вантажів, які перевозяться залізничним транспортом, складається майже з 4 000 назв. Співвідношення кількості перевезених вантажів у 2021 році за класами небезпеки показує, що найбільше перевезли речовин 3-го класу небезпеки (легкозаймисті речовини та речовини класу небезпеки 4.2 (речовини, здатні до самозаймання)). Враховуючи, що діяльність у галузях сільського господарства, хімічної промисловості, будівництва та інших постійно пов'язана з процесами перевезень небезпечних речовин, необхідно контролювати дотримання умов перевищення корисного ефекту від функціонування залізничного транспорту над збитками, що пов'язані із забрудненням навколишнього середовища.

2. На основі аналізу динаміки аварійності під час перевезення небезпечних вантажів визначено, що за 2017–2019 роки зафіксовано 78 транспортних подій на залізничному транспорті. З них на катастрофи припадає 2 %, на інциденти – 98 %. Аналіз динаміки кількості транспортних подій з емісією небезпечних вантажів у довкілля показав, що витікання вантажу сталося в 80,8 % випадків, самозаймання вантажу відбулося в 11,2%

випадків, випаровування – у 5,9 % випадків, розсипання – у 0,6 % випадків. Визначено, що найбільша кількість аварій, а також максимальна емісія токсикантів спостерігається внаслідок аварійних розливів нафти та нафтопродуктів, що надалі призводить до еколого-економічних збитків, які сягають сотень тисяч доларів США. Для забезпечення стійкості функціонування залізниць в умовах аварійних ситуацій необхідне впровадження сучасних екологічно орієнтованих, інноваційних рішень щодо запобігання аварійним ситуаціям та ліквідації їх наслідків.

3. На базі системного аналізу зроблено модельну оцінку ризику виникнення аварії по залізничній станції Воскобійня Дніпропетровської області. Аналіз потенційних сценаріїв небезпечних подій підтверджує, що саме людський фактор, зокрема порушення безпеки руху, маневрової роботи або неправильне інформування, є основною причиною їх виникнення. Виявлено приховані пріоритети та надано відповідні рекомендації для зменшення ризику настання таких подій (проведення інструктажів, контролю знань стосовно правил маневрової роботи, вимог безпеки під час роботи у аварійних ситуаціях, перевезення небезпечних вантажів в умовах ракетного обстрілу з детальним розбиранням усіх можливих наслідків НС).

На базі аналізу карт-матриць ризиків виконано ідентифікацію основних та супутніх факторів і причин виникнення аварійної ситуації з небезпечним вантажем, які за характером та порядком розміщення інфраструктурних об’єктів стосовно залізничної станції можуть значно впливати на масштаби аварії.

Доведено, що розташування поруч із залізницею таких об’єктів, як продуктопроводи, підприємства високого класу небезпеки та природні охоронні об’єкти, може значно посилити масштаб та наслідки аварії.

За допомогою «матриці Леопольда» побудовано карти ризиків ключової події та виявлено «прямі пріоритети». Найбільш ймовірними причинами виникнення аварійної ситуації стали: терористичний акт, що пошкодив колію, у результаті чого сталося самовільне сходження вагонів;

перевищення швидкості рухомого складу із цистернами; ожеледиця, що призвела до збільшення гальмівного шляху і аварії; а також недотримання штатного режиму експлуатації колійного господарства та вимог ПТЕ, що зі свого боку може призвести до зупинки технологічного процесу, розливу вантажу та фінансових збитків. Визначення показника ризику комплексної дії негативних факторів аварійних ситуацій під час транспортування небезпечних вантажів дало можливість вибудувати чітку ієрархію подій (за причинами та наслідками), що сприяє підвищенню безпеки процесу перевезення шляхом розроблення процедури реагування на позаштатні ситуації і надає можливості автоматизації цієї процедури.

4. Аналіз діючої системи ліквідації аварій показав, що чинними нормативними документами передбачено лише порядок оповіщення про виникнення аварійної ситуації, але порядок та процедури реагування не є чітко визначеними, що негативно впливає на ефективність роботи оперативних формувань і збільшує еколого-економічні збитки.

У дисертаційній роботі реалізовано приведення всіх процедур реагування на різні аварійні сценарії до універсальної класифікації, що забезпечує оптимізацію роботи всіх причетних підрозділів шляхом оперативного реагування на аварійні ситуації, та розроблено технологічні рішення щодо забезпечення таких підрозділів спеціальною ефективною технікою, обладнанням, спорядженням і засобами захисту.

5. На базі принципів ресурсозбереження та екологічності розроблено технологію виготовлення та застосування універсального сорбційного матеріалу як засобу мінімізації негативних наслідків аварій під час перевезення небезпечних вантажів. Запропоновано спеціальний сорбент (складова частина універсального сорбційного полотна «USS»), що відрізняється високою функціональністю, економічністю та екологічністю. Визначено етапи технологічних процедур виготовлення та застосування запропонованого універсального сорбційного полотна («USS») з описом оптимальних технологічних показників (температура карбонізації $\leq 500°C$

тривалістю 60 хв та вихід продукції на рівні 40-60 %). Надано рекомендації щодо регенерації та повторного використання відпрацьованого полотна «USS», що може здійснюватися із застосуванням механічного методу – шляхом віджиму. Принципи ресурсозбереження реалізуються через низький рівень енерго- та ресурсовитарт при виробництві «USS», можливість регенерації з повторним використанням «USS» та збереження певної кількості вантажу, що вважався втраченим.

За допомогою виготовлених макетів з різними характеристиками складових експериментально визначено оптимальний тип, співвідношення компонентів та їх густину у складі універсального сорбційного полотна «USS», при яких підтверджено його універсальність та ефективність очищення. Як основні складові «USS» використовували продукти карбонізації шляхом їхньої інтеграції в різних співвідношеннях у тканинну матрицю з густиною наповнення до 1800 г/м^2. Отримано характеристики адсорбційних показників «USS», які доводять можливість використання універсального сорбційного полотна як засобу локалізації та ліквідації аварійних розливів небезпечних вантажів класів 3, 5.1, 8, а саме: оптимальне співвідношення складових сорбенту – карбонізату рослинних відходів різного типу.

Отримано кінетичні залежності процесу сорбції рідких фракцій НВ розробленим універсальним сорбційним полотном («USS») на базі карбонізату, що вирізняється високими показниками сорбції (до 92%), економічністю за рахунок повторного використання й мінімізації втрати вантажу та дозволяє визначати оптимальні дози сорбенту для ліквідації наслідків аварійних емісій.

Для перевезення «USS» у складі вантажного потяга запропоновано використання окремих типів вагонів (комбіновані вагони моделей 19-795 та 19-795-01), що забезпечить зручний доступ до ліквідаційних матеріалів та зменшить витрати часу на ліквідаційні заходи за рахунок швидкого розгортання засобів ліквідації (30–35 хв). На базі аналітичних та графічних

залежностей показників динамічної завантаженості комбінованих вагонів-хоперів було також доведено можливість перевезення сорбційних матеріалів («USS») у складі вантажного потяга як вагонів-прикритів без зменшення кількості вантажу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Zelenko Y., Calimbet N. Improving a method for eliminating the spill of hazardous substances byusing «Universal Absorbent Cloth». *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2022. 4(10(118)). P. 30-37. DOI: https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.263583 (in English)
2. Зеленько Ю.В., Калимбет М.В., Фесенко Д. В. Впровадження заходів щодо ліквідації наслідків аварій при перевезенні небезпечних вантажів. *Транспортні системи та технології перевезень* : зб. наук. пр. Дніпров. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. Дніпро : Вид-во Дніпров. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2020. Вип. 20. С. 20–26. Режим доступу: http://tstt.diit.edu.ua/article/view/217394/pdf_198.
3. Зеленько Ю. В., Калимбет М. В. Виготовлення сорбційного полотна з композитних матеріалів як засіб для ліквідації розливів небезпечних речовин на транспорті. *Транспортні системи і технології* : зб. наук. пр. ДУІТ, 2021. Вип. 38. С. 35-37
4. Зеленько Ю. В., Калимбет М. В. Розробка рекомендацій щодо підвищення ефективності взаємодії складових системи «відправник – перевізник – одержувач». *Наука та прогрес транспорту*. 2022. 2(98). С. 5–16. https://doi.org/10.15802/stp2022/267937.
5. Калимбет М.В., Зеленько Ю. В. Впровадження концепції щодо екологічно чистих та ресурсозберігаючих технологій експлуатації залізничного транспорту. *Матеріали VI Всеукр. науково-техн. конф. студентів, аспірантів і молодих вчених* (Дніпро, 2018 р.). Дніпро : НТУ «Дніпровська політехніка», 2018. Т. 10. С. 13-14
6. Калимбет М. В., Зеленько Ю. В. Концепції щодо впровадження екологічно чистих та ресурсозберігаючих технологій експлуатації залізничного транспорту. *Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту* : матеріали 79-ї Міжнародної науково-практ. конф. (Дніпро, 16-17 травня 2019 р.) / Дніпров. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. Дніпро : Вид-во Дніпров. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2019. С. 299–301.
7. Зеленько Ю. В., Калимбет М.В. Розробка рекомендацій щодо ліквідації наслідків аварій при перевезенні небезпечних вантажів залізничним транспортом. *Молодь: наука та інновації*: матеріали VIII Всеукр. науково-техн. конф. студентів, аспірантів і молодих вчених (Дніпро, 25 листопада – 27 листопада 2020 р.). Дніпро : НТУ «Дніпровська політехніка», 2020. Т. 10. С.69-71
8. Зеленько Ю. В., Калимбет М.В. Рекомендації щодо ліквідації наслідків аварій при перевезенні небезпечних вантажів залізничним транспортом. *Матеріали Міжнародної конф. «Екологічна безпека – сучасні напрямки*

та перспективи вищої освіти» (Харків, 25 лютого 2021року). Харків, 2021. С. 61-63

9. Зеленько Ю. В., Калимбет М. В. Ліквідація наслідків аварій при перевезенні небезпечних вантажів залізничним транспортом. *Матеріали V Всеукр. пленеру з питань природничих наук* (Одеса, 1-2 липня 2021 р.). Одеса : ОДЕКУ, 2021. С. 35-37
10. Калимбет М. В. Впровадження заходів щодо ліквідації наслідків аварій при перевезенні небезпечних вантажів. Безпека життєдіяльності в XXI столітті : тез. доп. XVI Міжвузівської студентської науково-практ. конф. (16-17 квітня 2020). Дніпро : ПДАБА, 2020. С. 14.
11. Калимбет М. В. Універсальне сорбційне полотно для очистки різноманітних поверхонь від нафтопродуктів. Патент України на корисну модель U 2021 03033, 2022.
12. Обсяги перевезених вантажів за видами транспорту за 2022 рік [Електронний ресурс] / Державна служба статистики України. Режим доступу:https://ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2022/tr/tr_rik/opvvt_22_ue.xlsx (дата звернення: 01.02.2023).
13. Демченко Є. Б., Дорош А. С., Сковрон І. Я. Сучасні інформаційні системи на ринку вантажних перевезень України. *Транспортні системи та технології перевезень* : зб. наук. пр. ДНУЗТ ім. акад. В. Лазаряна. 2022. Вип. 23. С.79-88
14. DELLA. Вантажні перевезення [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://della.ua (дата звернення: 01.06.2022). – Назва з екрана.
15. Degruz. Сайт грузоперевозки Украина [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://degruz.com (дата звернення: 01.06.2022). – Назва з екрана.
16. Підприємництво в аграрній сфері: глобальні виклики та ефективний менеджмент: матеріали І Міжнародної науково-практ. конф. (12-13 лютого 2020 р.): у 2 ч. Запоріжжя : ЗНУ, 2020. Ч.2. 524 с.
17. Перевезення небезпечних вантажів залізничним транспортом : підручник / М. І. Данько, С. В. Панченко, А. О. Каграманян та ін. Харків : УкрДУЗТ, 2019. 428 с.
18. «Електроважмаш» зможе взяти участь в оновленні рухомого складу «Укрзалізниці» [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://kharkivoda.gov.ua/news/108760 (дата звернення: 01.02.2023).
19. Єлагін Ю. В., Глущенко Ю. В., Цапко Л. В. Стан і оновлення рухомого складу в умовах реформування «Укрзалізниці». *Вісник економіки транспорту і промисловості*. 2018. № 64. С. 209–216. DOI 10.18664/338.47:338.45.v0i64.149571.
20. ДСТУ 4500-1:2008 «Вантажі небезпечні. Терміни та визначення». Київ : Держспоживстандарт України, 2009. 40 с.

21. Порядок ідентифікації об’єктів підвищеної небезпеки та ведення їх обліку: затверджений Постановою Кабінету Міністрів України від 13 вересня 2022 р. № 1030 [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1030-2022-%D0%BF#Text (дата звернення: 01.02.2023).
22. Безпека життєдіяльності : навчальний посібник / В. В. Березуцький, Л. А. Васьковець, Н. П. Вершиніна та ін.; за ред. проф. В. В. Березуцького. Харків : Факт, 2005. 384 с.
23. Загальні відомості про небезпечні та шкідливі виробничі фактори, їх класифікацію та методи уникнення [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://naurok.com.ua/nebezpechni-ta-shkidlivi-faktori-293483.html (дата звернення: 01.02.2023).
24. Цивільний захист та попередження надзвичайних ситуацій, в тому числі на залізничному транспорті : навчальний посібник / М. І. Ворожбіян, О. В. Костиркін, Б. К. Гармаш, М. О. Мороз. Харків : УкрДУЗТ. 250 с.
25. ДСТУ 4500-3:2006 «Вантажі небезпечні. Класифікація». Київ : Держспоживстандарт України, 2010. 37 с.
26. Рекомендація ЄЕК ООН № 11 «Питання документації при міжнародних перевезеннях небезпечних вантажів» [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://www.singlewindow.org/docs/177?lang=ukr (дата звернення 01.02.2023).
27. Правила перевозки опасных грузов. Приложение 2 к СМСГС. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://uz.gov.ua/cargo_transportation/legal_documents/smgs/dodatok2_2013/ (дата звернення: 01.02.2023).
28. Правила перевезення небезпечних вантажів (Поточна редакція) [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://uz.gov.ua/cargo_transportation/legal_documents/terms_of_freight/page-2/264636/ (дата звернення: 01.02.2023).
29. Перевезення небезпечних вантажів за 2022 рік за видами транспорту (у порівнянні з 2021 роком) [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://mtu.gov.ua/files/Перевезення_небезпечних_вантажів_за_2022_рік_за_видами_транспорту.pdf (дата звернення: 01.06.2022).
30. Зелена книга. Залізничні вантажні перевезення, лютий 2021 р. [Електронний ресурс] / Зоя Мельник, Андрій Буковський, Марія Гринишин, Владислав Пінчук, Павліна Яремчук. Режим доступу: https://cdn.regulation.gov.ua/34/ce/bf/19/regulation.gov.ua_Rail%20Cargo%20Transportation%20web.pdf. 129 с.
31. Про звіт Тимчасової слідчої комісії Верховної Ради України з питань перевірки та оцінки стану акціонерного товариства "Українська залізниця", розслідування фактів можливої бездіяльності, порушення законодавства України органами управління зазначеного підприємства, що призвели до значного погіршення технічного стану підприємства та

основних виробничих показників : Постанова ВР України від 16.02.2022 № 2055-IX [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://ips.ligazakon.net/document/view/T222055?q=електронними%20двигунами&bl=&hide=true&snippet_id=snippet_440350 (дата звернення: 01.06.2022).

32. І. Я. Переста, Л. О. Яришкіна, С. І. Музикіна, Ю. В. Зеленько, І. Л. Журавель Забезпечення вдосконалення профілактичних заходів під час перевезень небезпечних вантажів // Транспортные системы и технологии перевозок. 2011. №1. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/zabezpechennya-vdoskonalennya-profilaktichnih-zahodiv-pid-chas-perevezen-nebezpechnih-vantazhiv (дата обращения: 28.09.2023).
33. Про затвердження Положення про класифікацію транспортних подій на залізничному транспорті» : Наказ Міністерства інфраструктури України від 03.07.2017 р. № 235 [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/go/z0904-17 (дата звернення: 01.06.2022).
34. Прикладні науково-технічні дослідження : матеріали IV міжнар. науково-прак. конф. (1–3 квіт. 2020 р., м. Івано-Франківськ) / Академія технічних наук України. Івано-Франківськ : ДВНЗ «Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника». 2020. Т. 1. 236 с.
35. Кацман М. Д. Методологічні засади організації управління екологічною безпекою під час ліквідування наслідків аварійних ситуацій на залізничному транспорті [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://nau.edu.ua/site/variables/news/2018/11/Dis_Katsman_M.D..pdf (дата звернення: 01.06.2022).
36. Стасюк О. М. Техніко-технологічна модернізація як один з пріоритетів розвитку залізничного транспорту України [Електронний ресурс]. *Ефективна економіка*. 2017. № 2. Режим доступу: http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=5432 (дата звернення: 01.06.2022).
37. Лоза В. Г., Особливості організації аварійно-відновлювальних робіт під час надзвичайних ситуацій на залізничному транспорті. *Наука та прогрес транспорту.* 2018. № 4 (76). С. 36–46.
38. [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://jurnaluljuridic.in.ua/archive/2014/6/2014-6.pdf (дата звернення: 10.02.2022).
39. Директива Європейського парламенту і Ради 2008/68/ЄС від 24 вересня 2008 року про внутрішні перевезення небезпечних вантажів [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_007-08#Text (дата звернення: 10.02.2022).
40. Про затвердження Порядку перевірки цистерн для перевезення небезпечних вантажів : Наказ Міністерства інфраструктури України та Міністерство внутрішніх справ України від 02.09.2022 № 663/544

[Електронний ресурс]. Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0663-15#Text (дата звернення: 10.12.2022).

41. Про затвердження Правил перевезення небезпечних вантажів внутрішніми водними шляхами України : Наказ Міністерства інфраструктури України від 04.04.2017 № 126 [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://ips.ligazakon.net/document/RE30424?an=7 (дата звернення: 10.12.2022).
42. Afonin Maksym. Change of drivers functional condition during dangerous goods transportation. *Transport Technologies*. 2022. Т. 1 (3). P. 55–64.
43. Fornalchyk Y. Afonin M. Postranskyy T. Boikiv M. Risk Assessment during the Transportation of Dangerous Goods Considering the Functional State of the Driver. *Transp. Probl.* 2021. Т. 16. P. 139–152.
44. Посібник для курсу спеціального навчання з питань перевезень небезпечних вантажів на залізничному транспорті. Ч. 1. Базовий курс : посібник / Ю. В. Зеленько, І. Л. Журавель, А. М. Окороков, О. М. Патласов, А. М. Бойченко, Г. І. Нестеренко. Дніпропетровськ : Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2015. 140 с.
45. Оцінка вимог інтероперабельності до українських вагонів-цистерн, які призначені для перевезення небезпечних вантажів залізничним транспортом / Я. Болжеларський, В. Джус, О. Джус, О. Клецька, О. Кіріцева. *Вісник Приазовського державного технічного університету. Серія: Технічні науки.* 2022. Вип. 44. С. 89–100. https://doi.org/10.32782/2225-6733.44.2022.11
46. Експертиза залізнично-транспортних пригод : навчальний посібник / М. І. Березовий, Д. М. Козаченко, Я. В. Болжеларський, Т. В. Болвановська, А. Р. Міланич; Укр. держ. ун-т науки і технологій. Дніпро, 2023. 187 с.
47. Інжиніринг криз та ризиків транспортних послуг : колективна монографія / В. М. Самсонкін, І. В. Ніколаєнко, Ю. В. Булгакова та ін. ; за ред. В. М. Самсонкіна та І. В. Ніколаєнко. Київ : Талком, 2021. 312 с.
48. Горобець В. Л., Козаченко Д. М., Вернигора Р. В. Інжиніринг криз та ризиків перевезення небезпечних речовин. *Транспортні системи та технології перевезень*. 2022. № 24. https://doi.org/10.15802/tstt2022/272063
49. Зеленько Ю. В., Черкудінов В. Е., Левицька С. І. Концепція екологізації мультимодальних перевезень. *Транспортні системи та технології перевезень*. 2022. № 24. https://doi.org/10.15802/tstt2022/272065
50. Зеленько Ю. В., Зеленько Д. М., Недужа Л. О. Вивчення негативного впливу нафтопродуктів на металеві елементи залізничної інфраструктури. Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського нац. ун-ту залізн. трансп. 2020. № 5 (89). С. 105–115.
51. 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. Дніпропетровськ, 2016. Вип. 12. С. 38–44. DOI: 10.15802/tstt2016/8595.

52. Запорожець О. І., Ковалець І. В., Кацман М. Д. Оцінювання наслідків залізничних аварійних ситуацій з небезпечними вантажами. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2017. №. 6. С. 224–232.
53. Lomotko D., Ohar O., Kozodoi D., Barbashyn V., Lomotko M. Prospects for the use “green” logistics as a safety factor in multimodal transportation of dangerous goods. *AIP Conference Proceedings*. AIP Publishing, 2023. Т. 2684. №. 1. https://doi.org/10.1063/5.0120066
54. Lomotko D., Ohar O., Kozodoi D., Barbashyn V., Lomotko M. Efficiency of “Green” Logistics Technologies in Multimodal Transportation of Dangerous Goods. *Smart Technologies in Urban Engineering. STUE 2022. Lecture Notes in Networks and Systems*. 2023. Vol 536. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-20141-7_74
55. Кульова Д. О., Лаврухін О. В. Моделювання поїзних станів при просуванні поїздопотоків з небезпечними вантажами на основі абстрактних поїзних конструкцій. *Міжнародна транспортна інфраструктура, індустріальні центри та корпоративна логістика* : матеріали сімнадцятої міжнар. науково-практ. конф. (3-4 червня 2021р.). Харків : УкрДУЗТ, 2021. С. 42–43. Режим доступу: http://lib.kart.edu.ua/handle/123456789/12660 (дата звернення: 10.12.2022).
56. Сорока М. Л., Яришкіна Л. О. Спосіб локалізації та ліквідації розливів забруднюючих речовин на твердих поверхнях та ґрунті при перевезенні небезпечних вантажів наземними видами транспорту. Патент України № 103705. 2013.
57. Сорока М. Л., Ярышника Л. А. Перспективы применения опалых листьев для целей локализации и сбора разливов нефтепродуктов [Електронний ресурс]. *ВЕЖПТ*. 2013. №6 (61). Режим доступу: https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-primeneniya-opalyh-listiev-dlya-tseley-lokalizatsii-i-sbora-razlivov-nefteproduktov (дата звернення: 10.08.2023).
58. Soroka M. L., Yaryshkina L. A. Technology for the oil spills clean-up which provides preliminary accumulation of sorbents into the area of emergence and localization oil spills. *Science and Transport Progress*. 2012. Vol. 42. P. 45–55. https://doi.org/10.15802/stp2012/9275
59. Fomin, O.V, & Lovska, A.O. Locлідження навантаженості несучої конструкції вагона-хопера двосекційного при перевезенні залізничним поромом. *Транспортні системи і технології*. 2012 (40), 5-13. https://doi.org/10.32703/2617-9040-2022-40-1
60. Drzewieniecka B., Nowak M. Safety Aspect in Carriage of Dangerous Goods by Railway Transport. *New Trends in Production Engineering*. 2018. Vol. 1. P. 35-41. https://doi.org/10.2478/ntpe-2018-0004

61. Conca A., Ridella C., Sapori E. Risk Assessment for Road Transportation of Dangerous Goods: A Routing Solution. *Transportation Research Procedia*. 2016. Vol. 14. P. 2890–2899. doi: 10.1016/j.trpro.2016.05.407
62. Szaciłło L., Jacyna M., Szczepański E., Izdebski M. (2021). Risk assessment for rail freight transport operations. *Eksploatacja i Niezawodnosc*. 2021. Vol. 23(3). P. 476-488. doi:10.17531/ein.2021.3.8
63. Šolc M., Hovanec M. The Importance of Dangerous Goods. *Naše more*. 2015. Vol. 62. 4 p.
64. Borghetti F., Malavasi G. Road accessibility model to the rail network in emergency conditions. *Journal of Rail Transport Planning & Management.* 2016. Vol. 6, Is. 3. P. 237–254. doi: 10.1016/j.jrtpm.2016.10.001
65. Особливості оцінки професійних ризиків при вантажних автомобільних перевезеннях / В. Цопа, С. Чеберячко, О. Яворська, Т. Негрій, Т. Ткаченко, О. Дерюгін. *Екологічна безпека та природокористування*. 2023. Вип. 46(2). С. 85–99. https://doi.org/10.32347/2411-4049.2023.2.85-99
66. Kurbangaleeva1 M. Kh. Improvement of Emergency Oil Spill Management Technology. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science.* 2022. doi:10.1088/1755-1315/988/2/022008
67. Megan L., Soeren M., Brad R. Open AccessEditor's ChoiceArticle Decontaminating Terrestrial Oil Spills: A Comparative Assessment of Dog Fur, Human Hair, Peat Moss and Polypropylene Sorbents. *Environments.* 2020. Vol. 7(7). https://doi.org/10.3390/environments7070052
68. Tabakaev R. B. et al. Izmeneniya teplofizicheskix xarakteristik biomassu s razlichnoi dolei mineralizaciei v processe medlennogo piroliza [Changes in the thermophysical characteristics of biomass with different degrees of mineralization during slow pyrolysis]? *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Engineering of georesources*. 2021. Vol. 332. No. 3. P. 74–84. DOI 10.18799/24131830/2021/03/3103
69. Roberta A. Browna, Andrew K. Kercherb, Thanh H. Nguyena, Dennis C. Nagleb, William P. Balla. Production and characterization of synthetic wood chairs for use as surrogates for natural sorbents. *Organic Geochemistry*. 2006. Vol. 37, Is. 3, March 2006. P. 321–333.
70. Valeev I. A., Gazizov R. A. Razrabotka promyshlennoi ystanovki dlia polychenia Syria ispolzuemoho v proizvodstve sorbenta medetsinskoho naznachenia [Development of an industrial plant for obtaining raw materials used in the production of a sorbent for medical purposes]. *Bulletin of the Technological University*. 2015. Vol.18, No. 15.
71. Bulauka Y. A., Mayorava K. I., Youb Z. A. Emergency sorbents for oil and petroleum product spills based on vegetable raw materials. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering.*, 2018. doi:10.1088/1757-899X/451/1/012218

72. Osokin V. M., Somin V. M. Issledovaniia po polucheniiu novykh sorbentov iz rastitelnoho syria dlia ochistki vody. [Research on obtaining new sorbents from vegetable raw materials for water purification]. *Polzunovsky Bulletin*. 2013. No. 2. P. 280–282.
73. Davydova S. L. Neft I nefteprodukty v okruzhaiushei srede [Oil and oil products in the environment]. M. RUDN, 2004. 131 p.
74. Glazkova E. A. (2003) Novyi sintrticheskii sorbcionnyi material [New synthetic sorption material]. *Chemistry of oil and gas.* Tomks: IOA SO RAN, 2003. 592 p.
75. Anurov S. A., Anurova T. V., Klushin V. N. et al. Poluchenie uhlerodnykh adsorbentov iz rastitelnykh otkhodov. Karbonizacia Syria [Obtaining carbon adsorbents from plant waste. Carbonization of raw materials] *Electronic scientific journal "Investigated in Russia"*. 2011. URL: http://www.sci-journal.ru/articles/2011/017.pdf.
76. Khokhlov Andriy, Khokhlova Lyudmila. Development of Biocarbon Sorbent From Corn Waste With Increased Destructive Activity in Relation to Oil. *Technology Audit and Production Reserves*, 2021. P. 21–26. doi:10.15587/2706-5448.2021.238342
77. Soroka M., Yaryshkina L. Technology for the oil spills clean-up which provides preliminary accumulation of sorbents into the area of emergence and localization oil spills. *Journal of Science and Transport Progress*. 2012. Vol. 42. P. 45–55.
78. Проблеми цивільного захисту населення та безпеки життєдіяльності: сучасні реалії України. *Матеріали VI Всеукраїнської заочної науково-практ. конф.* Київ: НПУ імені М.П. Драгоманова, 2020. 197 с.
79. Довідник керівника гасіння пожежі / Державна служба України з надзвичайних ситуацій. 358 с.
80. Положення щодо планування заходів та дій на випадок аварій під час перевезення радіоактивних матеріалів : затверджене наказом Держатомрегулювання України N 38 від 04.07.2005 [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://ips.ligazakon.net/document/view/re10711?an=13&ed=2005_04_07 (дата звернення: 01.05.2020).
81. Калимбет М. В., Розробка інноваційних сорбентів на базі відходів споживання кавової продукції та дослідження їх властивостей.
82. Фесенко Д. В. Розробка універсального сорбенту з композитних матеріалів для ліквідації аварійних наслідків
83. Абсорбція [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://superagronom.com/slovnik agronoma/absorbciya-id19991. (дата звернення: 01.09.2021). – Адсорбція.
84. Адсорбція [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://esu.com.ua/article-42692 (дата звернення: 01.09.2021). – Назва з екрана.

85. Торфяной сорбент СОНЕТ-СОРБ [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://tiet-sorbent.ru/oil/sonnetsorb.htm. (дата звернення: 01.05.2020).
86. Биоразлагаемый сорбент OCLANSORB [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://tiet-sorbent.ru/granular%20sorbents/oclandsorb.htm. (дата звернення: 01.05.2020).
87. Органоминеральный сорбент нефтепродуктов ЭКОЛАН [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://tiet-sorbent.ru/granular%20sorbents/ecolan%20sorbent.htm. (дата звернення: 01.05.2020).
88. Олеофильный сорбент нефтепродуктов OL-EX CUBE [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://tiet-sorbent.ru/granular%20sorbents/ol-ex%20cube.htm. (дата звернення 01.05.2020).
89. ДСанПіН 2.2.7.029-99. Гігієнічні вимоги щодо поводження з промисловими відходами та визначення їх класу небезпеки для здоров`я населення
90. ДСТУ 8829:2019 Пожежовибухонебезпечність речовин і матеріалів. Номенклатура показників і методи їхнього визначення. Класифікація. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2020.
91. ГОСТ 12597-67. // «Сорбенты. Метод определения массовой доли воды в активных углях и катализаторах на их основе.» від 01.10.1988.
92. ГОСТ 27544-87. Термометры жидкостные стеклянные. Общие технические условия. від 01.01.1989.
93. ДСТУ 7270:2012. Метрологія. Прилади зважувальні еталонні. Загальні технічні вимоги, порядок та методи атестації. Київ, 2012.
94. ГОСТ 25336-82. Посуда и оборудование лабораторные стеклянные. Типы, основные параметры и размеры від 01.04.1990.
95. ГОСТ 3956-76. Силикагель технический. Технические условия. 1991.
96. Методика виконання вимірювань масової частки нафтопродуктів гравіметричним способом (МВВ № 081/12-0116-03) [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=76437 (дата звернення 01.05.2020).
97. Офіційний сайт Кам`янської міської ради [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://kam.gov.ua/ (дата звернення: 01.05.2023).
98. Положення про систему управління безпекою руху поїздів у Державній адміністрації залізничного транспорту України : наказ Міністерства інфраструктури України від 01.04.2011 № 27. *Офіційний вісник України*. 2011. № 48. ст. 1972.
99. Мироненко В. К., Кацман М. Д., Родкевич О. Г. Науково-методичні підходи до оцінки безпечності системи залізничних перевезень пасажирів і вантажів. *Маркетинг і логістика в системі менеджменту пасажирських перевезень на залізничному транспорті*: II Міжнародна науково-практ. конф. (Київ, 20–22 вересня 2011 р.): тези доп. Київ, 2011. С. 120–122.

100. Кацман М. Д., Лапін В. П., Родкевич О. Г. Раціоналізація застосування пожежних поїздів для підвищення транспортної безпеки на залізницях. *Проблеми та перспективи розвитку транспортних систем в умовах реформування залізничного транспорту: управління, економіка і технології*: V Міжнародна науково-практ. конф. Сер. «Техніка, технологія» (Київ, 15–16 березня 2011 р.): тези доп. Київ, 2011. С. 178–179.
101. М. Д. Кацман. Деякі питання організації ліквідації надзвичайних ситуацій з небезпечними вантажами. *Маркетинг і логістика в системі менеджменту пасажирських перевезень на залізничному транспорті*: IV Міжнародна науково-практ. конф. (Одеса, 23–25 вересня 2014 р.) : тези доп. Одеса, 2014. С. 124–129.
102. Удосконалення реагування на аварійні ситуації при перевезенні небезпечних вантажів / Є.Я. Косенко, С.В. Кухлівський, Б.М. Бондаренко, І.І. Подзігун. *Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. академіка В.Лазаряна*. 2013. Вип. 2(44). С. 28 –34.
103. Правила перевезень вантажів залізничним транспортом України. Ч.1 / С. П. Алєнічев, В. Р. Іващук, Л. П. Шевченко, М. В. Мартинов, Г. С. Мозяж, В. І. Ходаківський, Л. П. Ярош ; під кер. Мостового М. В.: наказ Міністерства транспорту України від 09.12.2002 № 873. – Київ : ТОВ «Видавничий дім» САМ, 2004. 432 с.
104. Правила перевезень вантажів залізничним транспортом України. Ч.2 / В. І. Ходаківський, Л. М. Тригуб, Г. С. Мозяж ; під кер. Мостового М. В. : наказ Міністерства транспорту України від 18.04.2003 № 299. Київ : ТОВ «Видавничий дім» САМ, 2004. 218 с.
105. Про затвердження Правил безпеки та порядку ліквідації наслідків аварійних ситуацій з небезпечними вантажами при перевезенні їх залізничним транспортом : наказ Міністерства транспорту України від 01.09.2017 [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0857-00#Text (дата звернення: 01.09.2021).
106. Комбінований вагон модель 19-795-01 [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.kvsz.com/index.php/ua/produktsiya/vantazhne-vagonobuduvannya/vagoni-khoperi/item/1957-kombinovanyi-vahon-model-19-795-01.(дата звернення: 15.06.2021).
107. Державний класифікатор України. Класифікатор відходів ДК 005-96 (Зміна N 2 до Класифікатора відходів) від 22.01.2008 N 18. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/vb089217-96#Text (дата звернення: 15.06.2021).

ДОДАТОК А

Таблиця А.1– Класифікація небезпечних речовин за класами небезпеки згідно з Правилами перевезення небезпечних вантажів (поточна редакція) [28]

Клас	Підклас	Назва підкласу
1		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	Займисті гази
	2.2	Незаймисті нетоксичні гази
	2.3	Токсичні гази
3		Легкозаймисті рідини
4.1		Легкозаймисті тверді речовини
4.2		Речовини, здатні до самозаймання
4.3		Речовини, які виділяють займисті гази, що взаємодіють з водою
5.1		Речовини, що окислюють
5.2		Органічні пероксиди
6.1		Токсичні речовини
6.2		Інфекційні речовини
7		Радіоактивні матеріали
8		Корозійні (їдкі) речовини
9		Інші небезпечні речовини й вироби

ДОДАТОК Б

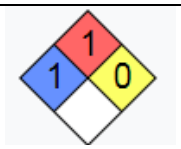
Таблиця Б.1 – Ідентифікація небезпеки перевезення небезпечного вантажу un 1511

Категорія	**Опис**
Категорія хімічної небезпеки (GHS LCSS)	H272 – Може підсилити вогонь, окислювач[Небезпека: Підсилює температуру вогнища] H302 – Шкідливо в разі проковтування [Небезпека: Спричиняє отруєння організму] H311 – Токсично в разі контакту зі шкірою [Небезпека: Гостра токсичність, шкірна, може викликати дерматит] H319 – Подразнення очей [Небезпека: Подразнює очі] H331 – Токсично в разі вдихання [Небезпека: Гостра токсичність, вдихання] H351 – Імовірно спричиняє рак [Небезпека: Спричиняє рак] H361 – Імовірно може негативно вплинути на фертильність та завдати шкоди ненародженій дитині [Небезпека: Завдає шкоди ненародженій дитині] H370 – Спричиняє пошкодження органів [Небезпека: Специфічна токсичність для цільових органів, одноразовий вплив] H411 – Токсично для водних організмів з довгостроковими наслідками [Небезпека: Гостра токсичність, пероральний, вдихання]
Піктограми небезпеки (GHS)	 Serious Health HazardHealth Hazard Hazardous to the Environment Oxidizing

продовження табл. Б 1

Індекси запобіжних заяв та декларацій	P210: Тримайте подалі від тепла, гарячих поверхонь, іскор, відкритого вогню та інших джерел займання. Паління заборонено. P233: Зберігати посудину щільно закритою. P240: Контейнер заземлення та приймальне обладнання. P241: Використовуйте вибухозахищене [електричне/вентиляційне/освітлювальне/.../] обладнання. P242: Використовуйте лише інструменти, що не іскрять. P243: Вживайте запобіжних заходів проти статичного розряду. P264: Ретельно вимийте руки [і ...] після роботи. P270: Не їжте, не пийте та не паліть під час використання цього продукту. P271: Використовуйте тільки на вулиці або в добре провітрюваному приміщенні. P280: Одягайте захисні рукавички/захисний одяг/захист очей/захист обличчя/захист слуху/... P301+P316: У разі проковтування негайно зверніться за невідкладною медичною допомогою. P302+P352: У разі потрапляння на шкіру: Змийте великою кількістю води/.. P303+P361+P353: У разі потрапляння на шкіру (або волосся): Негайно зняти весь забруднений одяг. Промийте шкіру водою [або прийміть душ]. P361+P364: Негайно зніміть весь забруднений одяг і виперіть його перед повторним використанням. P370+P378: У разі пожежі: використовувати ... для гасіння. P403+P233: Зберігати в добре провітрюваному місці. Зберігати посудину щільно закритою. P403+P235: Зберігати в добре провітрюваному місці. P405: Магазин під замком. P501: Утилізуйте вміст (контейнер) у/..

продовження табл. Б 1

Піктограма небезпеки (NFPA) Небезпека для здоров'я (NFPA) Пожежна небезпека (NFPA) Рейтинг стабільності (NFPA)	 1-1-0 1 Матеріали, які в надзвичайних умовах можуть викликати значне подразнення. 1Матеріали, які потребують значного попереднього нагрівання за будь-яких температурних умов навколишнього середовища, перш ніж може статися займання та горіння (наприклад, мінеральна олія, аміак). Включає деякі дрібно розділені зважені тверді речовини, які не потребують нагрівання до виникнення займання. Точка займання при температурі не вище 93,3 ° C (200 ° F). 0 - Матеріали, які зазвичай стабільні навіть в умовах пожежі.(???якщо це все стосується верхньої піктограми,то треба об'єднати, щоб було зрозуміло)
Показники токсичності (зокрема, ГДК, LD_{50}, LD_{100})	8500 мг / кг (перорально, щур)
Докази канцерогенності	Не містить канцерогенних речовин. Не класифікується – на основі доступних даних, критерії класифікації не виявлені.
Заходи першої допомоги	*Загальні відомості.* Застосувати локальне і загальне провітрювання приміщення Рекомендується облаштувати робоче місце душем та умивальником для промивання очей. *Якщо потрапить в органи дихання.* Винести потерпілого з небезпечного місця, забезпечити доступ свіжого повітря. У разі прояву ознак отруєння слід надати медичну допомогу. *Уразі проковтування.* У випадку ковтання речовини слід дати випити потерпілому велику кількість води. Не викликати блювання. Малі дози зазвичай не викликають проявів отруєння. Велика кількість спожитої речовини може викликати шлункові розлади травлення, зниження тиску та збільшити метгемоглобінемію У такому випадку слід звернутися по допомогу до лікаря. *У разі контакту зі шкірою.* Зняти забруднений одяг. Шкіру промити великою кількістю води У разі прояву подразнення шкіри слід звернутись за порадою до лікаря. *Якщо потрапить в очі.* Промити очі під проточною водою 15 хвилин. Слід уникати сильного струменю води, щоб не пошкодити роговицю ока. Далі слід звернутись до лікаря.

продовження табл. Б 1

Номер аварійної картки:	№ 507
Основні властивості	Тверда речовина. Порошок або кристали білого кольору. Нелетка. Розчинна у воді. Сильний окислювач. Забруднює водоймища.
Знаки небезпеки	
Заходи першої допомоги	Викликати швидку медичну допомогу. Свіже повітря, спокій, тепло, чистий одяг. Очі і шкіру промити великою кількістю води протягом 15-20 хвилин.
Регламентовані дії (загального характеру, у разі розливів та розсипів, у разі пожеж)	*Загального характеру*. Відвести вагон у безпечне місце. Ізолювати небезпечну зону в радіусі не менш ніж 100 м. Відкоригувати вказану відстань за результатами хімрозвідки. Відвести сторонніх. У небезпечну зону входити в захисних засобах. Дотримуватися заходів пожежної безпеки. Не палити. Усунути джерела вогню та іскор. *У разі витоків, розливів та розсипів*. Повідомити СЕС. Не торкатися до розсипаної речовини. Розсипи огородити ґрунтовим валом, зібрати в посудини. Не допускати потрапляння речовини у водоймища, підвали, каналізацію. Не допускати контакту з нафтопродуктами та іншими горючими матеріалами. *У разі пожежі*. Гасити тонкорозпиленою водою зі змочувачем, пінами, порошками з максимальної відстані. Посудини охолоджувати водою з максимальної відстані.
Регламентована локалізація та збір небезпечного вантажу	*Якщо розлита невелика кількість*: забруднену ділянку, ретельно промити водою. *Якщо розлита велика кількість*: абсорбувати інертним сухим матеріалом та помістити у відповідний контейнер для відходів. У разі негерметичних контейнерів, які зберігають добрива, та їх розгерметизації, ділянку, вкриту пролитою речовиною, слід залити водою з метою розведення речовини.

продовження табл. Б 1

Регламентовані засоби індивідуального захисту	Для неаварійного персоналу: Залежно від способу зараження слід носити: • одяг згідно з PN-EN ISO 13688-12, • захисні рукавиці згідно з EN 374 і EN 388, • захисні окуляри типу з нанопокриттям (відповідно до EN 166). Рекомендації для пожежників: Пожежники повинні надягти належне захисне обладнання й використовувати апарат автономного дихання, який закриває все обличчя. Гасити пожежу слід з безпечної відстані. Наражені на пожар місця слід охолоджувати водою. Для персоналу з ліквідації аварій: Носіть захисний одяг, маски, рукавиці, захисні окуляри типу гогле. Для хімрозвідки та керівника робіт – ПДУ-3 (протягом 20 хвилин). Для аварійних бригад – ізолюючий захисний костюм КІХ-5 у комплекті з ізолюючим протигазом ІП-4М. У разі займання – вогнезахисний костюм у комплекті із саморятувальником СПІ-20. За відсутності вказаних зразків: захисний загальновійськовий костюм Л-1 або Л-2 у комплекті із промисловим протигазом з патроном В, БКФ, промисловий протигаз малого габариту ПФМ-1, рукавички з дисперсії бутилкаучуку, спеціальне взуття для захисту від нафти і нафтопродуктів. При малих концентраціях у повітрі (при перевищенні ГДК до 100 разів) – спецодяг, автономний захисний індивідуальний комплект із примусовою подачею в зону дихання очищеного повітря з патронами ПЗУ, ПЗ-2, фільтрувальний респіратор " ФОРТ-П", універсальний респіратор «Снежок-КУ-М».

ДОДАТОК В

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Основні праці

Статті що входять до наукометричних баз Scopus та Web of Science:

1. Zelenko Y., **Calimbet N**. Improving a method for eliminating the spill of hazardous substances byusing «Universal Absorbent Cloth». *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2022. 4(10(118)). P. 30-37. DOI: https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.263583 (in English)

Включені до фахових видань, затверджених МОН України:

2. Зеленько Ю. В., **Калимбет М. В.**, Фесенко Д. В. Впровадження заходів щодо ліквідації наслідків аварій при перевезенні небезпечних вантажів. *Транспортні системи та технології перевезень* : зб. наук. пр. Дніпров. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. Дніпро : Вид-во Дніпров. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2020. Вип. 20. С. 20–26. Режим доступу: http://tstt.diit.edu.ua/article/view/217394/pdf_198.

3. Зеленько Ю. В., **Калимбет М. В.** Виготовлення сорбційного полотна з композитних матеріалів як засіб для ліквідації розливів небезпечних речовин на траспорті. *Транспортні системи і технології* : зб. наук. пр. ДУІТ, 2021. Вип. 38. С. 24-35

4. Зеленько Ю. В., **Калимбет М. В.** Розробка рекомендацій щодо підвищення ефективності взаємодії складових системи «відправник – перевізник – одержувач». *Наука та прогрес транспорту*. 2022. 2(98). С. 5–16. https://doi.org/10.15802/stp2022/267937.

праці апробаційного характеру

- які засвідчують апробацію матеріалів дисертації на наукових конференціях та семінарах:

5. **Калимбет М. В.,** Зеленько Ю. В. Впровадження концепції щодо екологічно чистих та ресурсозберігаючих технологій експлуатації залізничного транспорту. *Матеріали VI Всеукр. науково-техн. конф. студентів, аспірантів і молодих вчених* (Дніпро, 2018 року). Дніпро : НТУ «Дніпровська політехніка», 2018. Т. 10. С. 13-14.

6. **Калимбет М. В.,** Зеленько Ю. В. Концепції щодо впровадження екологічно чистих та ресурсозберігаючих технологій експлуатації залізничного транспорту. *Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту* : матеріали 79-ї Міжнароної науково-практ. конф. (Дніпро, 16-17 травня 2019 р.) / Дніпров. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. Дніпро : Вид-во Дніпров. нац . ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2019. С. 299–301.

7. Зеленько Ю. В., **Калимбет М. В**. Розробка рекомендацій щодо ліквідації наслідків аварій при перевезенні небезпечних вантажів залізничним транспортом. *Молодь: наука та інновації* : матеріали VIII Всеукр. науково-техн. конф. студентів, аспірантів і молодих вчених (Дніпро, 25 листопада – 27 листопада 2020 року). Дніпро : НТУ «Дніпровська політехніка», 2020. Т. 10. С. 69-71.

8. Зеленько Ю. В., **Калимбет М. В**. Рекомендації щодо ліквідації наслідків аварій при перевезенні небезпечних вантажів залізничним транспортом. *Матеріали Міжнародної конф. «Екологічна безпека – сучасні напрямки та перспективи вищої освіти»* (Харків, 25 лютого 2021 року). Харків, 2021. С.61-63.

9. Зеленько Ю. В., **Калимбет М. В**. Ліквідація наслідків аварій при перевезенні небезпечних вантажів залізничним транспортом. *Матеріали V Всеукр. пленеру з питань природничих наук*. (Одеса, 1-2 липня 2021 р.). Одеса : ОДЕКУ, 2021. 35-37 с.

10. **Калимбет М. В.** Впровадження заходів щодо ліквідації наслідків аварій при перевезенні небезпечних вантажів. *Безпека життєдіяльності в XXI столітті* : тез. доп. XVI Міжвузівської студентської науково-практ. конф. (16-17 квітня 2020). Дніпро : ПДАБА, 2020. С. 14.

які додатково відображають результати дисертації

-патент на корисну модель

11. **Калимбет М. В.** Універсальне сорбційне полотно для очистки різноманітних поверхонь від нафтопродуктів. Патент України на корисну модель U 2021 03033, 2022р.

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Перший проректор УДУНТ

Анатолій РАДКЕВИЧ

«___» _____ 2023 р.

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Головний інженер

ПАТ «ІНТЕРПАЙП НТЗ»

Горяний К.І.

«___» _____ 2023 р.

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

Ми, що нижче підписалися

представники (Український державний університет науки і технологій

та представники ПАТ « ІНТЕРПАЙП НИЖНЬОДНІПРВСКИЙ ТРУБОПРОКАТНИЙ ЗАВОД» м. Дніпро, вул. Столєтова, 21

(повна назва підприємства, організації, адреса)

в особі головного інженера Горяного К.І.

(посада, прізвище та ініціали)

склали цей акт про те, що результати дисертаційної роботи у рамках виконання наукових досліджень за темою **„Розробка ресурсозберігаючих та екологічно чистих технології експлуатації залізничного транспорту”** у вигляді використання «Універсального сорбційного полотна (USS) для локалізації та ліквідації небезпечних вантажів» впроваджено для вирішення окремих виробничих завдань (природоохоронних заходів) для ліквідації (локалізація) забруднення ґрунтів внаслідок часткових розливів нафтопродуктів (втрат палива) .

Назва упровадженого результату	Досягнутий фактичний результат	
	Соціальний, технічний, організаційний та інш.	%
«Технологія ліквідації (локалізація) забруднення нафтопродуктами ґрунтів з використанням запропонованих композиційних матеріалів у вигляді Універсального сорбційного полотна (USS)»	Покращення екологічних показників: - недопущення забруднення поверхні ґрунту; - збільшення глибини просочування поверхні ґрунту нафтопродуктами , що в подальшому може потрапити до ґрунтових вод та як наслідок, погіршити якість підземних водоносних горизонтів ; - зменшення площі забруднення земельної ділянки. Мінімізація екологічних збитків – можливість вчасно та швидко	90-92

	локалізувати фактор забруднення при використанні Універсального сорбційного полотна значно зменьшить концентрацію забруднюючої речовини (нафтопродуктів) у грунті що в подальшоиму приведе до мінімального значеннія збитків внаслідок порушення природоохоронного законодавства. Впровадження технологій ресурсозбереження та раціонального природокористування.	

Від УДУНТ

проф., Д.Т.Н. Юлія ЗЕЛЕНЬКО

доц., К.Х.Н Лідія ТАРАСОВА

доц.,К.Т.Н. Марина БЕЗОВСЬКА

Від ПАТ « ІНТЕРПАЙП НТЗ»

Начальник відділу екології Васильєва В.О.

Начальник транспортого управління Староконь Ю.В.

Начальник служби транспортного цеха Буряк В,В,