

**ЛЬВІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БЕЗПЕКИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ**

**Збірник наукових праць
II Міжнародної
науково-практичної конференції**

**БІОЛОГІЧНІ, ХІМІЧНІ ТА
ЕКОЛОГІЧНІ ЗАГРОЗИ
В УМОВАХ ВІЙНИ**

Львів 2026

Біологічні, хімічні та екологічні загрози в умовах війни: Зб. наук. праць II Міжнародної науково-практичної конференції. – Львів: ЛДУБЖД, 2026. – 459 с.

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ

Дмитро БОНДАР

д.ю.н., доцент, Заслужений працівник цивільного захисту України, генерал-майор служби цивільного захисту, ректор Львівського державного університету безпеки життєдіяльності;

Василь ПОПОВИЧ

д.т.н., професор, проректор з наукової роботи Львівського державного університету безпеки життєдіяльності;

Вікторія СЕРГІЄНКО

д.м.н., професор, проректор з наукової роботи ДНТ «Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького»;

Наталія ІВАНЧЕНКО

генеральний директор ДУ "Львівський обласний центр контролю та профілактики хвороб Міністерства охорони здоров'я України";

Ярослав ІЛЬЧИШИН

к.пед.н., начальник науково-дослідного центру Львівського державного університету безпеки життєдіяльності;

Юрій КОПИСТИНСЬКИЙ

к.т.н., начальник докторантури-ад'юнктури Львівського державного університету безпеки життєдіяльності;

Катерина СТЕПОВА

к.т.н., доцент, старший науковий співробітник відділу організації науково-дослідної діяльності науково-дослідного центру

Ярослав КИРИЛІВ

Львівського державного університету безпеки життєдіяльності; к.т.н., ст.н.с., провідний науковий співробітник відділу організації

Ірина ФЕДІВ

науково-дослідної діяльності науково-дослідного центру Львівського державного університету безпеки життєдіяльності;

Тетяна СКИБА

доктор філософії (PhD), головний науковий співробітник відділу науково-редакційної діяльності науково-дослідного центру

Олександра ЖОРНА

Львівського державного університету безпеки життєдіяльності; доктор філософії (PhD), науковий співробітник відділу науково-

Дмитро ЛОБОДА

редакційної діяльності науково-дослідного центру Львівського державного університету безпеки життєдіяльності;

фахівець відділу міжнародного співробітництва Львівського державного університету безпеки життєдіяльності;

ад'юнкт денної форми навчання докторантури-ад'юнктури

Львівського державного університету безпеки життєдіяльності.

Збірник базується на наукових матеріалах II Міжнародної науково-практичної конференції «Біологічні, хімічні та екологічні загрози в умовах війни».

Матеріали, представлені у збірнику, відображають власну наукову позицію авторів. Автори несуть повну відповідальність за достовірність фактів, цитат, економічних і статистичних даних, наукової термінології, власних назв та наведених посилань.

Д. Г. Трегубов, В. М. Нуянзін

НЕБЕЗПЕКИ СУМІШЕЙ АМОНІЙНОЇ СЕЛІТРИ
АГРОПРИЗНАЧЕННЯ..... 355

І. Мартинов

РИЗИКИ ТА ЗАГРОЗИ ВИКОРИСТАННЯ
ФІТОТОКСИКАНТІВ У ВОЄННИЙ ЧАС..... 360

М. А. Чиркіна-Харламова, Д. Г. Трегубов,

О. В. Сергієнко

НАПРЯМКИ ЗНЕШКОДЖЕННЯ АВАРІЙНИХ
ВИКИДІВ СТІЧНИХ ВОД..... 364

О. В. Кулаков

ОПТИМІЗАЦІЯ ШВИДКОСТІ ХІМІЧНОЇ
НЕЙТРАЛІЗАЦІЇ ХЛОРУ ПРИ ЛІКВІДАЦІЇ
НАДЗВИЧАЙНОЇ СИТУАЦІЇ..... 369

О. О. Кіреєв

НОВІ ЗАСОБИ ЛОКАЛІЗАЦІЇ ХІМІЧНИХ АВАРІЙ ІЗ
РОЗЛИВОМ ТОКСИЧНИХ РІДИН..... 373

О. Ю. Шломін, О. П. Гончарук, О. О. Мойко

ХІМІЧНІ ТА ЕКОЛОГІЧНІ ЗАГРОЗИ В УМОВАХ
ВІЙНИ: ВИКЛИКИ ДЛЯ ГРОМАДСЬКОЇ БЕЗПЕКИ
ОХТИРСЬКОЇ ГРОМАДИ..... 377

С. М. Козуб, Н. М. Чаленко

ХІМІЧНІ ЗАГРОЗИ В УМОВАХ ВОЄННИХ ДІЙ:
ЕКОЛОГІЧНІ ТА МЕДИКО-СОЦІАЛЬНІ
НАСЛІДКИ..... 380

УДК 614.833

НЕБЕЗПЕКИ СУМІШЕЙ АМОНІЙНОЇ СЕЛІТРИ АГРОПРИЗНАЧЕННЯ

*Д. Г. Трегубов, д. т. н., доцент, Національний університет
цивільного захисту України*

*В. М. Нуянзін, к. т. н., доцент, Національний університет
цивільного захисту України*

Амонійна селітра під час зберігання дає два типи пов'язаних небезпек – виділення токсичного NO₂ за розкладання і ймовірність вибуху. Питання прогнозування вибуху селітри агропризначення є актуальним, бо такі події трапляються відносно часто, у тому числі як теракти. Найбільш відомими є вибух судна з селітрою у Бейруті, Ливан, у 2020 р. та агросуміші на її основі в Оппау, Німеччина, у 1921 р. У першому випадку ініціатором стала пожежа, у другому – технологічний подрібнюючий вибух для злежалого продукту.

Чинником вибуховості селітри є позитивний окисген-баланс молекули, тому вона має властивості окисника [1]. Схильність до детонації є більшою за умов: вибух потужного заряду, більша дисперсність, поруватість, злежування, дія пожежі, наявність органічних домішок або хлор-іонів, циклічна зміна з IV у III кристалічну форми (32,3 °C), контакт з суперфосфатом, піритом. Ці небезпеки селітри вивчені, тому заборонено дробити селітру вибухами і знаряддям, що дає іскру. Неприємним наслідком таких її властивостей – є використання для терористичних актів. Так у 1995 р. в Оклахома-Сіті, США, теракт з використанням суміші селітри з дизельним паливом спричинив загибель 168 осіб. Тому у деяких країнах для запобігання створення саморобних вибухівок обмежують продаж селітри або продають лише у вигляді суміші з карбонатом кальцію у вигляді вапняково-амонійної селітри.

Але періодичні випадки з вибухом агротехнічної селітри ще трапляються; це вимагає продовження досліджень їх

причин, прогнозування ймовірності, можливих наслідків і розробки заходів для унеможливлення небезпечного розвитку подій. Враховуючи небезпеки селітри відповідні організації звертаються для оцінки можливості здійснення терористичних актів країною-агресором на складських приміщеннях або за її транспортування.

Швидкість детонації селітри значно змінюється від її маси та геометрії скупчення, тому моделювання для малих зарядів не адекватно описує вибухи великих осередків, а кінцевий висновок щодо можливості ініціювання вибуху селітри та її сумішей має робитися на основі серії масштабних випробувань. Відомо, що гарантоване ініціювання вибуху селітри зовнішнім зарядом можливе для куп розміром більше 0,5 м та відстані менше 2 м. Водночас існують теоретичні передумови аналізу вибухонебезпеки та підвищення безпеки.

Зволоження діє різнопланово. За відсутності вологи селітра не вибухає бо не має зміни між формами IV та III. Але селітра гігроскопічна; після набору води кристали деградують, що значно підвищує схильність до вибуху, тому виробляють селітру з вологістю менше 0,3 %. З іншого боку, за вологості більше 3% вона теж не вибухає, тому її пожежі гасять водою. За сучасних технологій вибуховість селітри зменшують добавками, грануляцією та обмежують час зберігання як 0,5 року. Грануляція обмежує поширення детонаційної хвилі у насапу. Для селітри агропризначення (марка Б) гранули роблять монолітними 2–4 мм, а для вибухового призначення (марка А) – пористими 1–3 мм. Для зменшення гігроскопічності, підвищення міцності, контролю піролізу додають нітрати, карбонати, сульфати Са і Mg, фосфатні добавки, карбамід, бентоніти, глину, тальк, діатоміт, вермікуліт і опудрюють гранули. Але навіть опудрені гранули злежуються внаслідок проростання кристалів селітри. На заводі в Оппау Суміш нітрату і сульфату амонію (50/50 %) за проведеними дослідженнями була визнана вибухобезпечною. Але

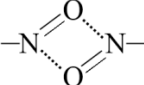
спрощення технології викликало зменшення вологості і відхилення вмісту селітри в осередках до 55 %. У результаті – подрібнюючий вибух ініціював детонацію 1 % маси суміші – 45 т. та наступний вибух 10 % маси – 450 т. з утворенням воронки довжиною 165 м та глибиною 18 м, при цьому загинуло та було травмовано більше 2 тис. осіб.

Більш безпечним добривом є вапняково-аміачна селітра ВАС – суміш NH_4NO_3 і CaCO_3 (60–80/40–20 %, гранули 1–5 мм). Така суміш має слабку здатність до вибуху: у лабораторних умовах за певних добавок, наприклад, пальномастильних матеріалів. Із загальних досліджень відомо, що суміші селітри є безпечними за вмісту $\text{N} < 26\text{--}28\%$. ВАС стає вибухобезпечною завдяки тому, що CaCO_3 зв'язує HNO_3 – продукт розкладання, тому надалі не утворюється достатньо NO_2 для ініціювання ланцюгових процесів. Тобто, хоча стандартні агросуміші селітри є вибухобезпечними, є ймовірність порушення технології виготовлення зі зміною пористості, складу суміші, гранулометричних параметрів, умов зберігання – контакту з певними речовинами, вологості зі злежуванням в моноліт. З огляду на досвід вибуху селітри з сульфатом амонію є ймовірність вибуху і для ВАС. Більш імовірним шляхом такого розвитку подій є пожежа (вибухи у Бейруті у 2020 р. та Техас-сіті у 1947 р.), що викликає піроліз селітри з виділенням NO_2 . Монолітний стан – є більш небезпечним під час ініціюючої дії вибуху.

Питомий тротиловий еквівалент за наслідками вибуху у Бейруті: $1250/2750=0,45$ кт ТНТ/т селітри, у Техас-сіті – $2700/2000=1,35$ кт/т, в Оппау – $1800/450=4$ кт/т. Такі розбіжності можна пояснити різним вмістом домішок, маси речовини, ступенем деградації та видом ініціювання вибуху. Для 10000 т ВАС порушеного складу за порушених умов зберігання, якщо прийняти коефіцієнт участі 0,1 (як в Оппау) тротиловий еквівалент складе 0,5 кт, що дає зони суттєвих руйнувань 2,13 км, 10% скління – 4,25 км.

Особливістю селітри є мала різниця температур кипіння і плавлення – 169,6 і 235 °С, хоча як для тридекану це -5,5 і 235,4 °С, але більша молярна маса в тридекану – 184 г/моль. Тоді можна розглянути [2] наявність у селітрі під час кипіння димерів з $M = 160$ г/моль, а роль домішок у збільшенні вибуховості селітри – як утворення з ними нестійких кластерів або як фактор зміни типової кристалічної будови. За вологості та інших впливів цілісна кристалічна структура змінюється, руйнується, речовина перетворюється на «пудру». Можуть виникати лінійні молекулярні уламки, що збільшує схильність до детонації. Також відомо, що місцем «гарячих точок» у речовині стають нанопори, від яких поширюється детонація. Роль нанопор можуть відігравати й деякі домішки (навіть інертні) у суміші з селітрою, як місце міжфазних напружень (так, сульфат амонію розкладається з виділенням аміаку).

З точки зору хімізму вибуху – ініціатором самоокиснення є NO_2 , який виділяється за розкладання селітри. За нашою моделлю ініціювання вибуху йде як миттєве перегрупування надмолекулярної будови з кристалічної на димерну з переорієнтацію двох молекул в ударній хвилі оксигенами

«назустріч» , що формує пероксидний кластер «-N-

$\text{O}\cdots\text{O}-\text{N}-$ », надалі - пероксидна сполука «-N-O-O-N-» з миттєвим вибухом та виділенням NO_2 (пероксидна група нестійка і властива процесам горіння або вибуху повітряних сумішей [3, 4]). Тоді роль молекули води в тому, що вона вклинюється у кристалічні ґратки селітри і стає дипольним бар'єром, послаблює кулонівське відштовхування нітрат-іонів та дозволяє їм зблизитись. За умов ударної хвилі це полегшує описаний механізм змін під час вибуху.

У разі потрапляння боєприпасу можна розглянути декілька сценаріїв ініціювання вибуху селітри: якісна гранульована селітра може вибухнути за змішування за такої події з іншими речовинами (наприклад, з паливом з

транспорту), внаслідок ініціювання боєприпасом пожежі (через 10–15 хв.), за компактного знаходження (без розривів) великої маси – температура та енергія деяких боєприпасів можуть ініціювати вибух прилеглих зон від місця потрапляння з ініціюванням 2-го вибуху; злежана в моноліт або якщо деградувала в пудру – детонує легше

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Нуянзін В. М. та ін. Моделювання вибухонебезпечних властивостей амонійної селітри. Проблеми надзвичайних ситуацій. 2025. №42(2). С. 160–176.
2. Tregubov D., Tarahno O., Sokolov D., Trehubova F. The identification of hydrocarbons cluster structure by melting point. Problems of Emergency Situations. 2021. №34. P. 94–109. URL: <https://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/15983>
3. Tregubov D., Minska N., Slepuzhnikov E., Hapon Yu., Sokolov D. Substances explosive properties formation. Problems of Emergency Situations. 2022. №36. P. 41–53.
4. Tregubov D., Slepuzhnikov E., Chyrkina M., Maiboroda A. Cluster Mechanism of the Explosive Processes Initiation in the Matter. Key Engineering Materials. 2023. Vol. 952. P. 131–142.