

УДК 621.532.4

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.2-47.18>

АНАЛІЗ НЕБЕЗПЕК ПІД ЧАС ЗБЕРІГАННЯ СКРАПЛЕНИХ ВУГЛЕВОДНЕВИХ ГАЗІВ

Чернова О.Т., Кривенко Г.М.

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
вул. Карпатська, 15, 76019, м. Івано-Франківськ
galyakrivenko73@gmail.com

Газонаповнювальні пункти призначені для приймання, зберігання, наповнення та відпуску скрапленого вуглеводневого газу споживачам. Технологічні операції, що проводяться на даному об'єкті, становлять підвищену виробничу та екологічну небезпеку. Аналіз аварій, пов'язаних з технологічним середовищем – скрапленим вуглеводневим газом, показує, що наслідки даних аварій, а саме: вибухи і пожежі, можуть набувати катастрофічних масштабів з травмуванням і загибеллю людей. Ймовірність їх виникнення в основному обумовлена помилками обслуговуючого персоналу, порушенням правил експлуатації і норм будівництва. Аварії, які відбуваються під час зберігання скрапленого вуглеводневого газу у наземних резервуарах, приносять великий матеріальний збиток унаслідок складності гасіння пожеж. Тому аналіз небезпек під час зберігання скрапленого вуглеводневого газу є особливо актуальним. Метою даної роботи є аналіз небезпек під час зберігання скрапленого вуглеводневого газу в наземних резервуарах на газонаповнювальних пунктах з урахуванням комплексного дослідження чинників, що впливають на них. Для досягнення поставленої мети були сформульовані наступні завдання досліджень: аналіз небезпек під час зберігання скрапленого вуглеводневого газу; кількісна оцінка показників вибухонебезпеки наземних резервуарів. Об'єктом дослідження є наземні резервуари у газонаповнювальних пунктах, призначені для зберігання скрапленого вуглеводневого газу. Проведено детальний аналіз небезпек під час зберігання скрапленого вуглеводневого газу. Однією з основних причин порушення герметичності резервуара є механічний або корозійний знос електрохімічної природи, а також помилки обслуговуючого персоналу. Наведено схему постадійного аналізу умов виникнення і розвитку аварії. Наведена кількісна оцінка показників вибухонебезпеки «вогняної кулі» резервуара. Визначена категорія вибухонебезпеки за значенням відносного енергетичного потенціалу та приведеної маси горючих газів. Результати наукових досліджень, викладені у цій статті, можуть використовуватися для аналізу питань безпечної експлуатації об'єктів, пов'язаних зі скрапленими вуглеводневими газами та забезпеченням охорони довкілля. *Ключові слова:* скраплений вуглеводневий газ, резервуар, енергетичний потенціал, небезпека, «вогняна куля».

Analysis of hazards during storage of liquefied hydrocarbon gases. Chernova O., Kryvenko G.

Gas filling stations are designed to receive, store, fill and release liquefied hydrocarbon gas to consumers. The technological operations carried out at this facility pose an increased risk to both industrial and environmental safety, pose an increased industrial and environmental hazard. Analysis of accidents related to the technological environment – liquefied hydrocarbon gas shows that the consequences of these accidents, namely explosions and fires, can take on a catastrophic scale with injury and death of people. The probability of their occurrence is mainly caused by errors of service personnel, violation of operating rules and building regulations. Accidents that occur during the storage of liquefied hydrocarbon gas in aboveground tanks cause significant material losses due to the difficulty of extinguishing fires. Therefore, the analysis of hazards during the storage of liquefied hydrocarbon gas is particularly relevant. The purpose of this work is to analyze the hazards during the storage of liquefied hydrocarbon gas in aboveground tanks at gas filling stations, taking into account a comprehensive study of the factors affecting them. To achieve the goal, the following research tasks were formulated: analysis of hazards during storage of liquefied hydrocarbon gas; quantitative assessment of the explosion hazard indicators of ground tanks. The object of the research is aboveground tanks used for the storage of liquefied hydrocarbon gas at gas filling stations. A detailed analysis of hazards during the storage of liquefied hydrocarbon gas was carried out. One of the main reasons for tank leak tightness is mechanical or corrosive wear of an electrochemical nature, as well as service personnel errors. The scheme of step-by-step analysis of the conditions of occurrence and development of the accident is given. A quantitative assessment of the explosiveness of the tank's "fireball" is given. The explosion hazard category is determined based on the value of the relative energy potential and reduced mass of combustible gases. The results of scientific research presented in this article can be used to analyze the issues of safe operation of facilities related to liquefied hydrocarbon gases and environmental protection. *Key words:* liquefied hydrocarbon gas, tank, energy potential, danger, "fireball".

Постановка проблеми. Газонаповнювальні пункти (ГНП) призначені для приймання, зберігання, наповнення та відпуску скрапленого вуглеводневого газу (СВГ) споживачам. Технологічні операції, що проводяться на даному об'єкті, представляють пожежну небезпеку. Пожежі на складах СВГ звичайно розвиваються за такою схемою: витік газу у результаті аварії або несправності, запалення від зовнішніх джерел загоряння, електростатичних розрядів, іскор, горіння газу або вибух. Тому

газонаповнювальні пункти віднесені до об'єктів, що становлять підвищену виробничу та екологічну небезпеку [1].

Актуальність дослідження та зв'язок авторського доробку з важливими науково-практичними завданнями. Для гарантування безпеки газонаповнювальних пунктів необхідно оцінювати й аналізувати небезпеки, пов'язані зі специфікою їх роботи. Таким чином, аналіз аварій, пов'язаних з технологічним середовищем – скрапленим вугле-

водневим газом, показує, що наслідки даних аварій, а саме: вибухи і пожежі, можуть набувати катастрофічних масштабів з травмуванням і загибеллю людей. Ймовірність їх виникнення в основному обумовлена помилками обслуговуючого персоналу, порушенням правил експлуатації і норм будівництва. Аварії, які відбуваються під час зберігання СВГ у наземних резервуарах, приносять великий матеріальний збиток унаслідок складності гасіння пожеж. Тому аналіз небезпек під час зберігання СВГ є особливо актуальним. Прогнозування сценаріїв розвитку аварій, що спричиняють негативний вплив на довкілля, можливе за умови проведення детального аналізу та оцінки небезпек, які виникають в процесі експлуатації об'єкта. Це дасть змогу провести необхідні заходи з попередження виникнення аварійних ситуацій, при цьому не допустити або зменшити негативний вплив на довкілля. У цьому полягає практичне значення авторського доробку.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Аналіз літературних джерел показав, що проблемі гарантування техногенно-екологічної безпеки потенційно небезпечних об'єктів присвячені роботи В. Ф. Стоєцького, О. П. Михайлюка, Н. О. Ференц, Л. В. Дранишнікова та ін. [2, 3, 4]. Зокрема, в роботах Р. М. Говдяка, Є. І. Крижанівського, Г. В. Кошляк, Й. Й. Білинського, О. А. Гордієнко [5, 6, 7] висвітлено проблеми екологічної безпеки в паливно-енергетичному комплексі України. Аналіз небезпек під час аварії автоцистерни зі скрапленим вуглеводневим газом наведено в роботах [8, 9]. При аваріях на потенційно небезпечних об'єктах ударна хвиля є одним з чинників, що уражають [10, 11]. Але недостатньо оцінюються й аналізуються небезпеки, пов'язані зі специфікою технологічних операцій зі скрапленими вуглеводневими газами. З аналізу літературних джерел випливає, що техногенні чи антропогенні чинники можуть впливати на виникнення аварій, які супроводжуються загоранням СВГ, що призводить до негативних наслідків на довкілля. Адже небезпеки об'єкта дослідження зумовлені тим, що усередині обладнання і трубопроводів знаходиться СВГ у газоподібному та рідкому стані.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. З джерел, присвячених проблемам екологічної безпеки, можна зробити висновок про необхідність проведення досліджень щодо впливу чинників на виникнення аварійних ситуацій під час зберігання СВГ у наземних резервуарах, що призводять до негативного впливу на довкілля.

Метою даної роботи є аналіз небезпек під час зберігання скраплених вуглеводневих газів в наземних резервуарах на газонаповнювальних пунктах з урахуванням комплексного дослідження чинників, що впливають на них. Для досягнення поставленої мети були сформульовані наступні завдання досліджень: аналіз небезпек під час зберігання СВГ; кількісна

оцінка показників вибухонебезпеки наземних резервуарів. Об'єктом дослідження є наземні резервуари в газонаповнювальних пунктах, призначені для зберігання СВГ. Предмет дослідження – чинники, що впливають на виникнення аварійних ситуацій.

Новизна та загальнонаукове значення. Новизна полягає у комплексному дослідженні чинників, що впливають на процес зберігання СВГ у резервуарах. Аналіз небезпек під час зберігання скраплених вуглеводневих газів в комплексі з іншими дослідженнями дадуть змогу визначити потенційні загрози при вибухах та пожежах на об'єктах газонаповнювальних пунктів, що дасть можливість розробити заходи по запобіганню виникнення шкідливих впливів на довкілля.

Викладення основного матеріалу. Газонаповнювальний пункт призначений для приймання скрапленого вуглеводневого газу з автомобільних та залізничних цистерн, зберігання і відпуску СВГ. На вузлі приймання відбувається зливання СВГ з автомобільних та залізничних цистерн у стаціонарні підземні резервуари та в наземний резервуар. Вузол зберігання СВГ включає підземні ємності місткістю по 25 м³ та 50 м³, а також наземну ємність місткістю 10 м³, трубопроводи та арматуру.

Під час проведення аналізу визначення небезпек, можливих аварій і їх наслідків потрібно урахувати такі чинники: хімічні і фізичні властивості скрапленого вуглеводневого газу; параметри процесу приймання, зберігання і видачі газоподібного вуглеводневого скрапленого палива; стану та особливостей устаткування об'єкта обстеження, умов його експлуатації; можливостей об'єкта обстеження з запобігання переходу аварійної ситуації в аварію та заходів з локалізації наслідків аварії.

Слід відмітити, що за атмосферного тиску вуглеводневі гази не проявляють токсичної дії на організм людини. Але, потрапляючи у повітря, вони зменшують вміст кисню у ньому. Тому людина відчуватиме кисневе голодування. У зв'язку з цим всі компоненти СВГ внесені в список шкідливих для людського організму речовин. Санітарними нормами встановлена гранично допустима їх концентрація у повітрі робочої зони виробничих приміщень, яка дорівнює 300 мг/м³ (у перерахунку на вуглець). Отже, небезпеки СВГ обумовлені більше вибухопожежонебезпечними властивостями, ніж токсичними [12].

Проведемо детальний аналіз небезпек під час зберігання СВГ. Однією з основних причин порушення герметичності резервуара є механічний або корозійний знос електрохімічної природи, а також помилки обслуговуючого персоналу. Такі причини як вихід тиску за межі критичних значень, аварії на сусідніх блоках, природні чинники, що можуть призвести до порушення герметичності резервуара зі скрапленими газами, малоімовірні, але повністю їх виключати не бажано. Оскільки резервуарний парк для зберігання СВГ на ГНП підземного типу, то у випадку виник-

нення аварії з підземним резервуаром наслідки аварій не будуть значних масштабів. Якщо відбудеться вибух, то ударна хвиля буде гаситися шаром ґрунту. Отже, аварія носитиме локальний характер і призведе лише до руйнування резервуара.

Блок зберігання СВГ також складається з наземного резервуара об'ємом 10 м³, який з'єднаний трубопроводами з насосом, зливною і роздавальною колонками. На резервуарі встановлено по два запобіжні клапани, рівнеміри та манометри тиску. Робочий тиск у резервуарі складає 1,6 МПа. Паливо зберігається за температури навколишнього середовища. Скраплені вуглеводневі гази є насиченими (киплячими) рідинами, тому, за наявності вільної поверхні рідкої фази, завжди виникає двофазна система (рідина-пара), причому тиск пари змінюється залежно від температури рідкої фази і може бути значним за підвищення температури зовнішнього середовища. У разі порушення герметичності трубопроводу на всмоктувальній лінії насоса, маса викиду газу через низький надлишковий тиск буде незначною і не нестиме особливої небезпеки. Розглядаючи причини порушення герметичності трубопроводу із СВГ, слід зазначити, що у процесі його експлуатації не створюється такий тиск, який може призвести до порушення герметичності. Тому, слід вважати порушення герметичності фланцевих з'єднань і сальникових ущільнень замкової арматури найбільш ймовірним порушенням герметичності трубопроводу внаслідок виходу технологічних параметрів за межі критичних значень. Порушення герметичності трубопроводу внаслідок корозійного зносу можливе у результаті дії на трубопровід ззовні атмосферних чинників. Спрогнозувати неможливо, де на ділянці трубопроводу порушена герметичність та її масштаби.

Для прогнозування виникнення і розвитку аварії наведемо схему постадійного аналізу. Схема постадійного аналізу умов виникнення і розвитку аварії наведена на рис. 1. Розглянемо стадії розвитку аварійної ситуації, основні принципи аналізу умов виникнення аварійної ситуації (аварії) та її наслідки, способи та засоби попередження і локалізації аварії при зберіганні СВГ у наземному резервуарі.

Наприклад, у випадку порушення герметичності фланцевих з'єднань, сальникових ущільнень запірної арматури потрібно перевірити, чи відповідає проекту оснащення резервуара запірною армату-

рою, запобіжними клапанами і засобами контролю. Для попередження, локалізації аварії потрібно проведення оглядів і випробувань трубопроводів, з використанням необхідних методів контролю. Ремонт і ревізії арматури. Дотримання графіка планово-переджувальних робіт (ППР).

Якщо допущені помилки ремонтного й обслуговуючого персоналу, то перевіряється, чи достатня підготовленість обслуговуючого персоналу і забезпечення експлуатаційно-технічною документацією. До помилок персоналу слід віднести порушення під час ремонту і ревізії запірної арматури при ущільненні фланцевих з'єднань.

Корозійний знос або втома матеріалу може пришвидшуватися у разі несправності системи захисту від слабких струмів. Втома матеріалу і ступінь корозії контролюється періодичними оглядами. Автоматичний контроль справності заземлення резервуара не передбачений. Необхідне дотримання графіка ППР обладнання. Контроль справності заземлення здійснюється спеціальними службами згідно з графіком.

У разі дії зовнішніх небезпечних чинників можливі транспортні аварії, пошкодження трубопроводів під час проведення ремонтних робіт. Потрібно звернути увагу на установку необхідних дорожніх знаків, проконтролювати за опорними конструкціями під трубопроводами. З метою попередження порушення герметичності трубопроводу проводяться його періодичні огляди і випробування з використанням необхідних методів.

Під час викиду продукту з резервуара визначаються розміри аварії за кількістю викиду продукту. Визначаються фізико-хімічні, вибухонебезпечні та токсичні властивості продукту. Проводиться блокування аварійного резервуара, закриття запірної арматури.

Утворення вибухонебезпечної концентрації скраплених газів можливе при вмісті їх у повітрі від 1,5 до 9,5%. Локалізувати утворену вибухонебезпечну хмару технічно неможливо. Необхідна негайна оцінка аварійної ситуації.

Вибух і пожежа можуть відбутися у разі порушення персоналом правил пожежної безпеки й реалізації небезпек зовнішніх чинників. Вибух супроводжується короткочасним різким звуком з низькою частотою і високим рівнем звукового тиску. Сила вибуху і його руйнівна дія залежать від маси СВГ

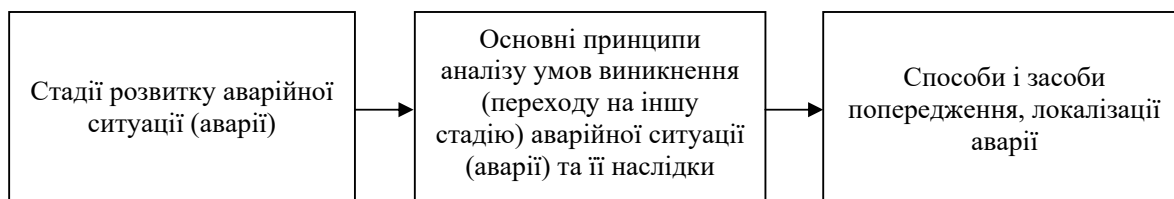


Рис. 1. Схема постадійного аналізу умов виникнення і розвитку аварії

у вибухонебезпечній хмарі. Після вибуху, як правило, виникає пожежа. **Можлива ініціація аварій на інших блоках ГНП з переходом аварії на рівень «В».** Необхідне негайне оповіщення персоналу і керівництва ГНП про пожежу. Виклик підрозділів аварійно-рятувальної служби і швидкої допомоги. Провести ретельний огляд території ГНП з метою виявлення потерпілих до прибуття протипожежної служби та приступити до гасіння пожежі за допомогою первинних засобів. Негайно повідомити комісії з питань техногенно-екологічної безпеки та надзвичайних ситуацій.

Аналіз впливу чинників на виникнення вибухів та пожеж під час зберігання скраплених вуглеводневих газів показав, що потрібно, окрім якісних показників вибухонебезпеки, враховувати і кількісні, а саме: енергетичний та відносний енергетичний потенціал вибухонебезпеки, загальну зведену масу горючої пари та тротиловий еквівалент [13].

Ефективний енергозапас паливо-повітряної суміші визначається за такими залежностями:

$$E = m_2 \cdot q_2 \quad \text{при } c_2 \leq c_{cm}, \quad (1)$$

$$E = m_2 \cdot q_2 \cdot c_{cm} / c_2 \quad \text{при } c_2 > c_{cm}, \quad (2)$$

де m_2 – маса речовини, що горить у хмарі, кг; q_2 – питома теплота згоряння палива, кДж/кг; c_{cm} – стехіометрична концентрація речовини у суміші з повітрям, кг/м³; c_2 – концентрація газу, що горить у хмарі, кг/м³.

Загальна маса горючих парів (газів) вибухонебезпечної парогазової хмари (m_2), зведена до єдиної питомої енергії згоряння, яка дорівнює 46000 кДж/кг:

$$m_2 = \frac{E}{4,6 \cdot 10^4}. \quad (3)$$

Відносний енергетичний потенціал вибухонебезпеки

$$Q_e = \frac{1}{16,534} \cdot \sqrt[3]{E}. \quad (4)$$

За значеннями відносних енергетичних потенціалів (Q_e) і зведеної маси парогазового середовища (m_2) здійснюється класифікація технологічних блоків.

Тротиловий еквівалент являє собою таку масу тротилу, при вибуху якої виділяється стільки ж енергії, скільки її виділиться при вибуху заданої кількості конкретного пального або вибухової речовини. Тротиловий еквівалент:

$$V = \frac{0,4 \cdot m_2 \cdot q_e}{0,9 \cdot 4,5 \cdot 10^6}. \quad (5)$$

Розрахунок інтенсивності теплового випромінювання «вогняної кулі» q , кВт/м², проводять за методикою, наведеною у [13].

Визначимо кількісні оцінки показників вибухонебезпеки (вибух пароповітряної суміші) резервуара із СВГ за наступних даних: максимальний геометричний об'єм 10 м³ СВГ; кг/м³; ступінь заповнення цистерни складає 85%; температура навколишнього

повітря 20°C; теплота згоряння СВГ 46400 кДж/кг, концентрація пароповітряної суміші під час вибуху – 9,5%, густина теплового випромінювання полум'я $E_f = 450$ кВт/м².

За результатами розрахунків за методикою, наведеною в [13], визначена кількісна оцінка показників вибухонебезпеки парогазової хмари при викиді СВГ з резервуара загальним об'ємом 10 м³.

Енергетичний потенціал вибухонебезпеки $E = 1,777 \cdot 10^8$ кДж. Відносний енергетичний потенціал вибухонебезпеки $Q_B = 34,0$. Загальна зведена маса горючої пари $m_2 = 3839$ кг. Тротиловий еквівалент вибуху $W_T = 1762$ кг.

Результати розрахунків розмірів зон руйнування наведено на рис. 2, а показників вибухонебезпеки «вогняної кулі» резервуара – у табл. 1.

При аварії кількість потерпілих прийнята по кількості людей, які можуть знаходитися у зоні аварії, ймовірна кількість потерпілих від аварії, складає приблизно 50 чоловік. Під час аналізу достатності протиаварійних заходів резервуара для зберігання СВГ, виявлено, що справне заземлення з електричним опором не більшим ніж 10,0 Ом, запобігає електростатичному розряду під час зливу СВГ з автоцистерни в резервуар. Оскільки автоматичний контроль справності заземлення не передбачений, то ймовірність виникнення електростатичного розряду є високою. Це відноситься й до справності заземлення блискавкоприймачів. Дотримання правил безпечної експлуатації обладнання і проведення вогневих робіт залежить від рівня професійної підготовки і технологічної дисципліни обслуговуючого персоналу.

За значенням відносного енергетичного потенціалу та зведеної маси горючих газів визначена категорія вибухонебезпеки при аварії резервуара, заповненого скрапленим вуглеводневим газом. Вибух пароповітряної суміші у результаті руйнування резервуара належить до 1 класу вибухонебезпеки.

З аналізу результатів розрахунків, наведених у табл. 1, впливає що інтенсивність теплового випромінювання безпечна для людини на відстані $r = 335$ м від геометричного центра «вогняної кулі».

Головні висновки. Проведено комплексний аналіз небезпек під час зберігання скраплених вуглеводневих газів. Основною небезпекою аварії з резервуаром є вибух і пожежа, які можуть відбутися у разі порушення персоналом правил пожежної безпеки й реалізації небезпек зовнішніх чинників. Наведена кількісна оцінка показників вибухонебезпеки «вогняної кулі» резервуара. Визначена категорія вибухонебезпеки за значенням відносного енергетичного потенціалу та приведеної маси горючих газів.

Перспективи використання результатів дослідження. Результати наукових досліджень, викладені у цій статті, можуть використовуватися для аналізу питань безпечної експлуатації об'єктів, пов'язаних

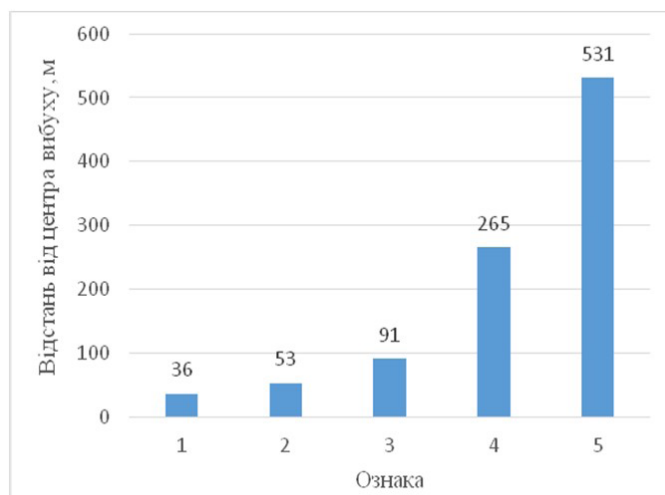


Рис. 2. Розміри зон руйнування

1 – радіус зони повного руйнування будівель і смертельної небезпеки для людей, на межі якої надлишковий тиск по фронту ударної хвилі $\Delta P \geq 100$ кПа; 2 – радіус зони сильних руйнувань будівельних конструкцій, обвалення цегляних стін і смертельної небезпеки для людей, $\Delta P = 70$ кПа; 3 – радіус зони слабких руйнувань будівельних конструкцій, для відновлення яких потрібне їх часткове розбирання і смертельної небезпеки для людей на відкритій місцевості, $\Delta P = 28$ кПа; 4 – радіус зони слабких руйнувань (руйнування віконних отворів, покриттів, які легко розкидаються) і важкого травмування людей на відкритій місцевості, $\Delta P = 14$ кПа; 5 – радіус зони часткового руйнування скління, нижній поріг ураження людей

Таблиця 1

Кількісна оцінка показників вибухонебезпеки «вогняної кулі» резервуара

Висота центра «вогняної кулі» H , м	Ефективний діаметр «вогняної кулі» D_3 , м	Інтенсивність теплового випромінювання q , кВт/м ²	Відстань від геометричного центра «вогняної кулі» до об'єкта r , м	Примітки
18	36,15	4	254	Безпечно для об'єктів
		1,5	335	Безпечно для людини

зі скрапленими вуглеводневими газами та забезпеченням охорони довкілля. Подальші дослідження передбачають комплексну оцінку небезпек об'єктів у нафтогазовій галузі.

Література

1. Про об'єкти підвищеної небезпеки: Закон України від 18.01.2001р. № 2245-III Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2245-14#Text> (дата звернення: 09.03.2023).
2. Стоєцький В. Ф., Дранишников Л. В. Прогнозування наслідків аварій на потенційно небезпечних виробничих об'єктах. *Збірник наукових праць Національного гірничого університету*. 2013. № 43. С. 114–122.
3. Ференц Н. О., Павлюк Ю. Е. Пожежна профілактика технологічних процесів. Львів: ЛДУ БЖД, 2019. 332 с.
4. Михайлюк О. П., Олійник В. В., Кріса І. Я., Білим П. А., Тесленко О. О. Пожежна безпека об'єктів підвищеної небезпеки. Харків: УЦЗУ, 2010. 343 с.
5. Енергоекологічна безпека нафтогазових об'єктів / Р. М. Говдяк та ін. Івано-Франківськ: «Лілея НВ», 2007. 556 с.
6. Крижанівський Є. І., Кошляк Г. В. Екологічні проблеми енергетики. *Нафтогазова енергетика*. 2016. № 1 (25). С. 80–90.
7. Білинський Й. Й., Гордієнко О. А., Тітов Т. С., Сахно О. М. Скраплений газ в енергетичному комплексі України. *Вісник ВП*. 2018. № 4. С. 54–60.
8. Kryvenko G. M. Forecasting of Danger during a Tank Rupture. *Перспективні напрями наукових досліджень, LV Міжнародна науково-практична інтернет-конференція*. м. Львів, 24 листопада 2020 року. Ч. 2. Львів. 2020. С. 72–75.
9. Чернова О. Т., Кривенко Г. М. Аналіз небезпек під час розриву автоцистерни. *Розвиток транспорту*. 2021. 4(11). С. 129–136.
10. Тарнавський А. Б. Оцінка уражаючих факторів при вибуху кисневого балона. *Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності*. 2014. № 9. С. 174–179.
11. Михайлюк О. П. Проблеми забезпечення пожежовибухонебезпеки автозаправних станцій. *Сборник научных трудов НУЦЗУ Проблемы пожарной безопасности*. Вып. 32. 2012. С. 149–154.
12. Семчук Я. М., Савчук Л. Я. Захист атмосферного повітря від забруднень. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2019. 198 с.
13. Чернова О. Т., Кривенко Г. М. Аналіз небезпек на газонаповнювальних пунктах. *Екологічні науки: науково-практичний журнал*. 2020. Вип. 4 (31). С. 120–124.