

В.Б. Лоїк, О.Д. Синельников, О.Ф. Бабаджанова, В.М.Ковальчук
Львівський державний університет безпеки життєдіяльності

ОЦІНЮВАННЯ ЧИННИКІВ НЕБЕЗПЕКИ В РАЗІ АВАРІЙ ЗАЛІЗНИЧНИХ ЦИСТЕРН ЗІ ЗРІДЖЕНИМИ ВУГЛЕВОДНЕВИМИ ГАЗАМИ

Вступ. Безпека людини – це найбільш важливий аспект функціонування суспільства. Аварії під час перевезення зріджених вуглеводневих газів є одними з найбільш небезпечних подій на залізничному транспорті. Значна частина відомих аварій в разі транспортування зрідженого газу відноситься до спалахів і вибухів, які найбільш небезпечні з точки зору безпеки персоналу, населення, прилеглих до місця аварії об'єктів і навколишнього середовища. Залізничні аварії досить часто є результатом сходу цистерн з рейок. Однією з причин аварій можуть бути технічні дефекти, часто пов'язані з неналежним технічним обслуговуванням. Також помилки контролюючого залізничного персоналу (людський фактор) або технічні проблеми сигнальної системи можуть призвести до зіткнення потягів.

Мета. Мета роботи – проведення оцінки небезпечних факторів аварій під час транспортування зрідженого газу залізничним транспортом.

Результати. Зріджені вуглеводневі гази відносяться до речовин, які потребують особливих запобіжних заходів під час їх перевезення. Масштабність перевезень є основою появи досить високого рівня ризику виникнення надзвичайних ситуацій. Під час аварійної розгерметизації цистерни найімовірніше станеться вибух газоповітряної суміші, якщо відбувається миттєве займання, а також факельне горіння при не миттєвому займанні зрідженого газу. Аварії на залізницях з подальшим витіканням речовини з цистерни в рідкісних випадках відбуваються в горизонтальному положенні цистерни, частіше спостерігається при сходженні з рейок залізничних колій, перекиданні декількох цистерн, при цьому аварійна цистерна розташовується під кутом до горизонту. Розраховано об'єм і масу рідкого пропану, який витече в разі нахилу цистерни. Проведено розрахунки інтенсивності теплового випромінювання і теплових доз на відстані розміщення людей в разі загоряння вмісту цистерни як в горизонтальному, так і в нахиленому положенні.

Висновки. На основі розрахунку інтенсивності теплового випромінювання (теплових доз) в разі загоряння вмісту цистерни як в горизонтальному, так і в нахиленому положенні, встановлено, що люди на платформі та в населеному пункті перебуватимуть в зоні небезпечного впливу пожежі і можуть отримати опіки різного ступеня.

Ключові слова: безпеки, залізничні цистерни, аварії, зріджений вуглеводневий газ.

V.B. Loik, O.D. Synelnikov, O.F. Babadzhanova, V.M.Kovalchuk
Lviv State University of Life Safety

ASSESSMENT OF DANGER FACTORS IN CASE OF ACCIDENTS OF RAILWAY TANKS WITH LIQUEFIED HYDROCARBON GASES

Introduction. Human security is the most important aspect of the functioning of society. Accidents during the transportation of liquefied hydrocarbon gases are one of the most dangerous events on rail transport. A significant part of the known accidents in the case of transportation of liquefied gas refers to flashes and explosions, which are the most dangerous in terms of safety of personnel, the population adjacent to the accident site and the environment. Railway accidents are often the result of the derailment. One of the causes of failure can be technical defects, often associated with improper maintenance. Also, errors of the railway control staff (human factor) or technical problems of the signal system can lead to train collisions.

Aim. The purpose of the work is to assess the dangerous factors of accidents during the transportation of liquefied gas by rail.

Results. Liquefied hydrocarbon gases are substances that require special precautions during transportation. The scale of traffic is the basis for the emergence of a relatively high level of risk of emergencies. During an emergency depressurization of the tank, an explosion of the gas mixture is most likely to occur if there is an instantaneous ignition

as well as flare burning with non-instantaneous inflammation of liquefied propane. Accidents on railways with subsequent leakage of substances from the tank in rare cases occur in the horizontal position of the tank, more often there is a derailment, overturning of several tanks from the railway tracks, while the emergency tank is located at an angle to the horizon. It was calculated the volume and mass of liquid propane that will leak when the tank is tilted. Calculations of the intensity of warm radiation and thermal doses at a distance of placement of people in case of ignition of contents of the tank both in horizontal and in inclined position are carried out.

Conclusions. Based on the calculation of the intensity of thermal radiation (thermal doses) in case of fire of the tank contents both in a horizontal and inclined position. We established that people on the platform and in the settlement will be in the zone of dangerous fire and can get burns of various degrees.

Keywords: hazards, railway tanks, accidents, liquefied hydrocarbon gas.

Вступ. Значна кількість небезпечних вантажів, велика протяжність комунікацій зумовлюють виникнення аварійних ситуацій на залізничному транспорті. Майже 80% зріджених вуглеводневих газів (ЗВГ) доставляється залізничним транспортом, і обсяги перевезень постійно зростають. Зростає і ризик виникнення надзвичайних ситуацій на залізниці. Аварії з наявністю ЗВГ є одними з найбільш небезпечних подій на залізничному полотні.

Загальними ознаками залізничних транспортних подій, які виникають під час руху рухомого складу залізничного транспорту, є:

- загибель або травмування людей;
- пошкодження рухомого складу залізничного транспорту, технічних засобів;
- порушення графіків руху поїздів;
- завдання шкоди навколишньому природному середовищу.

Транспортні події залежно від ознак класифікують як катастрофи (аварії із серйозними наслідками), аварії та інциденти [1].

Катастрофа (аварія із серйозними наслідками) - транспортна подія, що призвела до пожежі на рухомому складі залізничного транспорту, зіткнення рухомого складу залізничного транспорту з іншим рухомим складом залізничного транспорту, транспортними засобами, сходження рухомого складу залізничного транспорту на перегоні чи станції, під час поїзної або маневрової роботи, екіпірування тощо, унаслідок якої одна або більше осіб загинули, п'ять і більше осіб травмовано, та/або спричинила пошкодження рухомого складу залізничного транспорту, інфраструктури залізничного транспорту або завдала шкоди навколишньому природному середовищу, а також будь-які інші схожі аварії з очевидним впливом на регулювання безпеки на залізничному транспорті або управління безпекою.

До аварій відносяться транспортні події, що призвели до зіткнення, сходження з рейок рухомого складу залізничного транспорту; сталися на залізничних переїздах та поза ними; які спричинили шкоду життю і здоров'ю людини; сталися з небезпечними вантажами; пожежі тощо [1].

Аналіз остатніх досліджень і публікацій

Згідно з [2], аварії в залежності від причин можуть бути:

- технічні: недосконалість конструкцій;
- технологічні: порушення встановленого розпорядку технічного обслуговування і ремонту, використання нових технологій з підвищеним ризиком;
- організаційні: порушення структури управління рухами поїздів, недосконалість нормативно-правової бази з експлуатації та організації руху поїздів, кваліфікаційна підготовка персоналу;
- зовнішні: природно-кліматичні зміни, стихійні лиха, промислові аварії на об'єктах, розташованих поблизу залізниці, теракти і військові дії.
- Під час транспортування зрідженого газу є ймовірність виникнення таких аварійних ситуацій:
 - витікання ЗВГ (без виникнення вогню) і подальша його ліквідація або розсіювання утвореної хмари за швидкості вітру від 5 м/с;
 - виникнення витоку з подальшим його миттєвим займанням (вибух ГПС або горіння рідини), або не миттєвим займанням (пожежа розливу або факельне горіння) [2].

Значна частина відомих аварій під час транспортування зрідженого газу відноситься до спалахів і вибухів останнього. Вони є найбільш небезпечними з точки зору безпеки персоналу, населення, прилеглих до місця аварії об'єктів і навколишнього середовища.

Постановка проблеми

Транспортні засоби, якими перевозяться небезпечні вантажі (до яких належать ЗВГ), повинні відповідати вимогам безпеки, охорони праці та екології, а також у встановлених законодавством випадках мати відповідне маркування і свідоцтво про допущення до перевезення небезпечних вантажів [3].

Належне транспортування зрідженого вуглеводневого газу регулюється відповідно до "Рекомендацій з транспортування небезпечних вантажів" ООН [4,5].

Перевезення зріджених, стиснутих і розчинених під тиском газів повинно здійснюватися в балонах або спеціалізованих контейнерах, які відповідають вимогам [6].

Для зрідженого пропану чи бутану варіанти розвитку аварії залежать в основному від природно-кліматичного стану навколишнього середовища; залежно від цього визначається кількість газу, що випарувався з поверхні. Він не токсичний, але може викликати задуху за дуже великої концентрації в повітрі.

За нормальної температури і тиску зріджений вуглеводневий газ є газоподібною і легкозаймистою речовиною. Зазвичай газ зберігається під тиском в рідкому стані. Скидання тиску супроводжується швидким охолодженням, інтенсивність якого залежить від швидкості скидання. Під час впливу надмірного тепла контейнери зі зрідженим газом стають вибухонебезпечними.

Пропан і бутан важчі за повітря. Це означає, що ці гази будуть осідати у заглибинах землі і концентруватися там, особливо якщо немає руху повітря для прискорення розсіювання газу. Температура кипіння пропану і бутану нижча за нормальну атмосферну температуру, і тому вони підтримуються в зрідженому стані за температури навколишнього середовища під тиском. В разі потрапляння в атмосферу (наприклад, через витік), пропан почне кипіти негайно, як і бутан. Обидва ці продукти збільшуються в об'ємі при переході з рідкого в газоподібний стан: пропан займає в 270 разів більший об'єм в газоподібному стані, ніж в рідкому; бутан приблизно в 234 рази більший об'єм. Це може бути джерелом небезпеки при неконтрольованому виході газів в атмосферу [7].

Первинним джерелом небезпеки для зрідженого газу є вогонь. Обидва продукти, пропан і бутан, відносно легко можуть загорітися від полум'я, іскри або статичного розряду. Займання хмар бутану або пропану часто призводить до пошкоджень, подібних з вибухом, особливо якщо випаровування відбувалося в закритому просторі.

При витіканні ЗВГ з ємності значна його частина перетворюється в пару майже миттєво, переноситься в повітря у вигляді дрібних крапельок. Отже, передбачається, що газ, вивільнений з захисної оболонки, який був під тиском, відразу і повністю перетворюється в парову фазу, так звану аерозольну хмару. Значна кількість повітря зміщується з парами ЗВГ під час випаровування (в залежності від умов витоку), і хмара буде переміщатися під впливом вітру і сили тяжіння [7].

Виклад основного матеріалу. ЗВГ відносяться до речовин, які потребують особливих запобіжних заходів під час перевезення. Масштабність перевезень є основою появи досить високого рівня ризику виникнення надзвичайних ситуацій (НС).

Зріджений пропан перевозиться при тиску 2 МПа, тому під час виготовлення і експлуатації котлів цистерн, призначених для їх перевезення, повинні дотримуватися правила, встановлені для посудин, що працюють під тиском [6].

Для транспортування зрідженого газу застосовують цистерни з верхнім наливом і зливом. Цистерна має вигляд горизонтального сталевго циліндра, з торців обмеженого сферичними днищами. Розташовується цистерна на чотиривісній платформі. Зверху розміщується люк для зливних і наливних робіт, а також запобіжна арматура для контролю процесу зливу-наливу, вся ця система закривається запобіжним ковпаком. Якщо тиск ЗВГ в цистерні перевищує робочий на 15% і більше, спрацьовує запобіжний клапан. Для утримання цистерни на платформі використовують стягувальні хомути. Вся конструкція оснащена автотзцепом, гальмами і важелем автогальм.

Максимальний ступінь наповнення не перевищує 85% від усього обсягу цистерни. Пояснюється це тим, що рідка фракція практично не стискається, і в разі підвищення температури при повному заповненні ємності остання буде зруйнована.

Під час аварійної розгерметизації цистерни найімовірніше станеться вибух газоповітряної суміші, якщо відбувається миттєве займання, а також факельне горіння при не миттєвому загорянні зрідженого пропану. В разі сприятливих кліматичних умов і своєчасної реакції служб цивільного захисту існує висока ймовірність того, що подальшому розвитку аварії можна запобігти. Але, виходячи зі статистики аварій, які відбуваються на залізниці, можна сказати, що за не миттєвого займання найбільш імовірними є випадки з пожежею розливу. Тому розглянемо варіант розвитку аварії з пожежею розлитого зрідженого пропану.

У разі руйнування цистерни із зрідженим газом його витікання через аварійний отвір відбувається досить швидко і на тверду підстильну поверхню.

Виникає необхідність вирішення таких завдань:

- розрахунок часу витікання рідкої фракції з ємності через аварійний отвір;
- визначення маси пролитого зрідженого газу за певний час витікання.

У загальному випадку, як відомо з основ гідродинаміки [8], час зниження рівня рідини в посудині довільного профілю від значення висоти H_1 над аварійним отвором до значення H_2 визначається рівнянням:

$$\sqrt{t} = \int_{H_2}^{H_1} \frac{f(h)dh}{Q - \mu \times s \sqrt{2gh}} \quad (1)$$

де $f(h)$ – функція зміни площі вільної поверхні резервуара з висотою; h – поточне значення висоти дзеркала рідкої фракції над центром аварійного отвору; Q – приплив рідини в резервуар; μ – коефіцієнт витрати або коефіцієнт опору закінченню рідини; s – площа отвору або пробоїни, приведена до кругового перерізу.

Для горизонтальних резервуарів циліндричної форми, характерної для залізничних цистерн, залежність площі дзеркала рідини від висоти рівня h має такий вигляд (рис.1):

$$f(h) = 2 \times L \sqrt{2 \times h \times L - h^2} \quad (2)$$

де L – довжина циліндричного резервуара, h – відстань між дзеркалами рідини H_1 і H_2 .

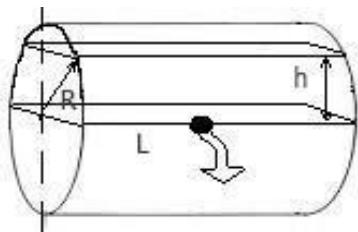


Рисунок 1 – Схема витіку пропану через аварійний отвір в центрі циліндра

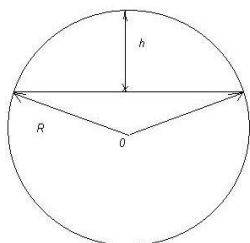


Рисунок 2 – Сегмент торця циліндра висотою h

Підставивши в формулу (1) вираз площі дзеркала рідини, отримаємо час, за який витече рідина з цистерни:

$$t = \frac{4 \times L}{3 \times \mu \times s \times \sqrt{2g}} \times \left[(2R - H_2)^{3/2} - (2R - H_1)^{3/2} \right] \quad (3)$$

де R – радіус торця циліндра.

Для визначення об'єму рідини, яка витекла, необхідно розрахувати площу сегмента циліндра (рис.2):

$$S(h) \approx 0.52359 \times \left[R \sqrt{8Rh + 5h^2} - 2(R - h) \times \sqrt{2Rh - h^2} \right] \quad (4)$$

Об'єм рідини, яка витекла, розраховується за формулою:

$$V(h) = L \times [S(H_1) - S(H_2)] \quad (5)$$

Відповідно маса рідини, яка витекла:

$$m = V(h) \times \rho \quad (6)$$

де ρ – густина зрідженого пропану.

Результати розрахунку об'єму і маси, залежно від розташування дзеркала рідини щодо аварійного отвору, представлені в таблиці 1.

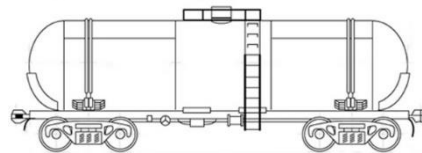
Таблиця 1

Об'єм і маса витіку залежно від розташування дзеркала рідини над аварійним отвором

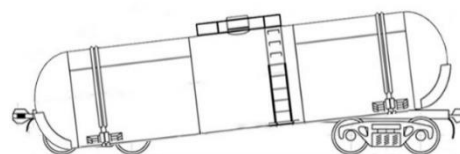
Висота дзеркала рідини H_1 , м	Об'єм рідини, m^3	Маса рідини, кг
3	31,05	16390
2,5	30,19	15940
2	26,92	14210
1,5	19,84	10470

Прийmemo допущення, що отвір розташовується в центрі цистерни щодо довжини і висоти ємності, отже для подальших розрахунків використаємо значення $H_1 = 3$ м, відповідно $V = 31,05 m^3$ і $m = 16390$ кг.

Як уже наводилось у вступі, аварії на залізничних з подальшим витіканням речовини з цистерни в рідкісних випадках відбуваються в горизонтальному положенні цистерни (рис. 3, варіант 1), частіше спостерігається сходження з рейок, перекидання декількох цистерн із залізничних колій, при цьому аварійна цистерна розташовується під кутом до горизонту (рис.3, варіант 2).



Варіант 1



Варіант 2

Рисунок 3 – Розташування цистерни в момент аварії

У разі нахиленого розміщення цистерни для зручності вирішення поставленого завдання цю ситуацію переведемо до моделі циліндра, яка відповідає габаритам цистерни і розташована під кутом до горизонту. (рис.4).

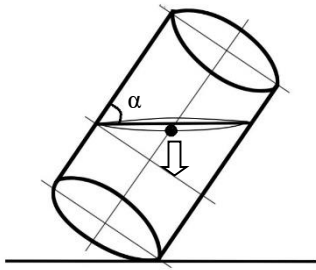


Рисунок 4 – Модель циліндра під кутом до горизонту з аварійним отвором у центрі

Беручи до уваги те, що рідина буде спливати повністю до пробіони в цистерні, тобто до моменту, коли дзеркало рідини досягне аварійного отвору, об'єм рідини, яка витекла, можна розрахувати методом пайового зменшення об'єму:

$$V(i, \alpha) = \frac{\pi d^2}{4} \times \left(i \times L + \frac{d \times tg \alpha}{4} \right), \quad (7)$$

де α – кут нахилу цистерни до горизонту, $\alpha = 90 - \alpha^\circ$; L – довжина твірної циліндра; d – діаметр циліндра; i – частка довжини циліндра, яка залежить від розташування дзеркала рідини в конкретний момент.

Маса рідини, яка витекла, розраховується за формулою:

$$m = V(i, \alpha) \times \rho \quad (8)$$

де ρ – густина зрідженого газу.

Результати розрахунків об'єму і маси рідини, яка витече в разі нахилу цистерни, наведені на рис. 5.

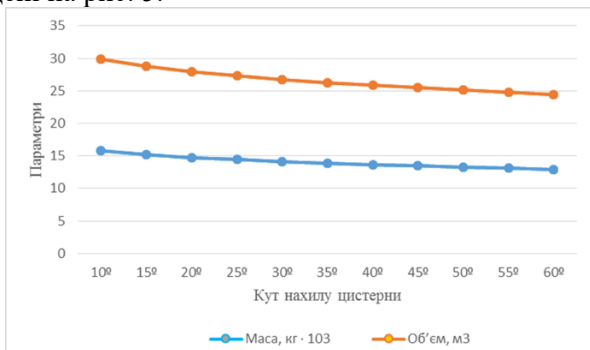


Рисунок 5 – Об'єм і маса витікання ЗВГ залежно від кута нахилу цистерни

Аналіз результатів (рис. 5) свідчить, що зі збільшенням кута нахилу цистерни об'єм, а відповідно і маса витікання ЗВГ, незначно зменшуються. За нахилу в 10° об'єм і маса зрідженого газу близькі за значеннями до витікання з горизонтального циліндра. Для подальших розрахунків похилого розміщення цистерни беремо значення при $\alpha=60^\circ$: $V = 24,49 \text{ м}^3$ і $m = 12930 \text{ кг}$.

Розглядаємо ситуацію, коли ешелон цистерн зі зрідженим газом зазнав аварії на відстані 15 м від платформи, де перебувають люди (10 ... 20 осіб). На відстані 100 м розташований невеликий населений

пункт, де в момент аварії перебуває 50 осіб, а поблизу зони впливу розташовані 3 будівлі.

Інтенсивність теплового випромінювання визначається згідно з [9] за формулою:

$$q = E_f \times F_q \times \tau, \quad (9)$$

де: E_f – середньоповерхнева інтенсивність теплового випромінювання полум'я, кВт/м²; E_q – кутовий коефіцієнт опромінювання; τ – коефіцієнт пропускання атмосфери.

На основі розрахунків побудовано графік залежності величини інтенсивності теплового випромінювання від відстані в разі пожежі горизонтально розташованої цистерни (рис.6).

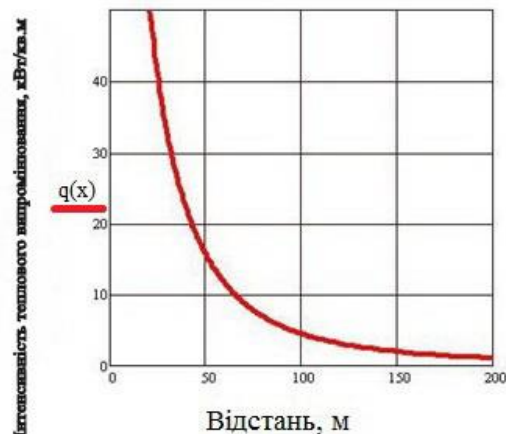


Рисунок 6 – Залежність інтенсивності теплового випромінювання від відстані

Аналізуючи графік встановлено, що люди на платформі та в населеному пункті перебуватимуть в зоні небезпечного впливу пожежі. Тому розраховуємо теплову дозу за формулою:

$$Q = t_0 \times q(R_0) + \frac{1}{v} \int_{R_0}^{R_{\text{без}}} q(R) dR, \quad (10)$$

де t_0 – час на реакцію людини, прийнятий 3,5 с; q – інтенсивність теплового випромінювання, кВт/м² на певній відстані R , м.

Аналогічні розрахунки проведено для цистерни, розташованої під нахилом до горизонту.

В таблиці 5 наведено результати розрахунків інтенсивності теплового випромінювання і теплових доз на різній відстані розміщення людей.

Таблиця 5

Інтенсивність теплового випромінювання і теплова доза під час пожежі

	Відстань, м	q, кВт/м ²	Q, кДж/м ²
Горизонтальне розташування цистерни	15	100	281,23
	100	5,835	30
Розташування цистерни з нахилом	15	78	204
	100	4,85	26,7

Отже, люди, які перебувають на платформі, можуть отримати опіки другого ступеня у випадку

як горизонтального, так і похилого розташування цистерни. Люди в населеному пункті (на відстані 100 м) можуть отримати опіки першого ступеня.

Висновки. Проведені розрахунки маси витікання зрідженого пропану з аварійного отвору залізничної цистерни, розташованої під нахилом в разі перекидання, показали, що маса витікання ЗВГ мало залежить від кута нахилу цистерни. На основі розрахунку інтенсивності теплового випромінювання (теплових доз) в разі загоряння вмісту цистерни як в горизонтальному, так і в нахиленому положенні, встановлено, що люди на платформі та в населеному пункті перебуватимуть в зоні небезпечного впливу пожежі і можуть отримати опіки різного ступеня.

Список літератури:

1. Наказ Міністерства інфраструктури України від 03.07.2017 № 235 Про затвердження Положення про класифікацію транспортних подій на залізничному транспорті. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0904-17#Text> (укр.)

2. Леончук П.А. (2017) Обзор научных работ по пожарной опасности транспортировки опасных грузов автомобильным и железнодорожным транспортом в части оценки последствий аварий и пожарного риска. Пожарная безопасность, №1, С.85-95. <http://firesafety-vniipo.ru/> (рос.)

3. Закон України Про перевезення небезпечних вантажів. Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2000, № 28, ст. 222. (укр.)

4. ST/SG/AC.10/1/Rev.19 (Vol.1) Рекомендации по перевозке опасных грузов. ООН. Нью-Йорк и Женева. 2015. https://unece.org/DAM/trans/danger/publi/unrec/rev19/Rev19r_Vol_I.pdf (рос.)

5. **Наказ Міністерства транспорту та зв'язку України від 25.11.2008 № 1430** Правила перевезення небезпечних вантажів. Редакція від 16.03.2018. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0180-09#Text> (укр.)

6. Наказ Держспоживстандарту України від 31.12.2003 р. №279 Технічний регламент з підтвердження відповідності безпеки обладнання, що працює під тиском (гармонізований з Директивою 97/23 ЄС Європейського Парламенту та Ради Європейського союзу). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0704-04#Text> (укр.)

7. EUROPEAID/120569/C/SV/MULTI (2007) Регулирование транспортировки опасных грузов вдоль коридора TRACECA http://www.traceca-org.org/fileadmin/fm-dam/TAREP/45jramh/45jramh8_ru.pdf (рос.)

* **Оглядова стаття**

Стаття надійшла до редакції **15.11.2021**.

8. Шевченко Т. О. (2017) Конспект лекцій з дисципліни «Технічна механіка рідини та газу». Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова. 101 с. (укр.)

9. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків, установок за вибухопожежною та пожежною безпекою. (укр.)

References:

1. Order of the Ministry of Infrastructure of Ukraine dated 03.07.2017 № 235 On approval of the Regulations on the classification of transport events on railway transport.

<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0904-17#Text> (inUkr.)

2. Leonchuk P.A. (2017) Review of scientific work on the fire hazard of the transport of dangerous goods by road and rail in terms of assessing the consequences of accidents and fire risk. Fire safety, №1, С.85-95. <http://firesafety-vniipo.ru/> (in Rus.)

3. Law of Ukraine on Transportation of Dangerous Goods. Information of the Verkhovna Rada of Ukraine (VVR), 2000, № 28, Art. 222. (in Ukr.)

4. ST/SG/AC.10/1/Rev.19 (Vol.1) Recommendations for the transport of dangerous goods. UN. New York and Geneva. 2015. https://unece.org/DAM/trans/danger/publi/unrec/rev19/Rev19r_Vol_I.pdf (in Rus.)

5. Order of the Ministry of Transport and the link of Ukraine dated November 25, 2008 No. 1430 Rules for the transportation of unsafe vantages. Edition from 16.03.2018. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0180-09#Text> (in Ukr.)

6. Order of the State Service for Standards of Ukraine dated 31.12.2003. No. 279 Technical regulations for the approval of the security of possession, for the sake of work under the grip (harmonization with the Directive 97/23 EC of the European Parliament and for the sake of the European Union). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0704-04#Text> (in Ukr.)

7. EUROPEAID/120569/C/SV/MULTI (2007). Regulation of the transport of dangerous goods along the TRACECA corridor http://www.traceca-org.org/fileadmin/fm-dam/TAREP/45jramh/45jramh8_ru.pdf (in Rus.)

8. Shevchenko T. O. (2017) Synopsis of lectures on the subject "Technical Mechanics of Liquid and Gas". Kharkiv: KhNUMG them. O.M. Beketova. 101 p. (in Ukr.)

9. DSTU B V.1.1-36: 2016 Determination of categories of premises, buildings, installations according to explosion and fire danger. (in Ukr.)