

## ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ

УДК 661.525:614.833:614.841 <https://doi.org/10.31713/vt1202227>

**Кусковець С. Л., к.т.н., доцент, Филипчук В. Л., д.т.н., професор**  
(Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне), **Кусковець А. С.** (Рівненський науково-дослідний експертно-криміналістичний центр МВС України)

### ВИБУХОПОЖЕЖОНЕБЕЗПЕКА АМІАЧНОЇ СЕЛІТРИ В УМОВАХ ЇЇ ТРИВАЛОГО ЗБЕРІГАННЯ

Незважаючи на наявність ряду нормативних документів щодо тривалого зберігання аміачної селітри у великих об'ємах, на складах трапляються пожежі та вибухи, а це вимагає дотримання особливих вимог безпеки. Оскільки Україна є одним із лідерів виробництва аміачної селітри у світі, існує небезпека її зберігання. Проведено аналіз фізико-хімічних властивостей аміачної селітри, умов та наслідків її поводження за різних показників температур, сумісного зберігання з іншими речовинами та домішками. Показано, що дія підвищених температур, вологості, наявності сміття та різних домішок призводить до самозаймання аміачної селітри з наступним вибухом. З'ясовано, що при тривалому зберіганні у великій кількості селітра може стати небезпечною сама по собі, оскільки має тенденцію накопичувати у своїй товщі сторонні домішки із повітря приміщення. Встановлено, що у непоодиноких випадках гарантійний строк зберігання селітри шість місяців перевищується, що може призвести до небажаних наслідків. Розглянуто можливі варіанти утилізації аміачної селітри, термін зберігання якої вичерпано, хоча нормативними документами не передбачено чіткого визначення «утилізації» і вимог до неї. Запропоновано заходи щодо зниження вибухопожежної небезпеки селітри шляхом ведення ретельного контролю її фізико-хімічного стану (температура, наявність сторонніх домішок та продуктів розпаду у товщі матеріалу, стан упаковки). Розглянуто можливі шляхи утилізації селітри, у якої закінчився гарантійний термін зберігання.

**Ключові слова:** аміачна селітра; тривале зберігання; екзотермічні реакції; критичне самонагрівання;

## **пожежовибухонебезпека; утилізація.**

**Вступ.** У серпні 2020 року на території порту ліванської столиці Бейрута, де зберігалося понад 2,7 тисячі тонн аміачної селітри, стався її вибух. Потужна вибухова хвиля вщент зруйнувала сам порт, а також заподіяла значних руйнувань у центральній частині міста на відстані до 10 км. В результаті вибуху загинуло 157 осіб, ще майже 5000 людей дістали поранення [1].

Окрім цього, в історії зафіксовано непоодинокі випадки нищівної дії наслідків пожеж та потужних вибухів в місцях зберігання селітри.

Україна є одним із лідерів виробництва аміачної селітри у світі.

У зарубіжних країнах імпорту і обороту аміачної селітри, на відміну від нашої держави, обмежений і ретельно контролюється державою.

Зберігання аміачної селітри – процес, що вимагає суворої відповідності технологічним правилам та стандарту [2]. Найбільш небезпечним є не стільки процес виробництва, за яким ведеться суворий контроль, скільки тривале зберігання аміачної селітри.

**Існуючий стан.** Аміачна селітра ( $\text{NH}_4\text{NO}$ ) (азотнокислий амоній, нітрат амонію) – це кристалічна речовина білого або блідо-жовтого кольору, яка існує в декількох кристалічних формах, гігроскопічна. Вона добре розчиняється у воді, активно взаємодіє з оксидами металів, в результаті чого утворюється аміак і вода. Цей процес відбувається з поглинанням тепла. До і під час Другої світової війни селітру використовували для виготовлення вибухівки.

Селітра є сильним окисником, яка за ступенем дії на організм людини відноситься до помірно небезпечних речовин 3-го класу небезпечності за [3]. Класифікація згідно з [4] відносить цю речовину до окисників 3-ї категорії небезпеки (Ox. Sol. 3) H272. Вона може підсилювати горіння, викликати серйозне пошкодження очей відповідно до 2-ї категорії небезпеки (Eye irrit 2).

При горінні аміачна селітра плавиться і розкладається, а під дією детонаторів вибухає. При її нагріванні у замкненому просторі, коли відсутня можливість вільного видалення продуктів термічного розкладання – аміачна селітра здатна вибухати. Аміачній селітрі притаманна здатність вибухати і за нижчих температур під впливом сильних ударів, у тому числі ударів вибухової хвилі, а також детонувати внаслідок впливу високої температури, наприклад в

умовах пожежі або під дією інших детонаторів [5]. Отже, селітра не може вибухнути без чинника зовнішньої дії.

Методи належного зберігання завжди відіграють важливу роль у забезпеченні безпеки. З метою збереження вихідних фізико-механічних властивостей аміачної селітри, її необхідно зберігати у спеціальних закритих сухих і чистих складах, які забезпечують захист від впливу погодних умов (сонячних променів, дощу і т.п.).

Спільне зберігання аміачної селітри і будь-яких інших хімічних продуктів і матеріалів в одному відсіку приміщення не допускається. Заборонено зберігання на складі аміачної селітри змащувальних і обтиральних матеріалів.

Аміачна селітра насипом зберігається у буртах, а устаткування складів має забезпечувати можливість її механічного перемішування. Максимальна висота складування селітри не повинна перевищувати 6 метрів.

Температура повітря у складі не повинна перевищувати 30° С, а відносна вологість повітря – 50%. Не допускається підвищення температури всередині бурту, внаслідок самонагрівання, більше ніж до 50° С.

Не дозволяється, у разі злежування аміачної селітри, її рихлення інструментом, який може давати іскри під час ударів, або шляхом підриву навіть незначною кількістю вибухової речовини [6].

На аміачні селітри, що використовуються для виготовлення вибухових речовин (ВР) і зберігаються на складах вибухових матеріалів ВМ разом з ВР, поширюються вимоги до зберігання та обліку як до ВР групи D (виріб, що містить первинну ВР) [7].

Саме під час зберігання аміачної селітри відбувається її накопичення на складах у великих об'ємах, а це вимагає дотримання особливих вимог її безпеки.

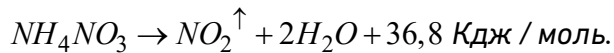
Однак, незважаючи на наявність широкого спектру нормативних документів щодо зберігання та використання аміачної селітри під час її тривалого накопичення на складах, відбуваються пожежі та вибухи, що потребує подальшого аналізу і оцінки факторів, які негативно впливають на вибухопожежонебезпеку цієї речовини.

В національному нормативному документі [6] встановлена гарантійна тривалість зберігання селітри не більше шести місяців. Якщо ж термін збільшується, то необхідно проводити утилізацію селітри.

**Метою** даної роботи є аналіз вибухопожежонебезпеки аміачної селітри в умовах її тривалого зберігання.

### **Результати аналізу та досліджень**

Речовина залишається стійкою (незмінна кристалічна форма) лише в температурних межах від  $-16^{\circ}\text{C}$  до  $+32^{\circ}\text{C}$ . Аміачна селітра та її суміші схильні до термічного розкладання. При зміні температури – змінюється кристалічна структура аміачної селітри, в результаті чого відбувається зв'язування її маси в суцільний моноліт. При температурі  $165^{\circ}\text{C}$  нітрат амонію плавиться, а при  $200^{\circ}\text{C}$  – розкладається на оксид азоту ( $\text{N}_2\text{O}$ ) і воду. Під час зберігання аміачної селітри повільно протікає процес розкладу селітри з виділенням тепла згідно екзотермічної реакції, в результаті чого утворюються двоокис азоту та водяна пара [5]



Поступово, після закінчення початкового індукційного періоду, внаслідок виділення тепла та відповідного підвищення температури, починається реакція автокаталізу, яка викликана головним чином двоокисом азоту й меншою мірою водяною парою. При температурі близько  $100^{\circ}\text{C}$  починається автокаталітичне розкладання аміачної селітри, в результаті якого органічні продукти розігріваються до температури їх самозаймання. Процес розкладання селітри значно пришвидшується, оскільки реакція автокаталізу протікає з прогресивно збільшуваною швидкістю.

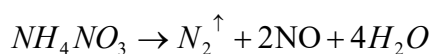
Одночасно під час тривалого зберігання селітри протікає процес перекристалізації нітрату амонію і руйнування гранул продукту [5]. Вже при температурі  $32,3^{\circ}\text{C}$  починається фазовий перехід кристалів від IV системи зі стану  $\beta$ -ромбічного (біпірамідального) до кристалів III системи зі станом  $\alpha$ -ромбічним (моноклінним), внаслідок чого об'єм нітрату амонію збільшується на 0,8%. Поступово щільність аміачної селітри змінюється, зменшуються розміри кристалів, чутливість аміачної селітри до вибуху підвищується. Крім того, вона здатна злежуватись та ущільнюватись також під тиском шарів мішків чи шарів насипів, перетворюючись у моноліт.

Це особливо небезпечно в умовах зберігання селітри у великих кількостях при підвищених температурах навколишнього середовища, коли на нітрат амонію діють циклічні зміни, що

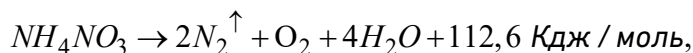
призводять до інтенсифікації руйнування гранул, злежування, підвищеного пилення і ризику виникнення вибуху.

В результаті ці процеси можуть призвести до значного накопичення продуктів розкладання, критичного самонагрівання і, в кінцевому підсумку, до раптової детонації при досягненні критичної температури саморозпаду [5].

У разі її нагрівання до температури 210° С перебігають окисно-відновні реакції з сіркою, сірчаним колчеданом, кислотами, суперфосфатом, хлорним вапном, порошкоподібними металами з утворенням оксиду азоту (I) та кисню, що обумовлює загоряння горючих матеріалів і в кінцевому наслідку – виникнення пожежі. При температурі 250–300° С починається бурхливий розпад аміачної селітри згідно реакції



з виділенням азоту та оксиду азоту, а при температурі більше 300° С з виділенням кисню і тепла



які є каталізаторами подальшого її розкладання та детонації.

У цих двох процесах виділяється не тільки велика кількість тепла, але й окисник, який сприяє вибуху селітри. Тому наявність замкненого простору і відсутність вільного виходу для газоподібних продуктів розкладання у складському приміщенні, де зберігається селітра, сприяє їх накопиченню в об'ємі речовини і підвищує ризик виникнення пожежі та вибуху.

Суміші аміачної селітри з горючими матеріалами (дерево, солома, торф, льон, мішкотара і ін.) схильні до теплового самозаймання. Особливо підвищують пожежо- і вибухонебезпечність аміачної селітри накопичення у товщі селітри сторонніх домішок, схильних до екзотермічних фізико-хімічних перетворень, що самоприскорюються. Такими речовинами можуть бути сировина, сторонні або побічні продукти в газовій, рідкій або твердій фазі.

При накопиченні сторонні домішки можуть давати значну кількість тепла, збільшуючи ймовірність вибуху. Так, у присутності пилу деяких речовин органічного походження (торф, солома, тирса та ін.), сірки, порошоків та оксидів деяких металів (алюмінію, міді, цинку, заліза та ін.) селітра стає особливо вибухонебезпечною.

Попадання різних масел, парафінів і мазутів призводить до утворення нітросполук, дуже чутливих до підвищених температур і ударів. Тканини і папір, просочені розчином аміачної селітри, самозаймаються, оскільки з цими матеріалами селітра утворює нітроклітковини, здатні займатися навіть при температурі навколишнього середовища і горіти з великою швидкістю [5].

Тому при тривалому зберіганні у великій кількості селітра може стати небезпечною сама по собі, оскільки має тенденцію накопичувати у своїй товщі сторонні домішки із повітря приміщення. Пошкоджена упаковка значно підвищує ймовірність появи забруднюючих речовин. В середині великого насипу може початися самонагрівання, спочатку повільно, а потім швидше.

У місцях, де обслуговуючий персонал перебуває рідко, спекотна погода може стати причиною підвищення температури та зменшення вологості селітри всередині складу до екстремальних відміток, що сприяє підвищенню вибухопожежонебезпеки селітри. І навпаки там, де працівники бувають часто, тривале зберігання може притупити їх почуття небезпеки, підвищивши вірогідність зовнішнього впливу, появі джерел загоряння і особливо можливості накопичення сторонніх домішок. Тому для запобігання можливості самозаймання і вибуху аміачної селітри під час тривалого зберігання необхідно вести ретельний контроль за її фізико-хімічним станом (температурою, наявністю сторонніх домішок та продуктів розпаду у товщі матеріалу, станом упаковки тощо).

Для запобігання самовільного розкладання до селітри додають стабілізатори – речовини, що зв'язують утворені при її розкладанні азотну кислоту і  $\text{NO}_2$  або виділяють при взаємодії з  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  аміак, який нейтралізує азотну кислоту і відновлює оксиди азоту до елементарного азоту. Стабілізаторами можуть бути карбамід (0,05–0,1% від маси селітри), карбонати кальцію і магнію тощо [5].

Однак додавання стабілізаторів не вирішує проблему тривалого зберігання. Тому тривалість зберігання селітри обмежується терміном 6 місяців [6]. Після встановленого терміну селітру необхідно утилізувати, однак нормативним документом [6] не оговорено, яким чином проводити цю операцію. Тому у непоодиноких випадках строк зберігання селітри перевищується, що може призвести до небажаних наслідків.

Найбільш радикальними методами утилізації можна вважати хімічні, коли після додавання різних реагентів утворюються більш

безпечні неактивні речовини, які можна використовувати у промисловості [8]. Зокрема, пропонується змішувати аміачну селітру з кубовим залишком перегонки стиrolу, в результаті чого утворюється вибухова речовина ігданіт з температурою вибуху  $2400^{\circ}\text{C}$ , яка швидко згорає без детонації [9].

Вибухонебезпечність  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  зменшується при збільшенні вологості солі. При вмісті більше 3% води аміачна селітра не вибухає навіть при вибуху детонатора [5]. Тому найбільш прийнятним варіантом утилізації може бути тривале зберігання селітри у рідкому стані з подальшим використанням, за необхідністю, у якості рідкого добрива для поливу зелених насаджень, а також використання в якості живильного середовища для мікроорганізмів при біологічних методах очищення, зокрема від нафтових забруднень [10].

Однак, як показує досвід, саме універсальність такого добрива і не надто висока ціна сприяють його широкому і часто неекономному застосуванню. Це призводить до перенасичення речовиною окремих земельних ділянок і потрапляння у поверхневі та ґрунтові води. Вода у криницях на значній території України забруднена саме через перенасичення нітрату амонію у сільському господарстві. Зокрема, з одного гектара зрошуваних земель виноситься у водні системи 8–10 кілограмів азоту, який у подальшому активізує розвиток процесів евтрофікації водойм [10].

Трапляються випадки, коли ці добрива просто викидають у недозволені місця. Так, десятки тонн селітри та карбаміду вивозяться з полів в інші неконтрольовані місця і можуть лежати там тривалий строк. Як зазначають природоохоронні інспектори, аміачна селітра просто спалює ґрунт і тепер тут багато років нічого не зростатиме. Тобто питання тривалого зберігання та утилізації аміачної селітри залишається відкритим і потребує подальшого більш глибокого вивчення. Для цього потрібні кошти, спеціальна промислова база і матеріальна зацікавленість бізнесменів.

**Таким чином,** за потреби тривалого зберігання аміачної селітри, необхідно враховувати можливість її поступового розкладання з виділенням тепла, підвищенням температури, накопиченням автокаталітичних продуктів розкладання, критичного самонагрівання, що підвищує вірогідність самозаймання і вибуху матеріалу. Для зниження вибухопожежної небезпеки селітри необхідно вести ретельний контроль за її фізико-хімічним станом (температурою, наявністю сторонніх домішок та продуктів розпаду у

товщі матеріалу, станом упаковки тощо). Необхідно у нормативному документі чіткіше визначити поняття «утилізація аміачної селітри» з описом її технології, умов, параметрів, а також юридичної особи (власник або стороння організація, вимоги до нього), яка проводить цю операцію і забезпечує безпечні умови процесу утилізації.

**1.** Вибухонебезпечна селітра: де і скільки її зберігають в Україні. URL: <https://cutt.ly/ShpdppW> (дата звернення: 10.10.2021). **2.** ДСТУ 7370:2013. Нітрат амонію (Селітра аміачна) Технічні умови. URL: <https://cutt.ly/phpdmtV> (дата звернення: 10.10.2021). **3.** ГОСТ 12.1.007-76. Система стандартів безпеки праці. Шкідливі речовини. Класифікація і загальні вимоги безпеки. URL: <https://docs.cntd.ru/document/5200233> (дата звернення: 10.10.2021). **4.** Регламент Європейського парламенту і Ради (ЄС) № 1272/2008. Про класифікацію, маркування і пакування речовин і сумішей. URL: <https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/55-GOEEI/es-12722008.pdf> (дата звернення: 17.11.2021). **5.** Справочник химика 21. URL: <https://chem21.info/info/109870/> (дата звернення: 12.10.2021). **6.** НПАОП 0.00-7.19-21. Мінімальні вимоги щодо безпеки та здоров'я працівників на роботі під час зберігання, пакування нітрату амонію та використання його для виготовлення комплексних і рідких мінеральних добрив. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0603-21#Text> (дата звернення: 10.10.2021). **7.** НПАОП 0.00-1.66-13. Правила безпеки під час поводження з вибуховими матеріалами промислового призначення. URL: <https://cutt.ly/1hpd6gf> (дата звернення: 12.10.2021). **8.** Джаваїд А., Левченко Д. О., Артюхов А. Є. Методи утилізації відходів виробництва аміачної селітри. *Сучасні технології у промисловому виробництві* : матеріали науково-технічної конференції викладачів, співробітників, аспірантів і студ. фак-ту технічних систем та енергоефективних технологій (м. Суми, 14–17 квітня 2015 р. СумДУ, 2015. Ч. 2. С. 122. **9.** Способ утилизации твердых токсичных промышленных отходов. URL: <https://www.ecowaste.su/news/2010-10-21-17-43-15> (дата звернення: 03.11.2021). **10.** Советую обратиться к местным ученым-химикам. URL: <http://www.solidwaste.ru/publ/view/468.html> (дата звернення: 03.11.2021). **11.** Про ліцензування видів господарської діяльності : Закон України. URL: <https://cutt.ly/ehpfr42> (дата звернення: 10.11.2021).

## REFERENCES:

**1.** Vybukhonebezpechna selitra: de i skilky yii zberihaiut v Ukraini. URL: <https://cutt.ly/ShpdppW> (data zvernennia: 10.10.2021). **2.** DSTU 7370:2013. Nitrat amoniiu (Selitra amiachna) Tekhnichni umovy. URL: <https://cutt.ly/phpdmtV> (data zvernennia: 10.10.2021). **3.** HOST 12.1.007-76.



Systema standartiv bezpeky pratsi. Shkidlyvi rechovyiny. Klasyfikatsiia i zahalni vymohy bezpeky. URL: <https://docs.cntd.ru/document/5200233> (data zvernennia: 10.10.2021). **4.** Rehlament Yevropeiskoho parlamentu i Rady (IeS) № 1272/2008. Pro klasyfikatsiiu, markuvannia i pakuvannia rechovyn i sumishei. URL: <https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/55-GOEEI/es-12722008.pdf> (data zvernennia: 17.11.2021). **5.** Spravochnik himika 21. URL: <https://chem21.info/info/109870/> (data zvernennia: 17.11.2021). **6.** NPAOP 0.00-7.19-21. Minimalni vymohy shchodo bezpeky ta zdorovia pratsivnykiv na roboti pid chas zberihannia, pakuvannia nitratu amoniiu ta vykorystannia yoho dlia vyhotovlennia kompleksnykh i ridkykh mineralnykh dobryv. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0603-21#Text> (data zvernennia: 10.10.2021). **7.** NPAOP 0.00-1.66-13. Pravyla bezpeky pid chas povodzhennia z vybukhovymy materialamy promyslovoho pryznachennia. URL: <https://cutt.ly/1hpd6gf> (data zvernennia: 12.10.2021). **8.** Dzhavaid A., Levchenko D. O., Artiukhov A. Ye. Metody utylizatsii vidkhodiv vyrobnytstva amiachnoi selitry. *Suchasni tekhnolohii u promyslovomu vyrobnytstvi* : materialy naukovo-tekhnichnoi konferentsii vykladachiv, spivrobitnykiv, aspirantiv i stud. fak-tu tekhnichnykh system ta enerhoefektyvnykh tekhnolohii (m. Sumy, 14–17 kvitnia 2015 r. SumDU, 2015. Ch. 2. S. 122. **9.** Sposob utilizatsii tverdyih toksichnyih promyishlennyih othodov. URL: <https://www.ecowaste.eu/news/2010-10-21-17-43-15> (data zvernennia: 17.11.2021). **10.** Sovetuyu obratitsya k mestnym uchenym–himikam. URL: <http://www.solidwaste.ru/publ/view/468.html> (data zvernennia: 17.11.2021). **11.** Pro litsenzuvannia vydiv hospodarskoi diialnosti : Zakon Ukrainy. URL: <https://cutt.ly/ehpfr42> (data zvernennia: 10.11.2021).

---

**Kuskovets S. L., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor, Fylypchuk V. L., Doctor of Engineering, Professor** (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne),  
**Kuskovets A. S.** (Rivne Scientific Research Forensic Center Ministry of Interior of Ukraine)

## **EXPLOSION AND FIRE SAFETY OF AMMONIA NITRATE IN THE CONDITIONS OF ITS LONG-TERM STORAGE**

**The article describes the danger of explosions of ammonium nitrate and their consequences based on examples of emergencies in the world. As Ukraine is one of the leaders in the production of ammonium nitrate in the world, there is a danger of its storage when used in various sectors of the economy. In our country, ammonium**

nitrate is mainly used as a mineral fertilizer, although it was originally intended for the manufacture of explosives. The article analyzes the physicochemical properties of ammonium nitrate, conditions and consequences of its behavior at different temperatures, joint storage with other substances and impurities. It is shown that the action of elevated temperatures, humidity, the presence of debris and various impurities leads to spontaneous combustion of ammonium nitrate, followed by an explosion. Conditions and methods of proper storage of nitrate in accordance with current regulations and documents are assessed. Despite the presence of a wide range of regulations, it is during long-term storage of ammonium nitrate in large volumes in warehouses the fires and explosions can happen, and this requires special safety requirements. During storage of ammonium nitrate, the process of its decomposition with the accumulation of heat and oxidant is slow, which can contribute to the explosion of nitrate, even with a slight increase in ambient temperature. With increasing temperature the sensitivity of ammonium nitrate to explosion increases, and the accumulated impurities can add a significant amount of heat, increasing the likelihood of an explosion. With long-term storage in large quantities, nitrate can become dangerous in itself, as it tends to accumulate in its thickness of impurities from the room air. It is established that in many cases the warranty period of storage of nitrate for six months is exceeded, which can lead to undesirable consequences. Possible variants of utilization of ammonium nitrate the shelf life of which has expired are considered although regulations do not provide a clear definition of "disposal" and requirements for it. Measures to reduce the explosive hazard of nitrate by carefully monitoring its physical and chemical condition (temperature, the presence of impurities and decomposition products in the thickness of the material, the state of packaging. Possible ways of utilization of nitrate in which the warranty period of storage has expired are considered.

**Keywords:** ammonium nitrate; long-term storage; exothermic reactions; critical self-heating; fire and explosion hazard; disposal.

---