



*В. А. Цопа¹, С. І. Чеберячко², О. В. Дерюгін²,
Н. С. Сушко², О. В. Станіславчук³*

¹Міжнародний інститут менеджменту, м. Київ, Україна

²Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна

³Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, м. Львів, Україна

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4811-3712> – В. А. Цопа

<https://orcid.org/0000-0003-3281-7157> – С. І. Чеберячко

<https://orcid.org/0000-0002-2456-7664> – О. В. Дерюгін

<https://orcid.org/0000-0002-4874-1823> – Н. С. Сушко

<https://orcid.org/0000-0001-5784-005X> – О. В. Станіславчук



dr.tsopav@gmail.com

АНАЛІЗ ПРИЧИН ВИБУХУ НІТРАТУ АМОНІЮ В ПОРТУ БЕЙРУТА

Метою дослідження є аналіз причин виникнення небезпеки від нітрату амонію та оцінка рівня ризику втрати життя та здоров'я людей від небезпечної події (вибуху 2750 тон нітрату амонію на складі в порту Бейрута) для розробки відповідних превентивних безпекових програм.

Матеріали і методи. Для оцінки професійного ризику небезпек застосовано модель "краватка-метелик", яка є схематичним способом опису та аналізу шляхів розвитку небезпечної події від причин до наслідків, поєднанням «дерева відмов» і «дерева подій».

Результати. Розроблено ймовірну модель аналізу вибуху аміачної селітри в порту Бейрута, яка дає змогу виявити, що основною причиною цієї події була байдужість, яка проявилася у: користолобстві власника судна: не забезпечив судно і команду потрібними ресурсами для безпечного перевезення аміачної селітри та не сплатив портового збору в Бейруті; некомпетентності й недбалості керівників порту щодо дотримання вимог безпечного зберігання аміачної селітри окремо від феєрверків, організації та контролю за безпекою виконання зварювальних робіт; бездіяльності уряду та президента, які були поінформовані про ризик вибуху аміачної селітри. Розроблені рекомендації з керування ризиками хімічних небезпек, які передбачають, що в керуванні ризиком небезпеки можливі такі чотири рішення: 1) прийняти ризик небезпеки, тобто прийняти втрати від цієї небезпеки; 2) не прийняти ризик небезпеки, тобто, не прийняти можливі втрати від цієї небезпеки, для чого можливо: передати ризик (2), відмовитися від ризику (3) та знизити ризик (4). Встановлено причинно-наслідкові взаємозв'язки між небезпекою (нітрат амонію), небезпечною умовою (підвищення температури аміачної селітри вище 210-350°C внаслідок пожежі та вибуху, спричинених займанням феєрверків, що призвело до детонації аміачної селітри) та наслідками (втрата життя та здоров'я мешканців Бейрута, руйнування інфраструктури, забруднення навколишнього середовища та політичні наслідки).

Наукова новизна. Обґрунтовані моделі для виявлення причино-наслідкових зв'язків втрат, пов'язаних з небезпекою нітрату амонію та двома небезпечними умовами, які призвели до небезпечної події – вибуху у порту Бейрута, що дало змогу розробити правила поведінки з хімічними речовинами в організаціях.

Практична цінність. Розроблені рекомендації для запобігання можливості виникнення подібних небезпечних ситуацій у майбутньому.

Ключові слова: вибух, феєрверк, аміачна селітра, пожежа, управління ризиком, хімічна небезпека, небезпечна подія, «дерево подій», «дерево відмов», «ймовірність небезпеки», важкість наслідків.

*V. A. Tsopa¹, S. I. Cheberyachko², O. V. Deryugin²,
N. S. Sushko², O. V. Stanislavchuk³*

¹International Institute of Management, Kyiv, Ukraine

²Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

³Lviv State University of Life Safety, Lviv, Ukraine

ANALYSIS OF THE CAUSES OF THE AMMONIUM NITRATE EXPLOSION IN THE PORT OF BEIRUT

The purpose of the study is to analyse the causes of danger from ammonium nitrate and assess the level of risk of loss of life and health of people from a dangerous event (explosion of 2750 tons of ammonium nitrate in a warehouse in the port of Beirut) to develop appropriate preventive safety programs.

Materials and methods. The "Bowtie-Metalik" model is used to assess the professional risk of hazards, which is a schematic way of describing and analysing the ways of the development of a dangerous event from causes to consequences, a combination of "failure tree" and "event tree".

The results. A probable model of the analysis of the explosion of ammonium nitrate in the port of Beirut was developed, which revealed that the main cause of this event is indifference, which was manifested in: the selfishness of the ship owner, who did not provide the ship and the crew with the necessary resources for the safe transportation of ammonium nitrate and did not pay the port tax congregation in Beirut. Incompetence and negligence of the port managers regarding compliance with the requirements for safe storage of ammonium nitrate separately from fireworks, organization and control over the safety of welding works; the inaction of the government and the president, who were informed about the risk of an ammonium nitrate explosion. Recommendations for chemical hazard risk management have been developed, which provide that the following four decisions are possible in hazard risk management: 1) accept the hazard risk, that is, accept losses from this hazard; 2) not accept the risk of danger, that is, not to accept possible losses from this danger, for which it is possible: to transfer the risk (2), to refuse the risk (3) and to reduce the risk (4). Cause-and-effect relationships have been established between the danger (ammonium nitrate), the dangerous condition (increasing the temperature of ammonium nitrate above 210-350°C as a result of a fire and explosion caused by the ignition of fireworks, which led to the detonation of ammonium nitrate) and consequences (loss of life and health residents of Beirut, destruction of infrastructure, environmental pollution and political consequences).

Scientific novelty. Validated models to identify the cause-and-effect relationships between the losses associated with the ammonium nitrate hazard and the two hazardous conditions that led to the hazardous event - the explosion in Beirut, which allowed the development of rules for handling chemicals in organisations.

Practical value. Recommendations have been developed to prevent the possibility of similar dangerous situations occurring in the future.

Keywords: explosion, firework, ammonium nitrate, fire, risk management, chemical hazard, dangerous event, "tree of events", "tree of failures", "probability of danger", the severity of consequences.

Вступ. У світі виробляють, зберігають та транспортують понад 20 млн тонн нітрату амонію на рік, що потребує надійних захисних і запобіжних заходів для запобігання надзвичайним ситуаціям, оскільки він є складовим компонентом різних промислових вибухових речовин. Також аміачну селітру використовують або безпосередньо як азотне добриво, або як напівпродукт для виготовлення інших добрив. Щоб унеможливити утворення вибухових речовин на її основі, в добрива, які доступні у вільному продажу, додають крейду (карбонат кальцію) для зниження вибухонебезпечності та детонаційних властивостей чистої аміачної селітри. Попри те в Австралії, Китаї, Афганістані, Ірландії та деяких інших країнах вільний продаж аміачної селітри, навіть у вигляді добрив, заборонено або обмежено. Після терористичного акту, що стався 19.04.1995 р. у місті Оклахома-Сіті, в деяких штатах США було встановлено обмеження на продаж і зберігання аміачної селітри.

Також цю речовину широко використовують у гірничій галузі, змішуючи з різними видами вуглеводневих горючих матеріалів та інших вибухових речовин для утворення багатокомпонентних сумішей:

- з дизельним паливом (Ігданіт);
- з гідразином (Астролого);
- з водонаповненими промисловими вибуховими речовинами (Акванал, Акваніт та ін.);
- з іншими вибуховими речовинами (Амоніт, Детона та ін.);
- з алюмінієвою пудрою (Амонал).

У чистому вигляді аміачна селітра постується більшості вибухових речовин за

енергією вибуху, проте вибухи цієї речовини ставалися неодноразово і в результаті гинула велика кількість людей. Наприклад, внаслідок вибуху майже 4500 т нітрату амонію на заводі в м. Оппа в Німеччині у 1921 році загинуло понад 500 людей; в результаті вибуху понад 2000 тонн цієї речовини на борту корабля, пришвартованого в порту Галвестон-Бей штату Техас в США у 1947 році загинуло щонайменше 581 людина; життя 173 людей забрав вибух нітрату амонію та інших хімікатів, який стався 12 серпня 2015 року в порту Тяньцзінь на півночі Китаю.

Аміачна селітра має властивості окисника, але сама по собі не здатна займатися або вибухати. Під час тривалого її зберігання, вона здатна вбирати в себе горючі забруднювачі, які утворюють небезпечну суміш. Під впливом вибуху або тривалої дії високих температур аміачна селітра вибухає, а утворені продукти вибуху оксиди азоту і водяної пари, вивільнюються в атмосферу. Водяна пара не є токсичною, але це парниковий газ, який сприяє зміні клімату планети. Оксиди азоту в атмосфері є причиною утворення кислотних опадів, які негативно впливають на живі організми, спричиняючи опіки у рослин, змінюючи рН ґрунтів та води у водоймах, подразнюючи слизові оболонки дихальних шляхів, загострюючи респіраторні захворювання у людей. Завдяки тому, що оксид азоту здатний проникати глибоко у дихальні шляхи, він становить загрозу для людей, хворих на ядуху, а особливо – дітей. Крім цього, оксид азоту, потрапляючи в організм людини і контактуючи там з вологою, утворює азотисту і азотну кислоти, які роз'їдають стінки альвеол легень. В результаті

спровокованих оксидом азоту процесів виникає набряк легень, що може стати летальним для людини. Також оксид азоту сприяє зниженню опірності до захворювань, гіпоксії тканин, погіршення нюху, утрудненому диханню, і навіть за низьких його концентрацій (4 %) може призвести до затримки дихання.

Враховуючи сказане, вибухонебезпечність аміачної селітри потрібно обов'язково враховувати під час транспортування і зберігання, що вимагає проведення аналізу ризиків для обґрунтування запобіжних заходів та визначення правил керування небезпеками під час розробки відповідних безпекових програм поводження з небезпечними хімічними речовинами. Процес розслідування вибуху, що стався 4 серпня 2020 року в порту Бейрута, ще триває. У статті [1] описується процес реагування на надзвичайні ситуації у Бейруті. Також автори висвітлюють вплив вибуху на сектор охорони здоров'я в Лівані з описом рекомендацій щодо унеможливлення майбутніх катастроф. Ще в одному дослідженні [2] проаналізовано види травм, отриманих внаслідок цього вибуху, що дозволило запропонувати концепцію надання першої допомоги у разі виникнення подібних інцидентів. В її доповнення було опубліковано ще одну роботу [3], в якій наведено характеристику вибухових ушкоджень, їх важкість та особливості лікування для інформування екстрених служб, розробки стратегії боротьби з катастрофами, готовності лікарень і, як наслідок, покращення результатів для пацієнтів. В публікації [4] автори намагались зрозуміти причини руйнівного вибуху, намагаючись відтворити деталі у лабораторних умовах. Це дало змогу виявити механізм детонації вибухових речовин і отримати додаткові знання для розробки заходів безпеки щодо нітрату амонію. Також було проведено дослідження [5] з визначення рівня пошкодження вибухом висотних будівель на основі аналізу співвідношення «надлишковий тиск/відстань» для розробки шкали пошкоджень. В результаті розроблено рекомендації для застосування пожежними розрахунками з метою уникнення додаткових втрат як серед особового складу, так і серед населення.

У всіх згаданих вище публікаціях [1-5] і в оприлюднених звітах [8-12] наводиться хронологія подій, розкриваються причини вибухів, наслідки для інфраструктури порту, міста, політичної ситуації, наводяться характеристики травм та рекомендації щодо уникнення подібних ситуацій.

Однак, у наведених роботах відсутня інформація про встановлення причинно-наслідкових зв'язків між різними подіями, які в результаті призвели до виникнення надзвичайної ситуації. Крім того, важливо накопичений досвід з виявлених і описаних загроз та дій рятувальників використати для розробки рекомендацій із запобігання подібним ситуаціям в нашій державі.

Метою дослідження є аналіз причин виникнення небезпеки від нітрату амонію та оцінка рівня ризику втрати життя та здоров'я людей від небезпечної події (вибуху 2750 тонн нітрату амонію на складі в порту Бейруту) для розробки відповідних превентивних безпекових програм.

Матеріали і методи. Пропонується оцінку професійного ризику небезпек проводити на основі моделі "краватка-метелик" [13], яка являє собою схематичний спосіб опису і аналізу шляхів розвитку небезпечної події від причин до наслідків поєднанням «дерева відмов» і «дерева подій». Ця модель має чи не найпоширеніше застосування через її зручність і простоту представлення причинно-наслідкового зв'язку між небезпекою, небезпечною подією та наслідками. Причому її візуалізація допомагає наочно продемонструвати процес керування професійними ризиками шляхом визначення кількості бар'єрів (захисних чи запобіжних заходів), що встановлюються на шляху між небезпекою і небезпечною подією та наслідками. Причому її візуалізація допомагає наочно продемонструвати процес керування професійними ризиками шляхом визначення кількості бар'єрів (захисних чи запобіжних заходів), що встановлюються на шляху між небезпекою і небезпечною подією та наслідками. Кількість бар'єрів дає змогу, з одного боку, встановити кошторис запобіжних та захисних заходів з охорони праці, а з іншого – вплинути на ймовірність настання небезпечної події. Для визначення останньої застосовується принцип "As low as reasonably practicable" (ALARP), який базується на принципі, що залишковий рівень ризику має бути зменшений настільки, наскільки це практично можливо [3].

Особливістю представленої моделі (рис. 1) [14] є можливість врахування впливу всіх зовнішніх та внутрішніх небезпечних чинників, що збільшують ймовірність появи небезпечної події та (або) важкості наслідків в системі управління охороною здоров'я і безпекою праці (далі – СУОЗіБП) відповідно до вимог пункту 6.1 Міжнародного стандарту ISO 45001:2019, де вказується на необхідність аналізу небезпек внутрішнього та зовнішнього середовища організації.

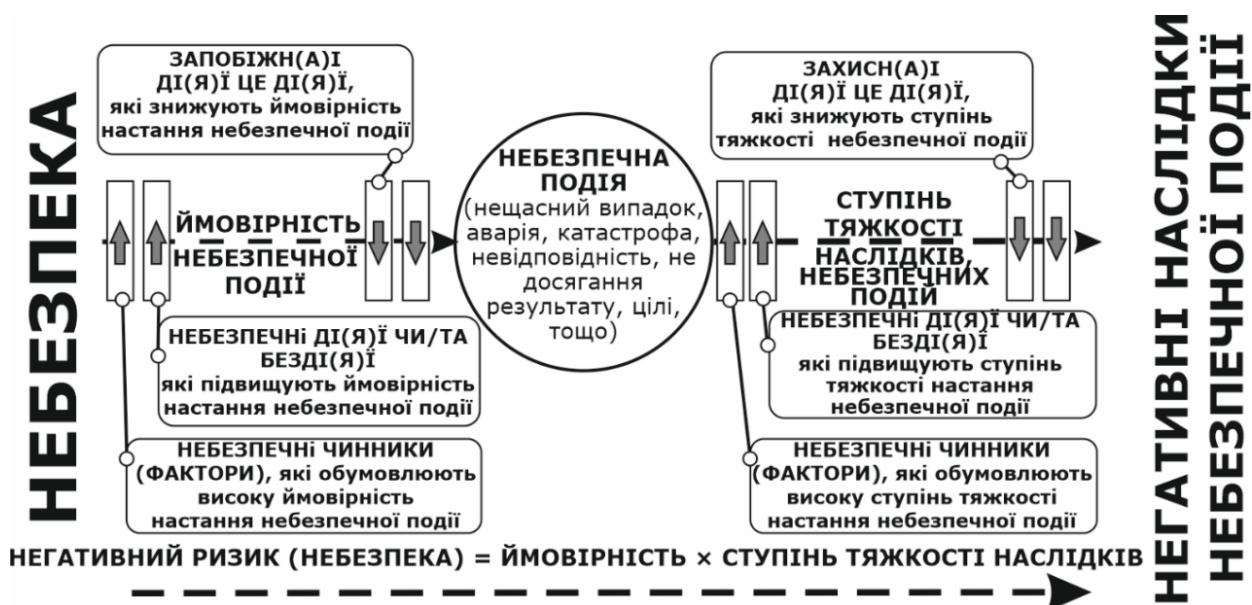


Рисунок 1 – Модель керування професійним ризиком за зміни чинників зовнішнього та внутрішнього середовища організації в часі [14]

Результати дослідження. 4 серпня 2020 року у порту Бейрута пролунали два потужні вибухи (рис. 2). Внаслідок першого вибуху утворилася хмара диму над полум'ям і мерехтливі вогні, схожі на

феєрверк. Другий вибух, що стався приблизно о 18:08:18 за місцевим часом, струсонув центральний Бейрут, підняв грибоподібну хмару пилу в повітря і спричинив сейсмічну хвилю магнітудою 3,3.



Рисунок 2 - Фото з Бейрута: перший вибух феєрверків (білий дим); другий вибух нітрату амонію (червоний дим) [15]

Вибухнули 2750 тонн нітрату амонію (аміачної селітри), які були конфісковані з судна «Rhosus» та шість років зберігались в порту без дотримання належних вимог безпеки. Відомо, що від вибуху, на місці ангару, де зберігалась аміачна селітра, утворився кратер діаметром близько 70 метрів, який заповнився водою і утворив озеро. До речі, його чітко видно навіть на супутникових

знімках. Повідомляється, що внаслідок вибухів загинули понад 200 осіб, ще близько 6 тисяч отримали поранення [16]. Крім того, зі знімків, відео, яке доступно в інтернеті, видно значні руйнування інфраструктури Бейрута, що вказує на значну кількість мешканців без житла. Цей висновок підтверджується словами губернатора Бейрута Марван Аббуд, який повідомив, що

збитки для міста, сягнули 15 млрд доларів [17]. За словами свідків люди, які перебували вдома на відстані 10 км від місця вибуху, отримали поранення від розбитого скла, каміння чи ударної хвилі, силу якої можна уявити, оскільки звук від вибуху було чути на відстані 240 км – на Кіпрі. Фахівці говорять, що потужність вибуху від 2750 кг нітрату амонію еквівалентна вибуху однієї кілотонни тротилу, порівнянні з потужністю вибуху атомної бомби (20 кілотонн тротилу), скинутої на Хіросіму це майже 5% [18].

Кілька днів забруднене оксидами азоту повітря в Бейруті становило небезпеку для здоров'я жителів, поки не розсіялося природним шляхом.

Виходячи з описаних вище подій можна у першому наближенні встановити причинно-наслідковий зв'язок між небезпекою – аміачна селітра, небезпечною подією – вибух і наслідками – втрата життя і здоров'я людей, фінансові збитки та руйнування будівель та інфраструктури міста, екологічне забруднення території (рис. 3). Це дасть змогу оцінити ризик виникнення небезпечної події, як добутку ймовірності настання небезпечної події та тяжкості втрат від неї.

Отже, виникає дві додаткові задачі. Перша – виявлення причинно-наслідкових зв'язків втрат, пов'язаних з судном «Rhosus» та його вантажем – нітратом амонію. Друга – формування бази статистичних даних про подібні випадки.



Рисунок 3 – Модель вибуху аміачної селітри від пожежі (авторська розробка)

Для вирішення першої задачі виникає необхідність у дослідженні історії судна «Rhosus». З відкритих джерел [19-21] з'ясовано, що у 2013 році у порту Батумі (Грузія) на судно було завантажено 2750 тонн аміачної селітри, яку воно мало доставити до Мозамбіку. Однак на шляху до Суецького каналу 21 листопада того ж року судно «Rhosus» отримало технічні ушкодження (проблеми з двигуном) і було змушене зайти в порт Бейрута. Там його перевірили портові чиновники, які виявили, що

судно старше 30 років і не може здійснювати перевезення таких вантажів, тим більше, що «Rhosus» не сплатив портові збори (табл. 1). Це стало причиною арешту судна (рис. 4), капітана, старшого механіка, третього механіка і боцмана.

Протягом двох років після арешту судно простояло неподалік складу в порту. У 2015 році його відбуксували на 300 метрів далі, де воно простояло ще три роки, а потім затонуло 18 лютого 2018 року через протікання.

Таблиця 1

Аналіз причинно-наслідкового зв'язку втрат, пов'язаних з судном «Rhosus» та його вантажем – нітратом амонію

№	Процес/ Діяльність	Місце Дата	Складові ризику			Оцінка рівня ризику	Власник ризику
			небезпека	небезпечна подія	наслідки		
1.	Завантаження на судно 2750 тон аміачної селітри та транспортування в Мозамбік	Судно «Rhosus» Батумі Грузія травень - липень 2013 р.	Аміачна селітра	Пожежа Вибух	Збитки Життя та здоров'я людей Екологія	Прийнятний з виконанням вимог до завантаження та транспортування вибухових речовин	Капітан судна «Rhosus»

Продовження таблиці 1

№	Процес/ Діяльність	Місце Дата	Складові ризику			Оцінка рівня ризиків	Власник ризиків
			небезпека	небезпечна подія	наслідки		
2.	Судно пройшло через Босфор з 2750 т аміачної селітри на борту	Судно «Rhosus» Море 2 липня 2013 р.	Аміачна селітра	Пожежа Вибух	Збитки Життя та здоров'я людей Екологія	Прийнятний з виконанням вимог до завантаження та транспортування вибухових речовин	Капітан судна «Rhosus»
3.	Власник судна намагався переконати капітана взяти в Бейруті додатковий вантаж – важку техніку з порушенням техніки безпеки, однак капітан відмовився.	Судно «Rhosus» Море Липень 2013 р.	Закриття люків вантажем	Пожежа Вибух Затоплення	Життя та здоров'я людей	Не прийнятний Необхідне виконання вимог безпеки під час евакуації моряків	Капітан судна «Rhosus»
4.	Судно «Rhosus» відбуксовують до порту Бейрута	Судно «Rhosus», порт Бейрута 21 листопада 2013 р.	Судно отримало технічні ушкодження	Судно під арештом	Втрата судна	Не прийнятний	Власник судна «Rhosus»

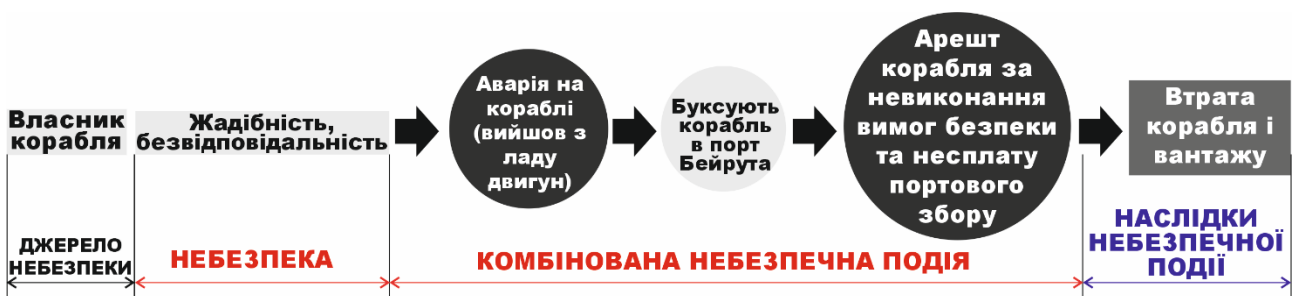


Рисунок 4 – Причинно-наслідковий зв'язок втрати судна та вантажу (авторська розробка)

Із заяви капітана стало відомо, що власник судна, оцінивши збитки, вирішив залишити собі кошти за перевезення нітрату амонію, а судно, вартість якого оцінювалась за ціною металобрухту, залишити Ліванській владі. У 2014 році рішенням суду вантаж судна було конфісковано, аміачну селітру перевантажили з судна до ангару в порту, де вона зберігалася разом з феєрверками. У 2015 році вантаж було проінспектовано експертом і визнано небезпечним. Крім того, митниця Лівану шість разів письмово зверталась до суду щодо вивезення вантажу з території порту, але суд так і не прийняв такого рішення.

Також митники відправляли запит на передачу вантажу армії, на який отримали відмову і пораду віддати його приватній компанії Lebanese Explosives Company, яка торгує вибухівкою. Ця компанія також відмовилася забрати нітрат амонію з порту. У наступні кілька років митники і спецслужби приблизно щопівроку зверталися до суду щодо вивезення вантажу з порту.

У січні 2020 року стало відомо, що 12-й ангар, де зберігалася селітра, є залишеним без охорони, одні з дверей в ньому вибиті, а в стіні є дірка. Це створювало ризики викрадення нітрату амонію і суддя почав офіційне розслідування. За результатами розслідування генпрокурор зажадав негайно закрити дірки і відремонтувати двері ангару, а також забезпечити його охорону.

4 серпня в ангарі почалися ремонтні роботи. Для цього керівництво порту залучило бригаду робітників-сирійців, безпеку проведення робіт якими ніхто з керівників не контролював.

Під час зварювальних робіт в ангарі іскри спричинили займання феєрверків, які там зберігалися, і пожежу. В результаті температура в ангарі перевищила 210 °С, що призвело до вибуху селітри (рис. 5).

В таблиці 2 наведено аналіз причинно-наслідкових зв'язку вибуху нітрату амонію.

Аналіз причинно-наслідкового зв'язку вибуху нітрату амонію

№	Процес/ Діяльність	Місце Дата	Складові ризику			Оцінка рівня ризиків	Власник ризиків
			небезпека	небезпечна подія	наслідки		
1.	Рішенням суду вантаж судна конфісковано, аміачна селітра перевантажена з судна до ангару 12	Порт Бейрута ангар 12, 2014 рік	Нітрат амонію	Пожежа Вибух	Матеріальні збитки. Життя та здоров'я людей. Екологія.	Неприйнятний ризик, оскільки порушені вимоги щодо умов зберігання нітрату амонію	Керівництво порту
2.	Митниця Лівану шість разів письмово зверталась до суду щодо вивезення вантажу з території порту, але суд так і не прийняв такого рішення	Порт Бейрута, ангар 12	Нітрат амонію	Пожежа Вибух	Матеріальні збитки. Життя та здоров'я людей. Екологія.	Неприйнятний ризик, оскільки порушені вимоги щодо умов зберігання нітрату амонію	Керівництво порту
3.	Відправлено запит на передачу вантажу армії та отримано відмову	Бейрут, ангар 12, 2015 р.	Нітрат амонію	Пожежа Вибух	Матеріальні збитки. Життя та здоров'я людей. Екологія.	Неприйнятний ризик, оскільки порушені вимоги щодо умов зберігання нітрату амонію	-
4.	Для ремонтних робіт керівництво порту залучило бригаду робітників-сирійців, безпеку проведення робіт яких ніхто з керівників не контролював. Під час зварювальних робіт в ангарі іскри спричинили займання феєрверків, які там зберігалися, і пожежу	Порт Бейрута, ангар 12 4 серпня 2020 року	Нітрат амонію	Сталася пожежа. Вибухнув нітрат амонію.	Матеріальні збитки: 3 млрд доларів. Загибло 200 осіб, поранено 7000. Екологія: забруднення повітря.	Ризик реалізувався	Керівництво порту
5.	Зварювальні роботи з порушенням правил безпеки	Порт Бейрута, ангар 12, 4 серпня 2020 року 18:08 год.	Дія іскор від зварювання на феєрверки	Пожежа внаслідок займання феєрверків	Матеріальні збитки: пошкодження ангару 12 від пожежі. Травмовано: можливі опіки 5 робітників. Екологія: забруднення повітря.	Ризик реалізувався 1 стадія	Керівництво порту

№	Процес/ Діяльність	Місце Дата	Складові ризику			Оцінка рівня ризик	Власник ризик
			небезпека	небезпечна подія	наслідки		
			Дія пожежі феєрверків	Перший, менший вибух феєрверкі в утворив хмару диму над полум'ям	Матеріальні збитки: зруйновано ангар 12 порту. Загинуло 5 осіб. Екологія: забруднення повітря	Ризик реалізувався 2 стадія	Керівництво порту
			Дія високої температур и та першого вибуху на нітрат амонію	Другий вибух, здетонував нітрат амонію від першого вибуху	Матеріальні збитки: 15 млрд доларів. Загинуло 200 осіб, травмовано 7000. Екологія: забруднення повітря, сейсмічна хвиля магнітудою 3,3.	Ризик реалізувався 3 стадія	Керівництво порту



Рисунок 5 – Причинно-наслідковий зв'язок вибухів в порту Бейрута (авторська розробка)

В результаті проведеного аналізу бачимо, що важкість наслідків є катастрофічною: влада Лівану оголосила Бейрут зоною лиха. Лікарні не справлялися з кількістю постраждалих і відмовлялися приймати поранених через переповненість. Крім того, на тлі події тисячі ліванців 7 серпня вийшли на антиурядовий мітинг

з вимогами реформ. Згодом він переріс у масові заворушення. Отже, і друга складова ризику є катастрофічною, оскільки нерозуміння всієї глибини наслідків змусило прем'єр-міністра Хасан Діабі та уряд Лівану піти у відставку.

В той самий час для оцінки ризику потрібно розуміти, яка частота виникнення надзвичайних

подій з аміачною селітрою. Можливо такі події є рідкістю і дійсно керівництво порту не могло адекватно оцінити ризики та вжити відповідних запобіжних заходів. Однак, навіть швидкий аналіз інцидентів з селітрою показав, що тільки з 2000-го року відбулося 12 аварійних ситуацій (табл. 3), що ніяк не може бути віднесено до низької чи помірної частоти прояву події. Ретельний аналіз літературних джерел [12, 22] підтвердив, що кількість таких інцидентів з 1916 року становить

34 випадки, в яких понад 2230 осіб загинуло та понад 19492 поранено. Отже, ймовірність події з вибухом аміачної селітри досить висока і рівень ризику є неприйнятним. Це потребує розробки відповідної концепції з його керування та запровадження запобіжних заходів. Тому, щоб такі трагедії більше не траплялися в Україні, необхідно запровадити керування ризиками хімічних небезпек (табл. 4), які є основою для розробки безпекових програм.

Таблиця 3

Вибірковий перелік пожеж та вибухів під час зберігання і транспортування аміачної селітри

Місце і дата події	Процес/ виробнича діяльність	Складники реалізованого ризику небезпеки			
		наявність небезпеки	виникнення небезпечної умови - вибух аміачної селітри	реалізація небезпечної події	наслідки: загинуло/травмовано
Франція, Тулуза, 21.09.2001 р.	Зберігання	Аміачна селітра, 300 т	Не виявлено	Вибух	31/2442
Примітка. На заводі добрив AZF, на складі, де зберігали гранульовану аміачну селітру, стався вибух. Вибухнуло близько 200–300 т, унаслідок чого 31 людина загинула та 2442 поранено, 34 з них серйозно.					
Іспанія, Картахена, Мурсія, січень 2003 р.	Зберігання	Аміачна селітра, 2000 т	Вогонь, температура нижче за 210 °С	Пожежа, вибуху не було	0
Примітка. У сховищі Fertiberia сталася пожежа. Вогонь загасили після того, як більшість матеріалів було видалено у механічний спосіб.					
Франція, Сен-Роменан-Ярез, 2.10.2003 р.	Зберігання	Аміачна селітра, 5т	Вогонь, температура нижче за 210 °С	Вибух	0/26
Примітка. Вибух в ангарі, де були навантажувач на бензині, зарядний пристрій, дві 13-кілограмові ємності з бензином, інша сільськогосподарська техніка, 500 кг негашеного вапна, 500 дерев'яних ящиків, 6000-7000 пластикових ящиків.					
Іспанія, Барракас, 9.03.2004 р.	Транспортування вантажним авто	Аміачна селітра, 25 т	ДТП, пожежа, температура понад 210 °С	Вибух	2/25
Примітка. Вантажівка, що перевозила 25 т аміачної селітри, вибухнула через пів години після ДТП, загинуло 2 особи та 5 травмовано.					
Іспанія, Estaca de Bares, 2007 р.	Транспортування вантажним судном	Аміачна селітра, 400 т	Вогонь, температура нижче за 210 °С	Пожежа	0
Примітка. Вантаж мінеральних добрив NPK на кораблі Ostedijk був під впливом вогню протягом 11 днів. Судно перевозило 6012 т NPK					
Китай, порт Тяньцзін, 12.08.2015 р.	Зберігання	Аміачна селітра, 5 т	Вогонь, температура нижче ніж 210 °С	Вибухи	173/798
Примітка. Нітроцелюлоза, що зберігалася на складі, самозайнялася через спеку та посуху, унаслідок чого через 40 хв. пожежа спричинила детонацію близько 800 т аміачної селітри, що зберігалася поблизу.					

Дискусія. Розроблені рекомендації з керування ризиками хімічних небезпек, які передбачають, що в керуванні ризиком небезпеки можливі такі чотири рішення: прийняти ризик небезпеки, тобто прийняти втрати від цієї небезпеки (1); не прийняти ризик небезпеки, тобто не прийняти можливі втрати від цієї небезпеки (2), для чого можливо: передати ризик (2), відмовитися від ризику (3) та знизити ризик

(4), а також готовність до їх виникнення та можливих наслідків. Однак, як показав проведений аналіз, влада Лівану не була готова до наслідків вибуху. Найбільше допомоги надав Європейський союз – понад 17 тонн гуманітарних вантажів [23]. Вже під час першого повітряного рейсу, який відбувся 13 серпня, через 9 днів, транспортним літаком була перевезена значна кількість медичного обладнання. Причому надана

гуманітарна допомога була призначена не тільки для полегшення доступу населення до медичного обслуговування через руйнівні вибухи, а й для боротьби з пандемією коронавірусу, який тільки почав свій «страшний» шлях. Всесвітня організація охорони здоров'я Міжнародне співтовариство також одна з перших надала країні допомогу. Причому Європейський союз виділив більш ніж на 250 млн. євро на ліквідацію

наслідків та підтримку мешканців Бейрута, хоча основою умовою для їх передачі повинні стати глибокі економічні реформи, включаючи питання безпеки праці та здоров'я людей [24]. Також до надання допомоги долучилась значна кількість різних приватних осіб, які відправляли як медикаменти, їжу, так і самостійно брали участь в організації медичних закладів для лікування важкопоранених [25].

Таблиця 4

Рекомендації з керування ризиками небезпек хімічних речовин

№	Правило
Правило 1	«Небезпека в конкретному місці простору з часом переходить з ймовірністю (частотою) в небезпечну подію, небезпечна подія призводить до втрат різного ступеня важкості, в результаті чого утворюється причинно-наслідковий зв'язок: небезпека-небезпечна подія-наслідки (втрати)».
Правило 2	«Небезпеки виникають в просторі та часі постійно, існують та навіть іноді зникають, тому потрібно керувати ризиками цих небезпек. Для цього небезпеки необхідно постійно виявляти (ідентифікувати) та оцінювати їх ризики, і коли ці ризики є неприйнятними, робити дії з їх зниження до прийнятного рівня».
Правило 3	«Небезпеки переміщуються в просторі та часі: виникають в минулому, теперішньому, майбутньому часі та протягом усього життєвого циклу не тільки щодо продукції, але й діяльності компаній, і в якійсь точці простору та часу переходять в небезпечну подію, що призводить до втрат».
Правило 4	«У кожній небезпеці може змінюватися рівень ризику в часі та просторі через підвищення чи зменшення ймовірності (частоти) небезпечної події та/або ступеня важкості наслідків небезпечної події».
Правило 5	«Небезпеки створюють джерела: природні та людський (керівники та робітники) чинники, при цьому природа створює найменшу кількість, а керівники найбільшу кількість небезпек».
Правило 6	«Небезпеки виникають більше внаслідок помилок діяльності та бездіяльності власників та керівників компаній»
Правило 7	«Керівники та власники створюють небезпеки своїми помилками при прийнятті рішень чи просто бездіяльності на основі їх байдужості до втрат, що є наслідком: 1) некомпетентності керівників та власників – не розуміння керування ризиками небезпек; 2) недбалості керівників та власників – нехтування відповідністю та вимогами щодо керування ризиками небезпек; 3) користолюбства керівників та власників – на угоду собі заробити більше грошей, зазвичай, не на виконанні відповідності та керуванні ризиками небезпек.
Правило 8	«Рівень ризику небезпек не може бути великий, середній чи низький, він може бути тільки прийнятним чи неприйнятним».
Правило 9	«В керуванні ризиком небезпеки можливі такі чотири рішення: 1. прийняти ризик (1) небезпеки, тобто прийняти втрати від цієї небезпеки; 2. не прийняти ризик небезпеки, тобто не прийняти можливі втрати від цієї небезпеки, для чого можливо: передати ризик (2), відмовитися від ризику (3) та знизити ризик (4).
Правило 10	«Ризик небезпеки є мірою можливих втрат від цієї небезпеки, які вимірюються ймовірністю (частотою) настання небезпечної події та ступенем тяжкості втрат від цієї небезпечної події».

Як показує проведений аналіз, працівники митниці розуміли небезпеку від зберігання селітри і наступним їх рішенням було не прийняти ризик небезпеки, а передати його, щоб хтось інший ним займався. Вони декілька разів намагались передати її іншим, стороннім організаціям, включаючи й армію, але, на жаль, ніхто не взяв на себе відповідальність і не вивіз аміачну селітру з порту.

Рішення щодо зниження ризику, на жаль, є доволі затратним і, як показав аналіз, ні керівники порту, ні влада не знайшли коштів для забезпечення відповідних запобіжних заходів, які б значно

знизили рівень ризику. Крім того, були виявлені значні порушення при проведенні зварювальних робіт, що говорить про відсутність усвідомлення керівництва порту всієї складності ситуації. Влада Лівану поклала провину за вибух на керівництво порту, яке залишило робітників без нагляду за безпекою ремонтних робіт, а також зберігало феєрверки в одному ангарі з вибухонебезпечними хімікатами, що заборонено вимогами умов безпечного зберігання нітрату амонію. До відповідальності притягнуто 18 осіб [26].

Щодо загальних рекомендацій зі зниження ризику, то ще у 2013 р. співробітники Sandia

National Laboratories [27] повідомили про розробку безпечної та ефективної сполуки на основі суміші аміачної селітри із сульфатом заліза. Ця суміш не здатна створювати вибухових речовин: під час розкладання сполуки іон SO_4^{2-} зв'язується з іоном амонію, а іон заліза – з нітрат-іоном, що запобігає вибуху в разі пожежі та детонації. Додавання до складу добрива сульфату заліза поліпшує і технологічні характеристики добрива, особливо на кислих ґрунтах. Автори відмовилися від захисту формули добрива патентом, щоб ця сполука могла отримати швидке поширення у світі і аміачна селітра перестала бути загрозою виникнення пожеж та вибухів під час транспортування і зберігання та не могла послужитися вибухівкою для терористів.

Висновки

1. Розроблено ймовірнісну модель вибуху аміачної селітри в порту Бейрута, яка дала змогу виявити, що основною причиною вибуху аміачної селітри в порту Бейрута є байдужість, яка проявилася у: користолюбстві власника судна, який не забезпечив потрібними ресурсами для перевезення аміачної селітри судно і команду та не сплатив портового збору в Бейруті; некомпетентності й недбалості керівників порту стосовно виконання вимог безпечного зберігання аміачної селітри окремо від феєрверків, організації та контролю за безпекою виконання зварювальних робіт; бездіяльності уряду та президента, які були поінформовані про ризик вибуху аміачної селітри.

2. Розроблені рекомендації з керування ризиками хімічних небезпек, які передбачають, що в керуванні ризиком небезпеки можливі такі чотири рішення: прийняти ризик небезпеки й прийняти втрати від цієї небезпеки (1); не прийняти ризик небезпеки й не прийняти можливі втрати від цієї небезпеки (2), для чого можливо: передати ризик (2), відмовитися від ризику (3) та знизити ризик (4).

3. Встановлено причинно-наслідкові взаємозв'язки між небезпекою (нітратом амонію), небезпечною умовою (підвищення температури аміачної селітри вище $210\text{--}350^\circ\text{C}$ внаслідок пожежі та вибуху, спричинених займанням феєрверків, що призвело до детонації аміачної селітри) та наслідками (втрата життя та здоров'я мешканців Бейрута, руйнування інфраструктури, забруднення навколишнього середовища та політичні наслідки).

4. Розроблені рекомендації із запобігання виникненню подібних небезпечних ситуацій з хімічними речовинами у майбутньому, які включають десять основних правил, спрямованих на формування відповідального ставлення працівників до небезпек під час їхньої взаємодії, також вимоги до керівників організацій щодо управління ризиком.

Список літератури:

1. Mazen J. El. Sayed Beirut Ammonium Nitrate Explosion: A Man-Made Disaster in Times of the COVID-19 Pandemic. *Disaster Med Public Health Prep.* 2022 Jun;16 (3):1203-1207. doi: 10.1017/dmp.2020.451. (Дата звернення: 07.04.2023).
2. Kaissar Y., Daher J., Otayek J. and other. Beirut massive blast explosion: A unique injury pattern of the wounded population. *Injury.* 2023 Feb;54(2):448-452. doi: 10.1016/j.injury.2022.11.021. Epub 2022 Nov 9. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36414502/> (Дата звернення: 07.04.2023).
3. Al-Hajj S., Farran S. H., Zgheib H., Tfailly M. A. and other. The Beirut ammonium nitrate blast: A multicenter study to assess injury characteristics and outcomes. *Multicenter Study J Trauma Acute Care Surg.* 2023 Feb 1;94(2):328-335. doi: 10.1097/TA.0000000000003745. Epub 2022 Aug 24. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35999664/> (Дата звернення: 07.04.2023).
4. Pasman H. J., Fouchier Ch., Park S., Quddus N. Delphine Laboureur Beirut ammonium nitrate explosion: Are not we really learning anything? doi: 10.1002/prs.12203 (Дата звернення: 07.04.2023).
5. Ivanov M. L., Chow W. K. Tall buildings damage in Beirut ammonium nitrate explosion. *Shock Waves* 33, 75–80 (2023). doi: 10.1007/s00193-022-01112-3. (Дата звернення: 07.04.2023).
6. Gibbens, S. The deadly history of ammonium nitrate, the explosive linked to the Beirut blast. Retrieved August 6, 2020. URL: <https://www.nationalgeographic.com/science/2020/08/deadly-history-ammonium-nitrate-explosive-linked-to-beirut-blast> (Дата звернення: 07.04.2023).
7. Samar A., Dhaini H. R., Stefania M., Haytham K., Firas K., & DePalma R. G. Beirut Ammonium Nitrate Blast: Analysis, Review, and Recommendations. *Frontiers in Public Health*, 9. doi:10.3389/fpubh.2021.657996.
8. Guglielmi G. Why Beirut's ammonium nitrate blast was so devastating. doi: 10.1038/d41586-020-02361-x.
9. Higgs D. Beirut 'one of biggest non-nuclear blasts'. Retrieved August 6, 2020. URL: <https://www.hepburnadvocate.com.au/story/6866394/beirut-one-of-biggest-non-nuclear-blasts/#:~:text=a%20conventional%20weapon.-,Professor%20Andy%20Tyas%20C%20an%20expert%20on%20blast%20protection%20engineering%20at,we%20think%20the%20explosion%20is> (Дата звернення: 07.04.2023).
10. John T., Macaya M., Hayes M., Rocha V., Wagner M., Berlinger J. and other. Beirut explosion rocks Lebanon's capital city. Retrieved August 6, 2020. URL: edition.cnn.com/middleeast/live-news/lebanon-beirut-explosion-live-updates-dle-intl/h_3891a1125d747fc58e9ae75892122257 (Дата звернення: 07.04.2023).

11. Statista. Deadliest ammonium nitrate explosions worldwide from 1921 to 2020. Retrieved January 27, 2021. URL: <https://www.statista.com/statistics/1155613/global-deadliest-ammonium-nitrate-explosions/#:~:text=The%20deadliest%20accidental%20ammonium%20nitrate,4%2C%202020%20amounted%20to%20157> (Дата звернення: 07.04.2023).
12. International Medical Corps. Beirut explosion situation report #4. Retrieved September 12, 2020. URL: <https://reliefweb.int/report/lebanon/beirut-explosion-situation-report-4-august-25-2020> (Дата звернення: 07.04.2023).
13. International Medical Corps. Beirut Explosion Situation Report #6. Retrieved January 27, 2021, URL: <https://reliefweb.int/report/lebanon/beirut-explosion-situation-report-6-september-22-2020> (Дата звернення: 07.04.2023).
14. Цопа В.А., Чеберячко С.І., Яворська О.О., Дерюгін О.В., Білько Т.О. Удосконалення процесу керування професійними ризиками за матрицею Хеддона. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 2, 105-112, (2023), <https://doi.org/10.33271/nvngu/2023-2/105>
15. Beirut, tremenda esplosione nella zona del porto [Електронний ресурс]: документальне відео // You Tube. Umbria one. – URL: https://www.youtube.com/watch?v=WCIl06DfdQs&t=3s&ab_channel=UmbriaOn. - Назва з екрану. – Дата публікації: 04.08.2020. – Дата перегляду: 07.04.2023.
16. Ali T., Abouleish M., Gawai R. and other. Ammonium nitrate explosion at the main port in Beirut (Lebanon) and air pollution: an analysis of the spatiotemporal distribution of nitrogen dioxide. *Euro-Mediterr J Environ Integr* 7, 21-27 (2022). doi: 10.1007/s41207-022-00296-5.
17. Yu G., Wang Y. and other. Comprehensive study on the catastrophic explosion of ammonium nitrate stored in the warehouse of Beirut port. *Process Safety and Environmental Protection* 152, 201-219 (2021). doi: 10.1016/j.psep.2021.05.030.
18. Orion, A. On the Brink of Escalation: The UNIFIL Mandate Renewal Is a Victim of the Beirut Explosion [Електронний ресурс] // The Institute for National Security Studies. - URL: <https://www.inss.org.il/publication/unifil-mandate-renewal/>. - Назва з екрану. - Дата публікації: 13.09.2020. - Дата перегляду: 07.04.2023.
19. Khan R.U., Yin J., Mustafa F.S., Farea A.O.A. A data centered human factor analysis approach for hazardous cargo accidents in a port environment. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 75, 104-111 (2022). doi: 10.1016/j.jlp.2021.104711.
20. Nassar K.C., Nastacă C.C. The Beirut Port Explosion: Social, Urban And Economic Impact. *Theoretical and Empirical Researches in Urban Management* 16, 3, 42-52, (2021). URL: <https://www.proquest.com/docview/2560892345> (Дата звернення: 07.04.2023).
21. Landry M.D., Alameddine M., Jesus T.S. et al. The 2020 blast in the Port of Beirut: can the Lebanese health system “build back better”? *BMC Health Serv Res* 20, 1040 (2020). doi:10.1186/s12913-020-05906-y.
22. Mizutori M. Reflections on the Sendai Framework for Disaster Risk Reduction: Five Years Since Its Adoption. *Int J Disaster Risk Sci* 11, 147-151 (2020). doi: 10.1007/s13753-020-00261-2.
23. A New Season of Unrest in Lebanon [Електронний ресурс] // The Armed Conflict Location & Event Data Project (ACLED). - URL: <https://acleddata.com/2021/05/12/a-new-season-of-unrest-in-lebanon/>. - Назва з екрану. - Дата публікації: 12.05.2021. - Дата перегляду: 07.04.2023.
24. Avoiding Further Polarisation in Lebanon [Електронний ресурс] // International Crisis Group. - Режим доступу: <https://www.crisisgroup.org/middle-east-north-africa/eastern-mediterranean/lebanon/b81-avoiding-further-polarisation-lebanon>. - Назва з екрану. - Дата публікації: 10.11.2020. - Дата перегляду: 07.04.2023.
25. Zhao J.-Q., Cheng Y.-C., Hou H.-Y., Chen W.-C. Applications of intrinsic safety characteristic parameters of propellant dust: Commercial multi-tube pyrotechnic hazard assessment. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 69, 104381 (2021). doi: 10.1016/j.jlp.2020.104381.
26. Al-Hajj S., Dhaini H.R., Mondello S., Kaafarani H., Kobeissy F., DePalma, R.G. Beirut Ammonium Nitrate Blast: Analysis, Review, and Recommendations. *Frontiers in public health* 9, 657996 (2021). doi: 10.3389/fpubh.2021.657996.
27. Salem N. Fertilizer that fizzles in a homemade bomb could save lives around the world (2013) https://newsreleases.sandia.gov/ied_fertilizer/ (дата звернення 04.05.2023)

References:

1. Mazen J. El. Sayed Beirut Ammonium Nitrate Explosion: A Man-Made Disaster in Times of the COVID-19 Pandemic. *Disaster Med Public Health Prep.* 2022 Jun;16 (3):1203-1207. doi: 10.1017/dmp.2020.451. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33203497/> [accessed 2023-04-07]
2. Kaissar Y., Daher J., Otayek J. and other. Beirut massive blast explosion: A unique injury pattern of the wounded population. *Injury.* 2023 Feb;54(2):448-452. doi: 10.1016/j.injury.2022.11.021. Epub 2022 Nov 9. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36414502/> [accessed 2023-04-07]

3. Al-Hajj S., Farran S. H., Zgheib H., Tfaily M. A. and other. The Beirut ammonium nitrate blast: A multicenter study to assess injury characteristics and outcomes. *Multicenter Study J Trauma Acute Care Surg.* 2023 Feb 1;94(2):328-335. doi: 10.1097/TA.0000000000003745. Epub 2022 Aug 24. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35999664/> [accessed 2023-04-07]
4. Pasman H. J., Fouchier Ch., Park S., Qudus N. Delphine Laboureur Beirut ammonium nitrate explosion: Are not we really learning anything? doi.org: 10.1002/prs.12203 URL: <https://aiche.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/prs.12203> [accessed 2023-04-07]
5. Ivanov M. L., Chow W. K. Tall buildings damage in Beirut ammonium nitrate explosion. *Shock Waves* 33, 75–80 (2023). doi: 10.1007/s00193-022-01112-3. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00193-022-01112-3> [accessed 2023-04-07]
6. Gibbens, S. (2020). The deadly history of ammonium nitrate, the explosive linked to the Beirut blast. Retrieved August 6, 2020, from <https://www.nationalgeographic.com/science/2020/08/deadly-history-ammonium-nitrate-explosive-linked-to-beirut-blast>
7. Samar, A., Dhaini, H. R., Stefania, M., Haytham, K., Firas, K., & DePalma, R. G. (2021). Beirut Ammonium Nitrate Blast: Analysis, Review, and Recommendations. *Frontiers in Public Health*, 9. doi: 10.3389/fpubh.2021.657996
8. Guglielmi, G. (2020). Why Beirut's ammonium nitrate blast was so devastating. <https://doi.org/10.1038/d41586-020-02361-x>
9. Higgins, D. (2020). Beirut 'one of biggest non-nuclear blasts'. Retrieved August 6, 2020, from <https://www.hepburnadvocate.com.au/story/6866394/beirut-one-of-biggest-non-nuclear-blasts/#:~:text=a%20conventional%20weapon.-,Professor%20Andy%20Tyas%20C%20an%20expert%20on%20blast%20protection%20engineering%20at,we%20think%20the%20explosion%20is>
10. John, T., Macaya, M., Hayes, M., Rocha, V., Wagner, M., Berlinger, J. Upright, E. (2020). Beirut explosion rocks Lebanon's capital city. Retrieved August 6, 2020, from: https://edition.cnn.com/middleeast/live-news/lebanon-beirut-explosion-live-updates-dle-intl/h_3891a1125d747fc58e9ae75892122257
11. Statista (2020). Deadliest ammonium nitrate explosions worldwide from 1921 to 2020. Retrieved January 27, 2021, from: <https://www.statista.com/statistics/1155613/global-deadliest-ammonium-nitrate-explosions/#:~:text=The%20deadliest%20accidental%20ammonium%20nitrate,4%20C%202020%20amounted%20to%20157>
12. International Medical Corps (2020). Beirut explosion situation report #4. Retrieved September 12, 2020, from: <https://reliefweb.int/report/lebanon/beirut-explosion-situation-report-4-august-25-2020>
13. International Medical Corps (2020). Beirut Explosion Situation Report #6. Retrieved January 27, 2021, from: <https://reliefweb.int/report/lebanon/beirut-explosion-situation-report-6-september-22-2020>
14. Tsopa V.A., Cheberyachko S.I. and other (2023). Improvement of the professional risk management process according to Haddon's matrix. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 2, 105-112. doi:10.33271/nvngu/2023-2/105
15. Beirut, tremenda esplosione nella zona del porto. You Tube. Umbria one. – URL: https://www.youtube.com/watch?v=WCIIo6DfdQs&t=3s&ab_channel=UmbriaOn. [accessed 2016-10-03]
16. Ali T., Abouleish M., Gawai R. and other. Ammonium nitrate explosion at the main port in Beirut (Lebanon) and air pollution: an analysis of the spatiotemporal distribution of nitrogen dioxide. *Euro-Mediterr J Environ Integr* 7, 21-27 (2022). doi:10.1007/s41207-022-00296-5.
17. Yu G., Wang Y. and other. Comprehensive study on the catastrophic explosion of ammonium nitrate stored in the warehouse of Beirut port. *Process Safety and Environmental Protection* 152, 201-219 (2021). doi: 10.1016/j.psep.2021.05.030.
18. Orion, A. On the Brink of Escalation: The UNIFIL Mandate Renewal Is a Victim of the Beirut Explosion // The Institute for National Security Studies. - Retrieved from: <https://www.inss.org.il/publication/unifil-mandate-renewal/>. Publication date: 13.09.2020. [accessed 2023-04-07]
19. Khan R.U., Yin J., Mustafa F.S., Farea A.O.A. A data centered human factor analysis approach for hazardous cargo accidents in a port environment. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 75, 104-111 (2022). doi: 10.1016/j.jlp.2021.104711.
20. Nassar K.C., Nastacă C.C. The Beirut Port Explosion: Social, Urban And Economic Impact. *Theoretical and Empirical Researches in Urban Management* 16, 3, 42-52, (2021). Retrieved from: <https://www.proquest.com/docview/2560892345>. [accessed 2023-04-07]
21. Landry M.D., Alameddine M., Jesus T.S. et al. The 2020 blast in the Port of Beirut: can the Lebanese health system “build back better”? *BMC Health Serv Res* 20, 1040 (2020). doi:10.1186/s12913-020-05906-y.
22. Mizutori M. Reflections on the Sendai Framework for Disaster Risk Reduction: Five Years

Since Its Adoption. *Int J Disaster Risk Sci* 11, 147-151 (2020). doi: 10.1007/s13753-020-00261-2.

23. A New Season of Unrest in Lebanon // The Armed Conflict Location & Event Data Project (ACLED). - URL: <https://acleddata.com/2021/05/12/a-new-season-of-unrest-in-lebanon/>. - Publication date: 12.05.2021. [accessed 2023-04-07]

24. Avoiding Further Polarisation in Lebanon // International Crisis Group. URL: <https://www.crisisgroup.org/middle-east-north-africa/eastern-mediterranean/lebanon/b81-avoiding-further-polarisation-lebanon>. Publication date: 10.11.2020. - [accessed 2023-04-07]

25. Zhao J.-Q., Cheng Y.-C., Hou H.-Y., Chen W.-C. Applications of intrinsic safety characteristic parameters of propellant dust: Commercial multi-tube pyrotechnic hazard assessment. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 69, 104381 (2021). doi: 10.1016/j.jlp.2020.104381

26. Al-Hajj S., Dhaini H.R., Mondello S., Kaafarani H., Kobeissy F., DePalma, R.G. Beirut Ammonium Nitrate Blast: Analysis, Review, and Recommendations. *Frontiers in public health* 9, 657996 (2021). doi: 10.3389/fpubh.2021.657996.

27. Salem N. Fertilizer that fizzles in a homemade bomb could save lives around the world (2013) https://newsreleases.sandia.gov/ied_fertilizer/ (accessed 2023-05-04)

© В. А. Цопа, С. І. Чеберячко, О. В. Дерюгін
Н. С. Сушко, О. В. Станіславчук, 2023.

Науково-методична стаття.

Надійшла до редакції 20.04.2023.

Прийнято до публікації 18.05.2023.