

УДК 614.8

*О. П. Михайлюк, к.х.н., доцент, доц. каф., НУЦЗУ,
К. А. Афанасенко, к.т.н., ст. викладач, НУЦЗУ,
О. В. Савченко, к.т.н., с.н.с., заст. нач. каф., НУЦЗУ,
С. Ю. Зімін, командир взводу, НУЦЗУ,
Є. С. Статівка, курсант, НУЗЦУ*

**ДОСЛІДЖЕННЯ ЩОДО БЕЗПЕЧНОГО РОЗТАШУВАННЯ
ФАКЕЛЬНИХ СИСТЕМ БІОГАЗОВОЇ УСТАНОВКИ**

(представлено д.т.н. Ключкою Ю. П.)

Проведено дослідження щодо визначення безпечного розташування факельної установки біогазового комплексу по відношенню до людей у залежності від інтенсивності теплового випромінювання та висоти факельного ствола.

Ключові слова: біогаз, факельна установка, інтенсивність теплового випромінювання, безпечна відстань.

Постановка проблеми. У зв'язку із поширенням та перспективою застосування біогазу в якості відновлюваного джерела енергії, зростають вимоги до пожежовибухобезпеки даного виробництва, небезпека якого обумовлена, у першу чергу, пожежовибухонебезпечними властивостями біогазу, до складу якого входить вибухонебезпечний газ метан, а також наявністю технологічного обладнання з підвищеним рівнем небезпеки. До такого обладнання на біогазових комплексах відносяться факельні установки, основним фактором небезпеки яких є факел, що постійно горить (відкритий вогонь).

Незважаючи на загальні вимоги пожежної безпеки діючих норм [1] під час проектування біогазових комплексів різного типу, різноманітність конструкцій, технологічних рішень вимагає індивідуального підходу до оцінки їх безпечних параметрів. При цьому підвищення рівня пожежної безпеки біогазових установок з урахуванням розташування споруд основного виробничого комплексу є актуальною проблемою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Біогаз – це альтернативний вид палива, який постійно завойовує ринок відновлюваних джерел енергії у різних країнах світу. Він є екологічно чистим паливом і являє собою газоподібний продукт, який отримують у результаті анаеробної ферментації органічних речовин. Основні складові біогазу: метан (55-70 %); вуглекислий газ (28-43 %); сірка, аміак та інші гази у невеликій кількості [2]. До основних елементів біогазової установки входить технологічне обладнання, що характеризується комплексом систем підготовки і переробки сировини, збору та очистки біогазу. Також до комплексу переробки органічних відходів входить когенераційне обладнання для вироблення електричної енергії і тепла та факельна установка для аварійного спалювання біогазу.

Незважаючи на заходи безпеки, випадки аварій, пожеж та вибухів на біогазових установках мають місце. Найбільш важкі наслідки мала аварія біогазового резервуара в Туреччині у 1992 році, в результаті якої загинуло 32 та постраждало 64 особи [3]. Аналіз аварій на біогазових установках за місцем виникнення показує, що значна кількість аварій, що супроводжуються пожежею чи вибухом, відбувається на технологічному обладнанні процесу отримання біогазу, і зокрема, на факельних установках. Максимальна небезпека вибуху на факельних установках виникає у випадку утворення суміші горючого газу та повітря. Небезпека проникнення атмосферного повітря до факельної установки виникає, перш за все, при великому вітрі, низькій швидкості потоку газу, що скидається та скиданні газів з відносною густиною до повітря менше 1 або нагрітих газів [3]. У зв'язку з цим згідно вимог [1] факельну установку рекомендується розташовувати з врахуванням рози вітрів, мінімальної довжини факельних колекторів (трубопроводів). Відстань між факельним стволом та іншими об'єктами технологічної установки, а також іншими об'єктами підприємства необхідно визначати з врахуванням допустимої густини теплового потоку та вимог нормативних документів з пожежної безпеки [1].

У роботах [2–4, 7] наводяться різні дані щодо загальної дози та максимальної інтенсивності теплового випромінювання, що може сприймати персонал при аварійних викидах газу. Наприклад, згідно [4] значення гранично допустимого теплового випромінювання ($q_{г.д.}$) приймають у залежності від технологічних умов: для окремо розташованих факельних установок у випадку, коли персонал зможе залишити небезпечну зону протягом 20 с, значення $q_{г.д.}=17$ МДж/(м²·год); якщо персонал залишає небезпечну зону протягом 3 хв., тоді $q_{г.д.}=10$ МДж/(м²·год); якщо персонал за технологічним регламентом повинен знаходитися у зоні теплової дії протягом тривалого часу, тоді $q_{г.д.}=5$ МДж/(м²·год). Для порівняння: інтенсивність сонячної радіації складає 2,5–3,4 МДж/(м²·год). Безпечний рівень інтенсивності випромінювання людина може винести протягом необмеженого часу (табл. 1). Із збільшенням інтенсивності теплового випромінювання можливий час перебування людини у зоні випромінювання зменшується. Величина інтенсивності теплового випромінювання не є величиною постійною у часі, так як вона залежить від об'єму газів, що скидаються, та відстані між людиною і тепловим джерелом.

Постановка завдання та його вирішення. Враховуючи загальні вимоги діючих норм, а також труднощі під час проектування біогазових комплексів різного типу, метою роботи було проведення дослідження щодо визначення мінімальних відстаней при розташуванні факельної установки даного комплексу з урахуванням впливу на людей у залежності від інтенсивності теплового випромінювання та висоти факельного ствола. При визначенні безпечної відстані розташування факельної установки необхідно враховувати три основних фактори пожежної безпеки: радіаційно-тепловий вплив полум'я на персонал та обладнання; іскроутворення; спалахування окремих осередків вибухонебезпечних

сумішей з повітрям у разі витоку горючих газів. У випадку аварійного викиду великої кількості біогазу на факел персонал під час обслуговування обладнання чи евакуації не повинен підпадати під вплив значного теплового випромінювання. Для цього необхідно обирати достатню висоту факельної труби, а за неможливості, приймати відповідні захисні заходи, враховуючи і безпечне місце розташування.

Вихідними даними для дослідження було обрано типову факельну установку УФАБ-200 (спалювання до 200 м³/год. біогазу). Висота факельного ствола приймалася у межах 3-7 метрів.

Визначення мінімальної безпечної відстані між факельним стволом відповідної висоти та людиною проводили при значеннях густини теплового потоку ($q_{кр}$), що знаходиться в межах 0-5 кВт/м². Безпечне граничне значення інтенсивності теплового випромінювання для людини становить 1,25 кВт/м² (табл. 1) [6].

Табл. 1. Характеристика впливу теплового випромінювання на людину

Інтенсивність теплового випромінювання, $q_{кр}$, кВт/м ²	Тривалість до настання впливу, с	
	Виникнення болю	Виникнення опіків
30	1	2
22	2	3
18	2,5	4,3
11	5	8,5
10,5	6	10
8	8	13,5
5	16	25
4,2	15-20	40
2,5	40	65
1,5	Тривалий період (1-2 години)	
1,25	Безпечний тепловий потік	

Розрахунки мінімальної відстані між факельним стволом та людиною проводили за методикою [1] (Додаток Г):

$$X_{min} = \sqrt{\frac{\varepsilon Q}{4\pi q_{z,d,z}} - (H - h + Z \cos \alpha)^2} + Z \sin \alpha, \quad (1)$$

де D – діаметр факельної труби, м; T – температура газу, К; V – швидкість витоку скидних газів, м/с; V_B – швидкість вітру на рівні центру полум'я, м/с, визначали за формулою:

$$V_B = V_T [0,9 + 0,01(H + Z)] \text{ при } H+Z < 60, \quad (2)$$

де V_T – максимальна швидкість вітру, м/с, табличні дані [4] (Додаток 4); $V_{зв}$ – швидкість звуку у скидному газі, м/с, визначаємо за формулою 3:

$$V_{зз} = 91,5 \sqrt{\frac{KT}{M}}, \quad (3)$$

де μ – відношення швидкості витoku до швидкості звуку в газі, що скидається. $\mu = V/V_{зв}$. Рекомендується приймати при постійних скиданнях $\mu \leq 0,2$; X_{\min} – мінімальна відстань від факельного ствола до об'єкта, м; $q_{гд}$ – гранично допустима густина теплового потоку, кВт/м²; $q_{гдг}$ – гранично допустима густина теплового потоку від полум'я, кВт/м², $q_{гдг} = q_{гд} + q_c$; q_c – пряма сонячна радіація, кВт/м²; визначають для 11-12 год. Таблиця 19 [4]; Q – кількість тепла, яке виділяється від полум'я, кВт; h – висота об'єкта, м; H – висота факельного ствола, м; Z – відстань від центру випромінювання полум'я до верху ствола, м; При $\mu \leq 0,2$ рекомендується приймати $Z=5D$.

Результати розрахунків щодо визначення мінімальної безпечної відстані від факельного ствола установки до людини у залежності від інтенсивності теплового випромінювання та висоти факельного ствола наведені на рис. 1. З рисунка видно, що мінімальна безпечна відстань для людини у залежності від висоти факельного ствола знаходиться в межах 6,9-8,1 м. При цьому значення висоти факельного ствола суттєво не впливає на значення безпечної відстані місцезоташування обслуговуючого персоналу факельної установки.

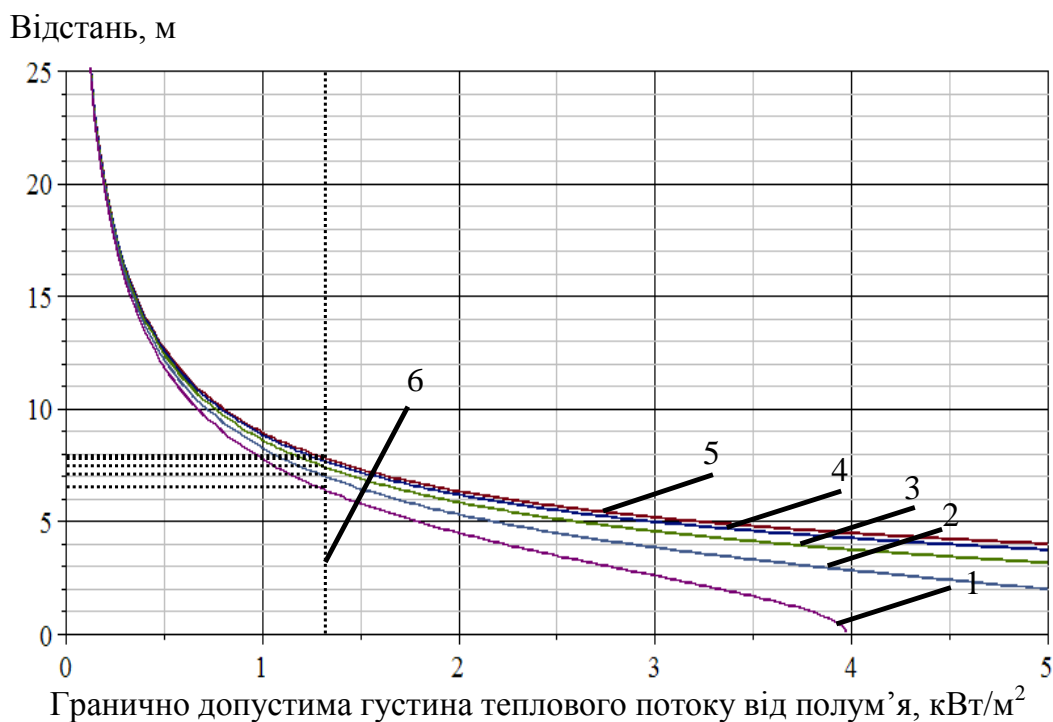


Рис. 1. Залежність мінімальної відстані між факельним стволом різної висоти від густини теплового потоку: 1 – висота ствола 3 м; 2 – висота ствола 4 м; 3 – висота ствола 5 м; 4 – висота ствола 6 м; 5 – висота ствола 7 м; 6 – безпечна для людини відстань від факельної установки

Висновки. Встановлено мінімальну безпечну відстань для людини до факельного ствола факельної системи біогазової установки у залежності від інтенсивності теплового випромінювання та висоти факельного ствола у межах 3-7 м. Водночас результати досліджень дозволяють стверджувати про те, що для отримання достовірних результатів розрахунків необхідно мати безліч вихідних даних, таких як склад газу, що скидається, швидкість подачі, діаметр труби, вітрове навантаження тощо.

ЛІТЕРАТУРА

1. «Факельні системи. Промислова безпека. Основні вимоги». URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=78441
2. Антропов А. П., Исьемин Р. Л., Косов В. В., Косов В. Ф., Синельщиков В. А. . Получение синтез-газа в процессе торрификации биомассы. Альтернативная энергетика и экология (ISJAEE). 2011. №10. С. 42-46.
3. Чернявский А.А., Масликов В.И. Анализ безопасности при эксплуатации биогазовых установок URL: <http://elibrary.ru/projects/articulus/ArticulusFiles/3791/work/200182/3-233-238.pdf>.
4. Стрижевский И. И, Эльнатов А. И. Факельные установки. – М.:Химия,1979. С. 184.
5. «Будівельна кліматологія». URL: http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page?id_doc=26655
6. «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою». URL: https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_b_v_1_1_36/5-1-0-1759
7. Запорожець О. І. Безпека життєдіяльності. Підручник. К.: ЦУЛ, 2013. С. 448.

Отримано редколегією 09.01.2020

А. П. Михайлюк, К. А. Афанасенко, А. В. Савченко, С. Ю. Зимин, Е. С. Статівка
Определение безопасного размещения факельных систем биогазовой установки

Проведены исследования по определению безопасного размещения факельной установки биогазового комплекса по отношению к человеку в зависимости от интенсивности теплового излучения и высоты факельного ствола.

Ключевые слова: биогаз, факельная установка, интенсивность теплового излучения, безопасное расстояние.

A. Mikhailuk, K. Afanasenko, A. Savchenko, S. Zimin, E. Stativka

Determination of safe placement of biogas plant flare systems

The study conducted studies to determine the safe location of the flare unit of the biogas complex in relation to humans, depending on the intensity of thermal radiation and the height of the flare barrel.

Keywords: biogas, flare unit, thermal radiation intensity, safe distance.