

*О.П. Михайлюк, к.х.н, доцент, професор каф., НУЦЗУ,
Ю.П. Ключка, д.т.н, с.н.с., нач. каф., НУЦЗУ,
О.М. Григоренко, к.т.н., доцент, доцент каф., НУЦЗУ,
В.О. Липовий, к.т.н, ст. викладач, НУЦЗУ*

ПОЖЕЖОВИБУХОНЕБЕЗПЕКА ЗБІРНИКА ВОДИ КІНЦЕВОГО ОХОЛОДЖЕННЯ КОКСОВОГО ГАЗУ ПРИ ПРОВЕДЕННІ ЗВАРЮВАЛЬНИХ РОБІТ

У роботі проведено дослідження можливості вибуху у збірнику води кінцевого охолодження коксового газу на коксохімічному підприємстві при проведенні газозварювальних робіт. Проведені дослідження дозволяють ще раз підтвердити небезпеку проведення вогневих ремонтних робіт, що супроводжуються виникненням високих температур, здатних запалити суміші навіть із незначним вмістом горючих речовин, які потрапляють за технологічним регламентом до безпечного технологічного обладнання.

Ключові слова: коксовий газ, концентраційні межі поширення полум'я, джерело запалювання, теплопровідність, вогневі роботи.

Постановка проблеми. Досить часто пожежі та вибухи на виробництві виникають під час проведення вогневих ремонтних робіт на працюючому технологічному обладнанні. Незважаючи на те, що вимогами пожежної безпеки заборонено виконання будь-яких вогневих робіт на працюючому обладнанні пожежовибухонебезпечних виробництв, допускаються випадки, коли через необізнанність та нерозуміння технологічних процесів проводяться тимчасові ремонтні вогневі роботи на окремих апаратах єдиного технологічного циклу з негорючими речовинами, що призводить до пожеж і вибухів з трагічними наслідками. Тому проблема забезпечення пожежовибухонебезпеки вогневих робіт на об'єктах з наявністю горючих речовин і матеріалів є актуальною і вимагає більш детального вивчення.

Аналіз останніх досягнень та публікацій. Виникнення вибуху та пожежі у будь-якому апараті залежить від наступних факторів: властивостей горючої речовини; конструктивних особливостей апарата; наявності вибухонебезпечних концентрацій усередині та ззовні апарата; наявності джерела запалювання [3-5]. Оцінку можливості утворення газо-, пароповітряного вибухонебезпечного середовища у вільному просторі апарата проводять за умовою пожежовибухонебезпеки згідно ГОСТ 12.1.044-89. Але відомо, що для виникнення пожежі чи вибуху окрім горючого середовища необхідно мати джерело запалювання у вигляді відкритого полум'я, іскри чи нагрітого тіла, що характеризуються достатньою температурою та тепловою енергією для запалювання даної суміші. Пожежна небезпека вогневих робіт характеризується підвищеною запалювальною здатністю іскр, електричної дуги. Так, наприклад, температура зварювальних частинок досягає 2100 °С, крапель під час різки металу 1500 °С, електричної дуги при зварюванні та різанні 4000 °С. Тому питання пожежовибухонебезпеки під час проведення вогне-

вих робіт на пожежовибухонебезпечних виробництвах постійно залишається актуальним і є предметом цілої низки правил, норм та інструкцій [10].

Постановка завдання та його вирішення. Метою даної роботи є дослідження можливості вибуху у збірнику води кінцевого охолодження коксового газу на коксохімічному підприємстві при проведенні газозварювальних робіт.

За технологічним регламентом збірник води призначений для збирання циркуляційної води кінцевого охолодження коксового газу технологічного процесу очищення коксового газу від бензольних вуглеводнів цеху уловлювання коксохімічного підприємства і представляє собою циліндричний вертикальний резервуар діаметром 4730 мм, висотою 4470 мм. Покрівля резервуара плоска товщиною 6 мм. Номінальна ємність резервуара – 80 м³; робоча – 64 м³. Резервуар обладнаний урівнеміром та дихальною трубою.

Для оцінки пожежовибухонебезпеки середовища усередині резервуара було проведено аналіз технологічного регламенту і встановлено, що у надводній частині збірника води накопичується суміш, до складу якої входять горючі компоненти коксового газу (табл. 1), серед яких найбільшу небезпеку за пожежовибухонебезпечними властивостями становлять водень, метан, монооксид вуглецю, етилен, бензол.

Табл. 1. Склад та концентрація компонентів суміші у надводній частині збірника води прямого охолодження коксового газу

Склад суміші	Концентрація складових суміші, % об. за умов (атмосферний тиск, 49°C)	Концентрація суміші від джерел надходження, % об.	Джерело надходження
H ₂	6,3	11,2	Десорбція з води кінцевого охолодження компонентів коксового газу
CH ₄	3,1		
CO	0,6		
C ₂ H ₄	0,4		
CO ₂	0,4		
N ₂	0,3		
O ₂	0,1		
C ₆ H ₆	0,2	0,2	Десорбція з сепаратної води бензольного відділення
N ₂	63,2	88,6	Атмосферне повітря
O ₂	16,7		
H ₂ O (пара)	8,7		

Оцінку можливості утворення газо-, пароповітряного вибухонебезпечного середовища у вільному просторі збірника проводили за умовою пожежовибухонебезпеки згідно вимог [1], за якою найбільш небезпечним компонентом суміші є горючий газ водень (табл. 2).

Оскільки у газо- пароповітряному просторі збірника утворюється складна горюча суміш, були проведені розрахунки концентраційних меж поширення полум'я (КМПП) цієї суміші за формулою Ле Шательє, враховуючи, що горючі властивості складної суміші адитивні [4]

$$\varphi_{H(\phi)_{\text{зоп}}} = \frac{\sum_{i=1}^n \varphi_i}{\sum_{i=1}^n \frac{\varphi_i}{\varphi_{H(\phi)_i}}}, \quad (1)$$

де $\varphi_{H(\phi)_i}$ – нижня або верхня КМПП і-го компонента суміші, % об.; φ_i – фактична концентрація і-го компонента суміші, % об; n – кількість речовин у суміші.

Табл. 2. Оцінка можливості утворення пожежовибухонебезпечного середовища усередині збірника

Складові суміші	Фактична концентрація складових суміші в апараті, % об.	Концентраційні межі поширення полум'я, % об.	Висновок про можливість утворення вибухонебезпечного середовища
H ₂	6,3	4,12-75,0	утворюється
CH ₄	3,1	5,28-14,1	не утворюється
CO	0,6	12,5-74	не утворюється
C ₂ H ₄	0,4	2,7-34	не утворюється
C ₆ H ₆	0,2	1,43-8,0	не утворюється

Виконані розрахунки дозволили визначити область спалахування для горючої суміші усередині збірника (4,74–33,41 % об.), до якої попадає значення фактичної (робочої) концентрації (10,6 % об.) горючої парогазової суміші, що дозволяє зробити висновок про можливість утворення вибухонебезпечного середовища усередині збірника води охолодження коксового газу.

Оцінку можливості запалювання горючого середовища, що утворюється усередині збірника води під час проведення вогневих ремонтних робіт на даху даного резервуара, проводили по відношенню до водневоповітряної суміші (табл. 2). Було встановлено, що для запалювання даного горючого середовища достатньо теплової енергії, яка виділяється під час проведення електрозварювальних (газорізальних) робіт на даху даного резервуара (табл. 3).

Табл. 3. Визначення можливого джерела запалювання пожежовибухонебезпечного середовища усередині збірника води кінцевого охолодження коксового газу

Вид джерела тепла (д.т.)	Температура джерела тепла, °С	Температура самоспалахування горючої речовини (водню), °С	Висновок про наявність джерела запалювання
Газове зварювання металу	2000-3000	510	$t_{\text{д.т}} > t_{\text{ссп}}$ Наявне джерело запалювання
Газове різання металу	1350		
Електрозварювання металу	4000		
Нагріта поверхня металу під час зварювання	800-900		
Розплавлені краплі металу під час зварювання	1500-1700		

Слід також відмітити, що ініціатором вибуху газопароповітряної суміші в збірнику може бути не тільки контакт її з електричною дугою або іскрами у виді розплавленого металу, але і з нагрітою внутрішньою поверхнею покрівлі резервуара за рахунок теплопровідності, яка виникає під час передачі тепла в покрівлі при проведенні електрозварювальних робіт.

При цьому передача відбувається як паралельно та перпендикулярно осі зварювання так і в глибину пластини (в сторону внутрішньої поверхні покрівлі). Швидкість передачі тепла залежить від характеристик металу, процесу зварювання, тощо.

Аналіз літератури [8, 9] показує, що при товщині металу 6 мм у ході електрозварювальних робіт температура на внутрішній поверхні покрівлі резервуара може досягати 1000 °С (рис. 1).

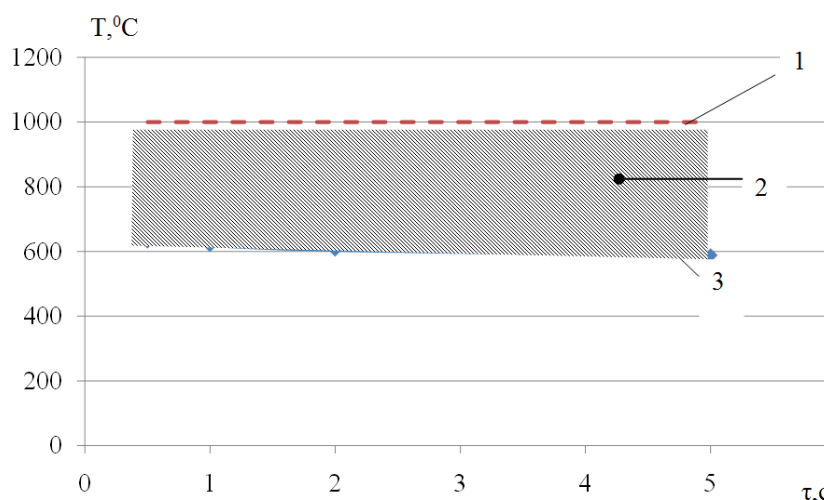


Рис. 1. Порівняння температури самоспалахування водню з можливою температурою на внутрішній поверхні покрівлі збірника при електрозварювальних роботах: 1 – можлива температура на внутрішній поверхні покрівлі при електрозварювальних роботах; 2 – зона горіння (вибуху); 3 – температура самоспалахування водню

З рис. 1 видно, що можлива температура нагріву внутрішньої поверхні покрівлі збірника під час проведення електрозварювальних робіт перевищує температуру самоспалахування водню майже на 40 %.

Проведене моделювання передачі тепла та розподілу температури в покрівлі збірника під час проведення електрозварювальних робіт згідно виразу (2)

$$\frac{\partial}{\partial \tau} T(x, \tau) = a \cdot \frac{\partial^2}{\partial x^2} T(x, \tau), \quad (2)$$

де a – коефіцієнт температуропровідності сталі; $T(x, \tau)$ – значення температури на відстані x у момент часу τ , показало, що вже через 3 секунди температура на протилежній стороні від місця зварювання складає 90 % від температури впливу електричної дуги, яка складає 2000 К (рис. 2). В якості граничних умов використані граничні умови першого роду в точці контакту з електродом та третього роду на зовнішній стороні.

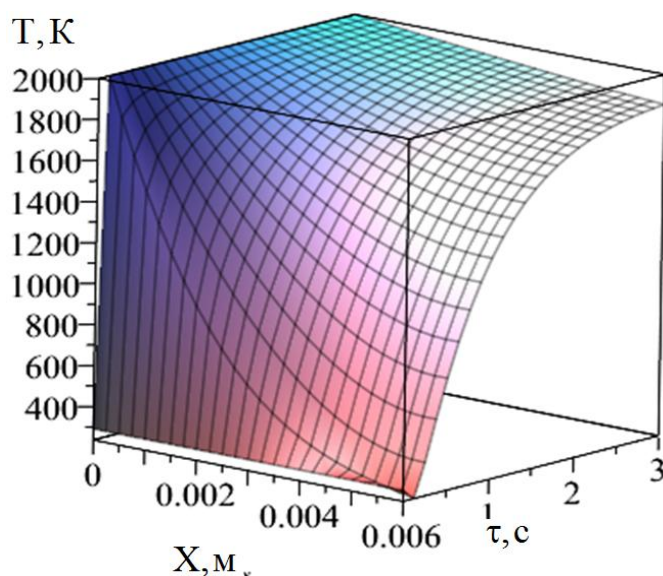


Рис. 2. Залежність температури нагріву внутрішньої поверхні покрівлі резервуара від часу та відст $X, \text{м}$ від точки нагріву при впливі температури 2000 К , коефіцієнт тепловіддачі складає $200 \text{ Вт/м}^2/\text{К}$

Для проведення експериментальних досліджень щодо визначення температури, яка формується усередині збірника під час проведення електрозварювальних робіт на даху резервуара, було використано сталевий лист товщиною 6 мм , що відповідає технологічному регламенту, електрод діаметром 3 мм та зварювальний струм на інверторі 200 А . Вимір температури листа з протилежного боку від місця проведення зварювання проводили за допомогою портативного пірометра, який дозволив встановити максимальну температуру листа $850 \text{ }^\circ\text{C}$. На рис. 3 чітко видно зображення (термограми) нагріву сталевого листа після проведення зварювальних робіт.

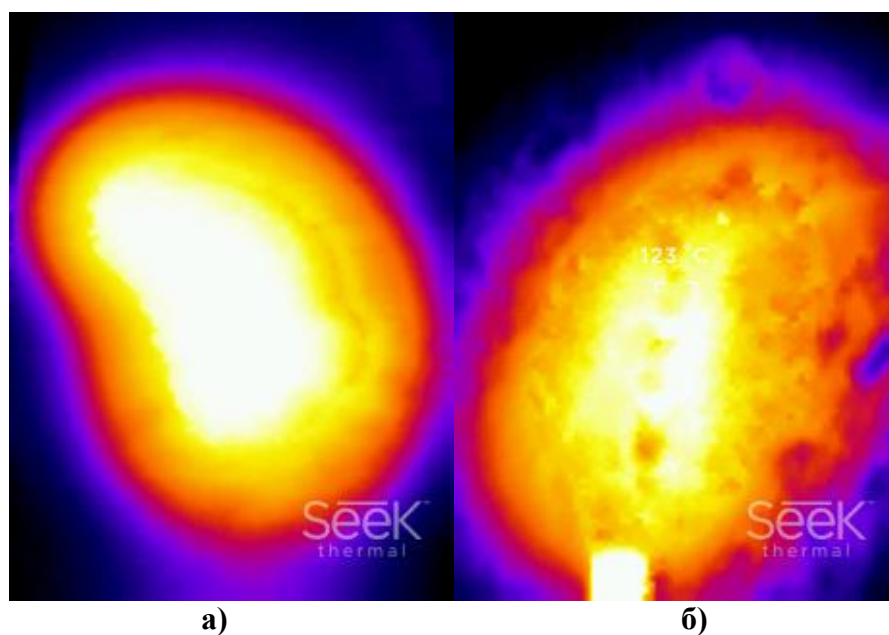


Рис. 3. Термограми сталевого листа (розмір $120 \times 200 \text{ мм}$) після проведення зварювальних робіт: а) зображення, що відповідає максимальній температурі нагріву зразу після зварювання; б) зображення, що відповідає температурі охолодження листа

Аналіз отриманих термограм дозволяє експериментально підтвердити літературні дані [8, 9] щодо нагрівання внутрішньої поверхні покрівлі резервуара за рахунок теплопровідності, яка виникає під час передачі тепла в покрівлі при проведенні електрозварювальних робіт. Отримані значення температури, які досягають 850 °С, значно перевищують значення температури самоспалахування водню (510 °С), що дає підставу також стверджувати про можливість спалахування газоповітряної суміші в збірнику води від високонагрітої поверхні його даху під час проведення вогневих ремонтних робіт.

Висновки:

- визначено область спалахування складної суміші, що утворюється у збірнику води охолодження коксового газу, встановлено можливість утворення вибухонебезпечного середовища усередині даного апарата;
- визначені можливі джерела запалювання пожежовибухонебезпечного середовища усередині збірника під час проведення несанкціонованих зварювальних робіт для чого експериментальним шляхом підтверджена можливість досягнення температури на внутрішній поверхні резервуара під час зварювання температури самоспалахування пожежовибухонебезпечного середовища, що утворюється усередині збірника;
- за допомогою задачі нестационарної теплопровідності в одновимірному просторі показано, що протягом кількох секунд температура на протилежній стороні від місця зварювання складає 90% від температури, яка формується під час впливу електричної дуги.

Проведені дослідження дозволяють ще раз підтвердити небезпеку проведення вогневих ремонтних робіт, що супроводжуються виникненням високих температур, здатних запалити суміші навіть з незначним вмістом горючих речовин, які потрапляють за технологічним регламентом до безпечного технологічного обладнання.

ЛІТЕРАТУРА

1. ГОСТ 12.1.044-89. Пожаровзрывобезопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. – [Введен 1991-01-01]. – Москва: Изд-во стандартов, 1990. – 144 с. – (Державний стандарт СРСР).
2. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения. Справочник: в 2-х ч.-2-е изд., перераб. и доп. /Корольченко А.Я., Корольченко Д.А. – М.: Асс. «Пожнаука», 2004. Ч.1 – 713 с., Ч.2. – 774 с.
3. Алексеев М.В. Пожарная профилактика технологических процессов производств/ М.В. Алексеев, О.М. Волков, Н.Ф. Шатров. – М.: ВИПТШ МВД СССР, 1986 – 370 с.
4. Демидов П.Г., Саушев В.С., Щеглов П.П. Горение и свойства горючих веществ. – М.: Химия, 1981. – 311 с.
5. Михайлюк О.П. Теоретичні основи пожежної профілактики технологічних процесів та апаратів/ О.П. Михайлюк, В.В. Олійник, Г.О. Мо-

зговий.– Х.: ХНАДУ, 2014 – 380 с.

6. Хренов К.К. Сварка, резка и пайка металлов – М.: Машиностроение, 1973. – 408 с.

7. Таубкин С.И. Пожар и взрыв, особенности их экспертизы/ Таубкин С.И. – М.:– 1999.- 600 с.

8. Фролов В.В. Теория сварочных процессов [Текст]/В.В. Фролов// М.:Высш. шк. 1988. – 559 с.

9. Рыкалин Н.Н. Расчеты тепловых процессов при сварке [Текст]/ Н.Н. Рыкалин // Москва, 1951.

10. НПАОП 0.00-5.12-01. Інструкція з організації безпечного ведення вогневих робіт на вибухопожежонебезпечних та вибухонебезпечних об'єктах.

Отримано редколегією 10.03.2018

А.П. Михайлюк, Ю.П. Ключка, А.Н. Григоренко, В.А. Липовой

Исследование пожаровзрывоопасности сборника воды конечного охлаждения коксового газа при проведении сварочных работ

В работе проведены исследования возможности взрыва в сборнике воды конечного охлаждения коксового газа на коксохимическом предприятии при проведении сварочных работ. Выполненные исследования позволяют еще раз подтвердить опасность проведения огневых ремонтных работ, которые сопровождаются возникновением высоких температур, способных поджечь смеси даже с незначительным содержанием горючих веществ, попадающих в безопасное по технологическому регламенту оборудование.

Ключевые слова: коксовый газ, концентрационные пределы распространения пламени, источник зажигания, теплопроводность, огневые работы.

O. Myhaylyuk, Yu. Klyuchka, O. Hryhorenko, V. Lypovyuy

Investigation of fire and explosion hazard of the final watercooling of coke oven gas during welding operations

The work investigates the possibility of an explosion in a collection of water of final cooling of coke oven gas at a coke plant during welding operations. The carried out researches allow to confirm once again the danger of carrying out fire repair works, which are accompanied by the occurrence of high temperatures, which can ignite mixtures even with insignificant content of combustible substances falling into safety equipment that is technologically safe.

Keywords: coke oven gas, concentration limits of flame propagation, ignition source, thermal conductivity, fire works.