

**В.В. Аулін**, проф., д-р техн. наук

*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна*

**Д.О. Кульова**, ст. вик., д-р філос.

*Український державний університет залізничного транспорту, м. Харків, Україна*

**А.В. Гриньків**, ст. дослід., канд. техн. наук, **С.В. Лисенко**, доц, канд. техн. наук

*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна*

*e-mail: AulinVV@gmail.com, d.coolava@gmail.com*

## Оцінювання ризиків несхоронних перевезень нафтопродуктів автомобільним транспортом

У статті проведено ідентифікацію та оцінювання ризиків, пов'язаних з перевезенням нафтопродуктів від нафтобаз до автозаправних станцій автомобільним транспортом. Розглянуто внутрішні фактори, зумовлені фізико-хімічними властивостями нафтопродуктів, такими як вогнебезпечність, вибухонебезпечність, випаровуваність та схильність до електризації, а також зовнішні фактори, включаючи механічні впливи, кліматичні умови, організаційні та технічні аспекти. За допомогою методу експертних оцінок визначено ймовірність виникнення ризиків і величину можливих наслідків, що дозволило встановити їх пріоритетність. Запропоновано рекомендації для зниження рівня ризиків, спрямовані на підвищення безпеки перевезень і схоронності нафтопродуктів.

**нафтопродукти, фізико-хімічні властивості вантажів, транспортування, ризики, оцінювання ризиків, метод експертних оцінок, схоронність вантажів**

**Постановка проблеми.** У сучасних умовах зростання обсягів перевезень небезпечних вантажів автомобільним транспортом питання забезпечення їх схоронності набуває важливого значення. В Україні з нафтобаз до автозаправних станцій (АЗС) транспортуються основні види нафтопродуктів, які користуються попитом серед споживачів. До бензинів належать марки А-92, А-95 та А-95 з присадками [1]. Бензин А-92, з октановим числом 92, використовується для автомобілів із середніми вимогами до якості пального, забезпечуючи належну роботу двигуна. Бензин А-95 є більш ефективним, рекомендованим для сучасних інжекторних двигунів завдяки його покращеним динамічним характеристикам. Особливе місце займає бензин А-95 з присадками, який містить спеціальні добавки, що покращують мийні, антифрикційні та антикорозійні властивості, підвищуючи ефективність роботи двигуна.

Дизельне паливо [2] представлено двома основними категоріями: стандартним дизельним паливом та паливом із покращеними характеристиками. Стандартне дизельне паливо використовується для більшості транспортних засобів (ТЗ) із дизельними двигунами, забезпечуючи їх стабільну роботу. Покращене дизельне паливо містить спеціальні присадки, які сприяють ефективнішому згорянню, знижують рівень викидів та підвищують стійкість роботи двигуна в умовах підвищених навантажень або екстремальних температур.

Врахування потенційно небезпечних властивостей нафтопродуктів є важливим з точки зору оцінювання ризиків та розробки заходів забезпечення схоронності під час їх транспортування.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Загальне оцінювання ризиків для їх мінімізації, включає в себе етапи ідентифікації, аналізу та оцінки [3]. В процесі ідентифікації ризиків доцільним є визначення зовнішніх та внутрішніх факторів, які

впливають на схоронність нафтопродуктів під час транспортування [4]. Зовнішні фактори включають: механічні, фізичні, кліматичні, організаційні, соціальні.

До механічних факторів належать [5] удари, вібрація, статичні навантаження, поштовхи та тертя, які можуть виникати під час транспортування, навантаження, розвантаження або зберігання. Їх вплив обумовлений технічним станом цистерн, ТЗ, насосного обладнання та інфраструктури (дороги, перевантажувальні термінали). Несправність цистерн може призвести до механічного пошкодження тари, витoku палива та його втрати.

Вплив фізичних факторів включає сталі умови середовища транспортування, такі як температура всередині ТЗ, рівень вологості, запиленість повітря та світловий вплив. Для нафтопродуктів, зокрема бензину, критичними є низька температура спалаху та схильність до випаровування [6], що потребує герметичності цистерн та дотримання температурного режиму.

Кліматичні фактори є змінними та залежать від погодних умов або сезону. Серед них атмосферні опади (дощ, сніг), вітер, перепади температур при зміні кліматичних зон та вплив атмосферного тиску. Для дизельного палива та бензину [7] різкі температурні перепади можуть вплинути на їх фізико-хімічні властивості, знижуючи якість і об'єм через випаровування.

Неправильний вибір маршруту [8], недостатня кваліфікація персоналу та відсутність належного інструктажу й навчань є організаційними факторами. Невдало спланований маршрут може підвищити ризик ДТП, а недостатній рівень підготовки водіїв призводить до порушень правил транспортування, що особливо небезпечно для легкозаймистих вантажів. До соціальних факторів належать крадіжки та вандалізм, які можуть призводити до втрати частини вантажу [9], витоків або пошкодження цистерн. Бензин і дизельне паливо є високовартісними продуктами, що робить їх привабливими для розкрадання.

В процесі транспортування нафтопродуктів важливим є вплив внутрішніх факторів, до яких відносяться фізичні, хімічні та фізико-хімічні властивості вантажу [10]. Серед фізичних властивостей найбільш критичними є густина, в'язкість і текучість. Густина визначає об'єм і вагу вантажу, що безпосередньо впливає на параметри завантаження ТЗ. В'язкість і текучість визначають поведінку нафтопродуктів під час переміщення у трубопроводах, наливних системах та в умовах зміни температури під час транспортування. Хімічні властивості характеризують взаємодію вантажів із зовнішнім середовищем. Схильність до окислення може спричинити утворення осадів або змінити фізико-хімічні характеристики, що негативно впливає на якість продукту.

До основних фізико-хімічних властивостей нафтопродуктів [10], які створюють підвищену небезпеку під час їх перевезення та зберігання, належать вогнебезпечність, вибухонебезпечність і випаровуваність. Дані властивості підсилюють ризик виникнення статичної електризації, яка виникає через тертя або рух рідин у трубопроводах, цистернах чи під час наливно-розливних операцій. Накопичення електростатичного заряду на поверхні рідини або тари може призвести до утворення іскор. Це особливо небезпечно для нафтопродуктів із низькою провідністю, таких як бензин, оскільки вони мають обмежену здатність розсіювати електростатичні заряди. У разі досягнення критичної напруги може відбутися електричний розряд, що здатний запалити горючі пари у транспортних цистернах або під час вантажно-розвантажувальних робіт.

Ідентифікація ризиків, пов'язаних із транспортуванням нафтопродуктів, значною мірою залежить від конкретних етапів перевезення [11, 12] та супутніх вантажних операцій. Процес доставки нафтопродуктів від нафтобази до АЗС включає три основні етапи: навантаження, транспортування та розвантаження. Кожен із цих етапів

супроводжується специфічними операціями, які можуть створювати ризики для схоронності вантажу та безпеки процесу.

На етапі завантаження ТЗ нафтопродукти перекачуються з резервуарів нафтобази до цистерн. Процес вимагає суворого контролю за рівнем наповнення цистерн, забезпечення герметичності з'єднань та запобігання переповненню, яке може призвести до розливу палива. Несправність насосного обладнання або цистерн може спричинити пошкодження тари чи витік нафтопродуктів. Наступний етап передбачає перевезення нафтопродуктів спеціалізованими ТЗ, обладнаними герметичними цистернами, які мають відповідати встановленим нормативам. На завершальному етапі нафтопродукти перекачуються з транспортних цистерн до резервуарів АЗС.

Беззаперечне дотримання положень нормативно-правової бази під час транспортування нафтопродуктів є обов'язковим на кожному етапі перевезення. Компанії-оператори ринку нафтопродуктів мають право розробляти та застосовувати власні інструкції, методики та інші документи, пов'язані з експлуатацією АЗС, за умови їх відповідності чинним нормативним актам.

**Постановка завдання.** Метою завдання є оцінювання ризиків перевезення нафтопродуктів від нафтобази до АЗС автомобільним транспортом, що забезпечує визначення пріоритетності кожного окремого ризику і розробку заходів їх мінімізації.

Для реалізації поставленої мети в роботі вирішуються наступні завдання:

- провести ідентифікацію основних ризиків та причин несхоронності нафтопродуктів під час транспортування;
- провести оцінювання ризиків з застосуванням методу експертних оцінок;
- розробити рекомендації по мінімізації оцінених ризиків для нафтопродуктів.

**Виклад основного матеріалу.** Враховуючи особливості нафтопродуктів визначені істотні супутні ризики [13], що загрожують їх схоронності на різних етапах процесу транспортування (табл. 1).

Таблиця 1 – Основні типи ризиків та причини несхоронності нафтопродуктів при перевезенні

Основні типи ризиків та їх сутність	Позначення ризиків $R_i, i = \overline{1, 7}$
Витік нафтопродуктів через порушення герметичності шлангів і з'єднань під час наливно-розливних операцій	$R_1$
Витік нафтопродуктів унаслідок небажаного руху ТЗ під час виконання наливно-розливних операцій	$R_2$
Витік нафтопродуктів через механічні пошкодження цистерни, спричинені ДТП	$R_3$
Вибух вантажу через утворення електростатичного заряду під час наливно-розливних операцій або руху ТЗ	$R_4$
Втрати вантажу через випаровування, спричинені негерметичністю цистерни або системи з'єднань	$R_5$
Розкрадання вантажу третіми особами або нечесним персоналом під час зупинок	$R_6$
Зниження якості нафтопродуктів через наявність залишків попередніх вантажів або сторонніх речовин у цистернах	$R_7$

*Джерело: розроблено авторами*

Визначення рівня ризику потребує оцінки ймовірності його настання та величини можливих наслідків, для реалізації цієї мети, використовуються якісні, кількісні та напівкількісні методи оцінювання ризиків [14, 15]. Кількісні методи дозволяють отримати точні числові значення ризику, однак для їх застосування необхідна велика кількість вхідних даних, що не завжди можливо в умовах обмеженої інформації. У випадках, коли необхідні статистичні дані відсутні або є неповними, доцільно використовувати якісні та напівкількісні методи, які базуються на експертних оцінках, класифікаціях та шкалах оцінювання.

З метою оцінювання ризиків, пов'язаних із транспортуванням нафтопродуктів автомобільним транспортом, була залучена група незалежних експертів у кількості 6 осіб: 2 інженери-технологи, 2 фахівці з охорони праці, 1 логіст та 1 фахівець із контролю якості нафтопродуктів. Групі експертів були видані спеціально розроблені анкети з описом основних ризиків та детальним поясненням методики їх оцінювання. Експерти повинні оцінити кожен ризик за двома критеріями: ймовірністю його настання та величиною можливих наслідків для схоронності нафтопродуктів. Оцінювання здійснювалося за бальною шкалою від 1 до 10, де 1 відповідає мінімальному значенню, а 10 – максимальному. З метою обробки отриманих експертних оцінок розраховано середньозважену ймовірність настання ризику:

$$\bar{P}_i = \frac{\sum_{j=1}^n W_j \cdot P_{ij}}{\sum_{j=1}^n W_j}, \quad (1)$$

де  $\bar{P}_i$  – середньозважена ймовірність для і-го ризику;

$W_j$  – ваговий коефіцієнт j-го експерта;

$P_{ij}$  – оцінка ймовірності настання ризику від j-го експерта для і-го ризику;

$n$  – кількість експертів.

Слід зазначити, що визначення ймовірності настання ризикових подій не є класичними ймовірностями, а являють собою бальні оцінки. Такий підхід дозволяє кількісно відобразити експертне сприйняття, що є необхідним для подальшого аналізу ризиків і визначення їх показників. Щоб привести отримані значення до класичної ймовірності, їх потрібно нормалізувати:

$$P_{ij}^{\text{норм}} = \frac{P_{ij}^{\text{експ}}}{10}, \quad (2)$$

де  $P_{ij}^{\text{норм}}$  – нормалізоване значення ймовірності;

$P_{ij}^{\text{експ}}$  – середньозважена оцінка ймовірності.

Величину середньозважених наслідків від реалізації і-го ризику  $\bar{C}_i$  розраховували за формулою:

$$\bar{C}_i = \frac{\sum_{j=1}^n W_j \cdot C_{ij}}{\sum_{j=1}^n W_j}, \quad (3)$$

де  $C_{ij}$  – оцінка наслідків від j-го експерта для і-го ризику.

Оскільки оцінки ризиків надані групою експертів із різним рівнем досвіду та кваліфікацією то для забезпечення об'єктивності результатів доцільно врахувати вагу кожного експерта при вирішенні цього питання. Ваговий коефіцієнт експерта визначається на основі його кваліфікації, що відображає компетентність і досвід у відповідній галузі. Розрахунок вагових коефіцієнтів здійснювали за виразом:

$$W_j = \frac{Q_j}{\sum_{j=1}^n Q_j}, \quad (4)$$

де  $Q_j$  – кваліфікаційна оцінка  $j$ -го експерта;

$n$  – кількість експертів.

На основі отриманих середньозважених значень ймовірності настання ризику (1) та його наслідків для кожного з визначених ризиків (3) розраховали інтегральний показник  $i$ -го ризику:

$$R_i = \bar{P}_i \cdot \bar{C}_i \quad (5)$$

Цей показник дозволяє комплексно оцінити рівень загроз при реалізації певних ризиків. Для підвищення достовірності та узгодженості результатів оцінювання ризиків використовували ітераційний підхід їх обговорення. Після первинного аналізу отриманих експертних оцінок було виявлено певні розбіжності у думках експертів щодо ймовірності настання та величини наслідків окремих ризиків.

На наступному етапі експертам запропоновано ознайомитись з узагальненими результатами оцінок та рекомендовано проведення додаткового обговорення у форматі повторної оцінки. При цьому кожен експерт мав можливість переглянути свої попередні оцінки. На основі середніх значень та обґрунтувань членів експертної групи проведена мінімізація крайніх значень оцінок та досягнуто більшої узгодженості. При цьому доречним є зазначити, що метод експертних оцінок, який застосовувався у дослідженні, містить елементи методу Дельфі, який передбачає ітераційний процес узгодження думок експертів.

Результати оцінювання ризиків групою експертів наведено в таблиці 2.

Таблиця 2 – Результати оцінювання ризиків несхоронних перевезень нафтопродуктів автомобільним транспортом

Ризик ( $R_i, i = \overline{1, 7}$ )	Середньозважена ймовірність ( $\bar{P}_i$ )	Величина середньозважених наслідків ( $\bar{C}_i$ )	Інтегральний показник ризику ( $R_i$ )
$R_4$	8,17	9,17	74,95
$R_3$	7,83	8,83	69,13
$R_1$	7,00	8,00	56,00
$R_7$	6,17	7,17	44,24
$R_2$	5,83	6,83	39,83
$R_5$	4,67	5,67	26,49
$R_6$	4,50	5,17	23,27

Джерело: розроблено авторами

Отримані інтегральні показники ризику свідчать про те, що найбільш критичними ризиками є:  $R_4$  – вибух через утворення електростатичного заряду 74.95;  $R_3$  – витік нафтопродуктів унаслідок механічних пошкоджень цистерни в результаті ДТП 69.13 та  $R_1$  – витік через порушення герметичності шлангів і з'єднань під час наливно-розливних операцій 56.00. Виявлено, що найменші значення ризиків мають випадки  $R_5$  – втрати нафтопродуктів через випаровування та  $R_6$  – розкрадання вантажу третіми особами, проте вони також потребують уваги та впровадження заходів для мінімізації їх впливу.

Аналіз отриманих результатів по кожному з ризиків (табл. 1) дозволив розробити і запропонувати заходи щодо підвищення безпеки транспортування, спрямованих на зменшення ймовірності виникнення ризикових подій та мінімізацію їх наслідків:

1. Для мінімізації ризику вибуху через утворення електростатичного заряду необхідно проводити заземлення цистерн і обладнання: використанням заземлювального ланцюга, контролем швидкості наливу рідин для уникнення надмірного накопичення зарядів, а також додаванням антистатичних добавок до нафтопродуктів. Заземлювальний ланцюг є обов'язковим елементом безпеки, оскільки він забезпечує безперервне відведення електростатичного заряду під час руху ТЗ, а також під час навантаження та розвантаження нафтопродуктів.

2. Під час транспортування водій повинен суворо дотримуватися правил дорожнього руху, зокрема уникати ризикованих маневрів, таких як обгін, оскільки це створює додаткову небезпеку для ТЗ, що перевозить легкозаймисті матеріали. Дотримання безпечної швидкості, вибір оптимального маршруту, уникнення перевантаження, правильне маркування ТЗ є необхідними умовами для мінімізації ризику витіку нафтопродуктів через механічні пошкодження цистерн під час ДТП.

3. З метою запобігання витіканню нафтопродуктів через порушення герметичності шлангів і з'єднань під час наливно-розливних операцій важливо застосовувати високоякісне обладнання, стійке до механічних пошкоджень, регулярно здійснювати огляд і технічне обслуговування, а також своєчасно проводити їх заміну. Крім того, слід впроваджувати системи автоматичного блокування операцій для зниження ризику аварійних ситуацій.

4. Перед початком наливу потрібно перевіряти чистоту цистерни, щоб уникнути зниження якості продукту, можливого забруднення або хімічної реакції з залишками попереднього вантажу.

5. Щоб зменшити ризик витікання нафтопродуктів внаслідок небажаного руху ТЗ потрібно контролювати його нерухомість за допомогою стоянкового гальма і додаткових фіксуючих пристроїв (наприклад підкладок під колеса).

6. Для мінімізації втрат вантажу через випаровування, спричинені негерметичністю цистерни або системи з'єднань, необхідно регулярно перевіряти герметичність обладнання, використовувати високоякісні ущільнювачі та дотримуватися вимог технічного обслуговування. Також важливо застосовувати системи контролю тиску та температури, щоб запобігти надмірному утворенню парів.

7. Для зменшення ризику розкрадання вантажу третіми особами або нечесним персоналом під час зупинок доцільно використовувати сучасні системи моніторингу та охорони, такі як GPS-трекери, датчики відкриття люків, а також відеоспостереження. Крім цього, на АЗС слід здійснювати перевірку якості нафтопродукту шляхом використання метроштоку зі спеціальною пастою (перевірка цистерни на наявність води, яку може залити в цистерну водій з метою розкрадання).

Отримані результати дослідження можуть слугувати основою для розроблення комплексної стратегії управління ризиками, що сприятиме підвищенню рівня безпеки та схоронності нафтопродуктів на всіх етапах транспортування.

### Висновки:

1. Визначено основні зовнішні і внутрішні фактори, які впливають на схоронність перевезення нафтопродуктів автомобільним транспортом. Виявлено, що до внутрішніх факторів відносяться властивості даних вантажів, які несуть в собі потенційну небезпеку та вступають у взаємодію із навколишнім середовищем.

2. Проведено ідентифікацію основних ризиків та причин несхоронності нафтопродуктів на етапах транспортування (навантаження, перевезення, розвантаження) від нафтобаз до автозаправних станцій.

3. Проведено оцінювання ризиків із застосуванням методу експертних оцінок. Встановлено, що найбільшу величину мають ризики: вибух вантажу через утворення електростатичного заряду під час наливно-розливних операцій або руху транспортного засобу (74,95); витік нафтопродуктів через механічні пошкодження цистерни спричинені дорожньо-транспортними пригодами (69,13) та через порушення герметичності шлангів і з'єднань під час наливно-розливних операцій (56,00). Середнє значення ризику мають зниження якості через наявність залишків попередніх вантажів або сторонніх речовин у цистернах (44,24) та витік унаслідок небажаного руху транспортного засобу під час виконання наливно-розливних операцій (39,83). Найменше значення ризику у причин втрати вантажу через випаровування, спричинені негерметичністю цистерни або системи з'єднань (26,49) і розкрадання вантажу третіми особами або нечесним персоналом під час зупинок (26,27).

4. На основі результатів дослідження розроблено комплекс рекомендацій для мінімізації вибраних ризиків перевізного процесу для нафтопродуктів автомобільним транспортом.

### Список літератури

1. ДСТУ 7687:2015. Бензини автомобільні Євро. Технічні умови: [зі Зміною № 1, чинною з 01-08-21, згідно наказу ДП «УкрНДНЦ» №161 від 30-04-21 (ІПС 4-2021)]. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2015. – 24 с.
2. ДСТУ 7688:2015. Паливо дизельне Євро. Технічні умови: [зі Змінами № 1 (ІПС 1-6-2019), № 2 (ІПС 2-8-2021) та Поправкою (ІПС 5-6-2020\*)]. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2015. 24 с.
3. ДСТУ ІЕС/ISO 31010:2013. Керування ризиком. Методи загального оцінювання ризику. (ІЕС/ISO 31010:2009, IDT), Мінекономрозвитку України. Київ, 2015. 73 с.
4. Guo J., Luo C. Risk assessment of hazardous materials transportation: A review of research progress in the last thirty years. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*. 2022. Vol. 9, Issue 4. P. 571–590. DOI: 10.1016/j.jtte.2022.01.004
5. Abid H. M., Shah Q. H., Faris W. F. The structural integrity assessment of a partially filled tank pertaining to liquid sloshing upon sudden brake applications. *Int. J. Vehicle Systems Modelling and Testing*, Vol. 6, Nos. 3/4. 2011. P. 307-317. DOI: 10.1504/IJVSMT.2011.044231
6. Дорошенко І. Ф., Люта В. Н. Огляд сучасних методик розрахунку втрат нафтопродуктів від випаровування за умов зберігання у наземних резервуарах. *Науковий вісник ІФНТУНГ*. 2012. Вип. 3(33). С. 81–90.
7. Бойченко С. В., Пузік О. Г., Топільницький П. І., Черняк Л. М., Романчук В. В., Бабатунд О., Каземір Л. Оцінка екологічного впливу нафтопереробного підприємства на навколишнє середовище. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2016. №4. С. 109–121.
8. Lavrukhin O., Kovalov A., Kulova D. Technological and economic estimation of efficiency of a route choice for transportation of dangerous goods. *SHS Web of Conferences*. 2019. Vol. 67. P. 1–6. DOI: <https://doi.org/10.1051/shsconf/20196702005>
9. Awodezi H., Mohammed S. U. Oil Pipelines Vandalism and Oil Theft: Security Threat to Nigerian Economy and Environment. *Journal of Environmental Law & Policy*. 2023. Vol. 3, Issue 1. P. 171–188. DOI: 10.33002/jelp03.01.05

10. Топільницький П. І., Романчук В. В., Ярмола Т. В. Дослідження властивостей нафт Передкарпатської нафтогазоносною області України. *Chemistry, Technology and Application of Substances*. 2019. Vol. 2, No 2. С. 102-109. DOI: 10.23939/ctas2019.02.102
11. Lavrukhin O., Kovalov A., Schevcenko V., Kyman A., Kulova D. Construction of an integrated criterion for estimating the consequences of emergencies involving dangerous goods. *Eastern–European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. Vol. 2, Issue 3 (98). P. 25–31. DOI: 10.15587/1729–4061.2019.163442
12. Lavrukhin O., Vernyhora R., Schevcenko V., Kyman A., Shulika O., Kulova D., Kim K. Forming an automated technology to actively monitor the transportation of dangerous cargoes by railroad. *Eastern–European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. Vol. 3, Issue 3 (105). P. 78–85. DOI: 10.15587/1729-4061.2020.205862
13. Kumar U., Kumar A., Kumar N. Management of Risks Associated with the Transportation of Hazardous Materials. *Innovative Research in Civil Engineering: Theories and Practices*. 2024. Vol. 1. P. 299–306.
14. Radu L. D. Qualitative, Semi-Quantitative and Quantitative Methods for Risk Assessment: Case of the Financial Audit. *Audit Financiar*. 2009. Vol. 7, Issue 56. P. 643–657.
15. Шурда К. Е. Методи якісного та кількісного аналізу ризиків. *Збалансоване природокористування*. 2020. № 4. С. 64–72. DOI: 10.33730/2310-4678.4.2020.226622

## References

1. DSTU 7687:2015. (2015). Benzyny avtomobilni Euro. Tekhnichni umovy: [zi Zminoyu № 1, chynnoy z 01-08-21, zgidno nakazu DP «UkrNDNC» №161 vid 30-04-21 (IPS 4-2021)]. Kyiv: DP «UkrNDNC» [in Ukrainian].
2. DSTU 7688:2015. (2015). Palyvo dyzelne Euro. Tekhnichni umovy: [zi Zminamy № 1 (IPS 1-6-2019), № 2 (IPS 2-8-2021) ta Popravkoyu (IPS 5-6-2020\*)]. Kyiv: DP «UkrNDNC» [in Ukrainian].
3. DSTU IEC/ISO 31010:2013. (2015). Keruvannya ryzykom. Metody zahalnoho otsiniuvannya ryzyku. (IEC/ISO 31010:2009, IDT). Kyiv: Minekonomrozvytku Ukrainy [in Ukrainian].
4. Guo, J., & Luo, C. (2022). Risk assessment of hazardous materials transportation: A review of research progress in the last thirty years. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 9(4), 571–590. DOI: 10.1016/j.jtte.2022.01.004 [in English].
5. Abid, H. M., Shah, Q. H., & Faris, W. F. (2011). The structural integrity assessment of a partially filled tank pertaining to liquid sloshing upon sudden brake applications. *International Journal of Vehicle Systems Modelling and Testing*, 6(3/4), 307–317. DOI: 10.1504/IJVSMT.2011.044231 [in English].
6. Doroshenko, I. F., & Lyuta, V. N. (2012). Ohliad suchasnykh metodyk rozrakhunku vtrat naftoproduktiv vid vyparuvuvannya za umov zberihannya u nazemnykh rezervuarakh. *Naukovyi visnyk IFNTUNG*, 3(33), 81–90 [in Ukrainian].
7. Boichenko, S. V., Puzik, O. H., Topilnytskyi, P. I., Cherniak, L. M., Romanchuk, V. V., Babatund, O., & Kazemir, L. (2016). Otsinka ekolohichnoho vplyvu naftopererobnoho pidpriemstva na navkolyshnie seredovyshche. *Enerhetyka: ekonomika, tekhnolohii, ekolohiia*, 4, 109–121 [in Ukrainian].
8. Lavrukhin, O., Kovalov, A., & Kulova, D. (2019). Technological and economic estimation of efficiency of a route choice for transportation of dangerous goods. *SHS Web of Conferences*, 67, 1–6. DOI: <https://doi.org/10.1051/shsconf/20196702005> [in English].
9. Awodezi, H., & Mohammed, S. U. (2023). Oil Pipelines Vandalism and Oil Theft: Security Threat to Nigerian Economy and Environment. *Journal of Environmental Law & Policy*, 3(1), 171–188. DOI: 10.33002/jelp03.01.05 [in English].
10. Topilnytskyi, P. I., Romanchuk, V. V., & Yarmola, T. V. (2019). Research of oil properties in the Precarpathian oil and gas region of Ukraine. *Chemistry, Technology and Application of Substances*, 2(2), 102–108. DOI: 10.23939/ctas2019.02.102 [in Ukrainian].
11. Lavrukhin, O., Kovalov, A., Schevcenko, V., Kyman, A., & Kulova, D. (2019). Construction of an integrated criterion for estimating the consequences of emergencies involving dangerous goods. *Eastern–European Journal of Enterprise Technologies*, 2(3)(98), 25–31. DOI: 10.15587/1729–4061.2019.163442 [in English].
12. Lavrukhin, O., Vernyhora, R., Schevcenko, V., Kyman, A., Shulika, O., Kulova, D., & Kim, K. (2020). Forming an automated technology to actively monitor the transportation of dangerous cargoes by railroad. *Eastern–European Journal of Enterprise Technologies*, 3(3)(105), 78–85. DOI: 10.15587/1729-4061.2020.205862 [in English].
13. Kumar, U., Kumar, A., & Kumar, N. (2024). Management of Risks Associated with the Transportation of Hazardous Materials. *Innovative Research in Civil Engineering: Theories and Practices*, 1, 299–306 [in English].
14. Radu, L. D. (2009). Qualitative, Semi-Quantitative and Quantitative Methods for Risk Assessment: Case of the Financial Audit. *Audit Financiar*, 7(56), 643–657 [in English].



15. Shurda, K. E. (2020). Metody yakisnoho ta kilkisnoho analizu ryzykiv. *Zbalansovane pryrodokorystuvannia*, 4, 64–72. DOI: 10.33730/2310-4678.4.2020.226622 [in Ukrainian].

**Viktor Aulin**, Prof., DSc.

*Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine*

**Daria Kulova**, Senior Lecturer, Ph.D tech. sci.

*Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine*

**Andrey Hrinkiv**, Senior Researcher, PhD tech. sci., **Serhii Lysenko**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

*Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine*

### **Risk Assessment of Non-Secure Transportation of Petroleum Products by Road Transport**

The article identifies and assesses risks associated with the transportation of petroleum products by road from oil depots to gas stations. The main external and internal factors affecting cargo safety have been determined, including the physicochemical properties of petroleum products such as flammability, explosiveness, volatility, and susceptibility to static electrification, as well as external factors, including mechanical impacts, climatic conditions, organizational, and technical aspects.

The primary risks at the transportation stages (loading, transit, unloading) have been identified, and the key causes of petroleum product losses have been established. Risk assessment was performed using the expert evaluation method, involving a detailed analysis of probability and consequences for each identified risk. This approach enabled the classification of risks by priority, with the highest risks including cargo explosion caused by static electricity during loading and unloading operations, leaks of petroleum products due to mechanical damage to the tank caused by road accidents, and breaches of hose integrity during loading and unloading operations. Medium risks are associated with the quality degradation of petroleum products due to residues of previous cargoes in the tanks and leaks resulting from unwanted vehicle movement during loading and unloading operations. The lowest risks pertain to cargo losses due to evaporation or theft during stops. The risk levels were quantified, allowing for the prioritization of targeted interventions.

Based on the analysis, a comprehensive set of recommendations has been developed to minimize the identified risks. These include regular technical inspections and maintenance of tanks and vehicles, implementation of advanced monitoring systems, adherence to strict safety protocols during loading and unloading operations, and continuous training for personnel. Additionally, maintaining a controlled temperature regime and ensuring the use of anti-static measures were highlighted as critical for enhancing the safety and integrity of transported petroleum products.

**petroleum products, physicochemical properties of cargo, transportation, risks, risk assessment, expert evaluation method, cargo integrity**

*Одержано (Received) 04.11.2024*

*Прорецензовано (Reviewed) 29.11.2024*

*Прийнято до друку (Approved) 23.12.2024*