

Д. С. Федоренко¹, к.і.н., доцент,

А. І. Березовський¹, к.т.н.,
andrey82-07@mail.ru

Т. М. Скоробагатко²,
skorobagatko@rambler.ru

М. В. Білошицький², к.х.н.

¹Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля НУЦЗУ
вул. Онопрієнко, 8, м. Черкаси, 18034, Україна

²Український науково-дослідний інститут цивільного захисту
вул. Рибальська, 18, м. Київ, 01011, Україна

ЗАХОДИ ЩОДО ЗНИЖЕННЯ ВИБУХОПОЖЕЖНОЇ ТА ПОЖЕЖНОЇ НЕБЕЗПЕКИ ПІДПРИЄМСТВА З ВИРОБНИЦТВА БІОДИЗЕЛЬНОГО ПАЛИВА

У статті розглянуто технологічну схему виробництва біодизельного палива. Наведено вибухопожежонебезпечні властивості речовин, які обертаються у технологічному процесі. Визначено категорії за вибухопожежною та пожежною небезпекою будівель та приміщень типового підприємства з виробництва біодизельного палива. Обґрунтовано заходи зниження вибухопожежної та пожежної небезпеки характерних підприємств.

Ключові слова: технологічний процес, вибухопожежонебезпека, категорії за вибухопожежною та пожежною небезпекою, критерії віднесення, заходи.

Постановка проблеми. Раціональний вибір заходів із забезпечення пожежної безпеки виробничих і складських приміщень, зовнішніх установок – актуальне і складне завдання. Його вирішення базується на оцінюванні вибухопожежної і пожежної небезпеки конкретних технологічних процесів виробництв, приміщень і будинків, у яких вони розміщені, а також зовнішніх установок.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. На теперішній час НАПБ Б.03.0022 регламентує методику визначення категорії приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою. Під час класифікації приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою враховується агрегатний стан та вибухопожежонебезпечні властивості речовин і матеріалів, що в них обертаються, умови проведення технологічного процесу, наявність технічних засобів контролю і захисту, прогнозування найнесприятливішого варіанта аварії тощо. Аналіз цих даних дозволяє завчасно розробляти заходи із попередження виникнення вибухів і пожеж, гарантувати безпеку людей і сприяти зменшенню матеріальних втрат у разі їх виникнення [1].

Мета статті – розробка заходів зі зниження вибухопожежної та пожежної небезпеки приміщень, будинків та зовнішніх установок типового підприємства з виробництва біодизельного палива з урахуванням особливостей його технологічного процесу.

Основний матеріал. Типове підприємство, для якого було проведено розрахунки, спроектовано відповідно до вимог [3–5]. Типову схему розміщення будівель на технологічному майданчику підприємства зображено на рис. 1.

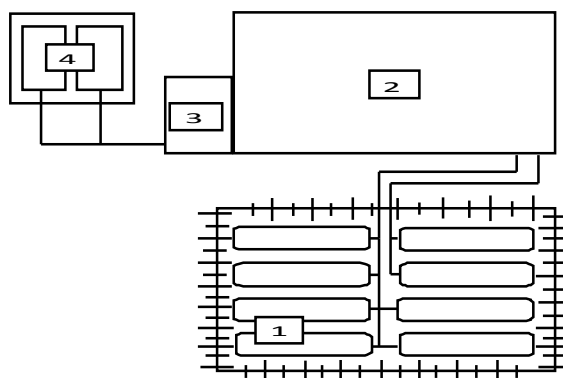


Рис. 1. Схема розміщення будівель на технологічному майданчику типового підприємства з виробництва біодизельного палива

Продуктивність підприємства становить орієнтовно 2000 куб.м біодизельного палива в рік. На його технологічному майданчику розміщені: виробнича будівля, що складається з двох основних виробничих приміщень (перше приміщення – реакторне відділення, у якому в реакторах змішується розчин каталізатора з рапсовою олією, і отримана суміш відстою-

ється; друге приміщення – це приміщення з отримання розчину каталізатора), а також відкритий склад біодизельного палива і гліцерину та підземний склад метанолу.

У табл. 1 наведено деякі пожежонебезпечні властивості горючих речовин, що обертаються у технологічному процесі підприємства.

Таблиця 1

Деякі пожежонебезпечні властивості горючих речовин, які обертаються у технологічному процесі підприємства з виробництва біодизельного палива

Найменування показника, розмірність	Біодизельне паливо [6] (дані визначені експериментально)	Рапсова олія [7]	Метиловий спирт [8]	Гліцерин [8]
Нижча теплота згоряння, МДж/кг	37,8	37,3	23,8	16,1
Температура спалаху у закритому тиглі, °С, не менше	120,0 (145,0)	198,0	6,0	198,0
Температура спалаху у відкритому тиглі, °С, не менше	(164,0)	225,0	8,0	200,0
Температура займання, °С, не менше	(194,0)	230,0	13,0	203,0
Температура самозаймання, °С, не менше	(228,0)	318,0	440,0	400,0

Заходи і засоби попередження утворення горючого середовища в кожному конкретному випадку визначаються реальними умовами, що розглядаються, вибухопожежонебезпечними властивостями речовин і матеріалів, що використовуються у технологічному циклі.

Технологічний процес даного підприємства полягає у наступному. Спочатку у приміщенні (3) готується розчин каталізатора шляхом розчинення гідроксиду калію (КОН) в метиловому спирті (СН₃ОН). Метиловий спирт до цього приміщення по мережі трубопроводів подається з підземного складу (4), після чого отриманий розчин каталізатора змішується з рапсовою олією в приміщенні (2). Суміші дають відстоятися для розділення отриманого гліцерину і біодизельного палива. Далі гліцерин і біодизельне паливо по окремих трубопроводах відкачуються в ємності для зберігання на відкритому складі готової продукції (1).

За результатами аналізу технологічного процесу, який відбувається на підприємстві, аналізу пожежонебезпечних властивостей речовин, які в ньому обертаються, можливих варіантів аварій, а також проведених розрахунків значень критеріїв, згідно з якими примі-

щення будівлі чи зовнішньої установки підприємства відносяться до відповідних категорій за вибухопожежною та пожежною небезпекою, отримано наступні результати.

Приміщення реакторного відділення має площу – 216 кв.м, об'єм – 1290 куб.м. Витрата вхідної сировини в приміщенні становить: рапсова олія – 800 кг/год; метанол – 194 кг/год; гідроксид калію (КОН) – 6 кг/год. Розрахункова потужність – 900 кг продукції за 1 год.

Для цього приміщення можливі чотири варіанти розрахункової аварії, за яких до нього будуть надходити горючі речовини:

- 1) аварія трубопроводу закачування каталізатора в реактор;
- 2) аварія трубопроводу закачування рапсової олії в реактор;
- 3) аварія реактора;
- 4) аварія ємностей розділення біодизельного палива та гліцерину.

У результаті варіантів аварій 2 та 4 у приміщення потраплять горючі речовини (рапсова олія, суміш біодизельного палива з гліцерином, гліцерин, біодизельне паливо). Усі ці горючі речовини мають високі (вище 120 °С) температури займання і за робочих

температур (менше 38 °С) горюче середовище не утворюють. Відповідно, за такого варіанта розрахункової аварії, приміщення реакторного відділення відноситься до категорії В – пожежонебезпечне.

Якщо ж відбудеться 1-й або 3-й варіант розрахункової аварії, то у приміщення реакторного відділення може надійти метанол, який має властивість випаровуватися і утворювати вибухонебезпечне горюче середовище.

Розрахунок значення надлишкового розрахункового тиску вибуху у приміщенні реакторного відділення у випадку розливу метанолу проводили за формулою:

$$\Delta P = (P_{\max} - P_0) \frac{m \cdot z \cdot 100}{V_{\text{вільн.}} \cdot \rho_{\text{г.п.}} \cdot C_{\text{ст.}} \cdot K_n}, \quad (1)$$

де P_{\max} – максимальний тиск вибуху стехіометричної газоповітряної або пароповітряної суміші у замкнутому об'ємі, кПа; P_0 – початковий тиск, кПа; m – маса ГГ або парів ЛЗР та ГР, що потрапили в результаті розрахункової аварії до приміщення, кг; z – коефіцієнт участі ГГ або парів у вибуху; $V_{\text{вільн.}}$ – вільний об'єм приміщення, куб.м; $\rho_{\text{г.п.}}$ – густина пару до вибуху при початковій температурі, кг/куб.м; $C_{\text{ст.}}$ – стехіометрична концентрація ГГ або парів ЛЗР та ГР, % (об); K_n – коефіцієнт, що враховує негерметичність приміщень й неадіабатичність процесу горіння.

За результатами розрахунку надлишковий тиск вибуху для пожежі розливу метанолу у приміщенні реакторного відділення становить 46,5 кПа, що перевищує 5 кПа, а також враховуючи, що метанол класифікується як горюча легкозаймиста особливо небезпечна речовина, відповідно до табл. 1 [2] приміщення реакторного відділення відноситься до категорії А – вибухопожежонебезпечне. Згідно з вимогами [2] для приміщення реакторного відділення приймається найнесприятливіший варіант розрахункової аварії.

Приміщення приготування каталізатора (приміщення розчинення гідроксиду калію в метанолі) має площу 22,9 кв.м і об'єм 114 куб.м. У цьому приміщенні кожної години розчиняється 6 кг гідроксиду калію (KOH) в 194 кг метанолу (CH₃OH).

Розрахункова аварійна ситуація може статися, коли відбувається розгерметизація ємності для приготування каталізатора і метанол виливається на підлогу приміщення, випаровується, а утворене пароповітряне горюче

середовище від джерела запалювання займається і вибухає.

Розрахунок надлишкового тиску вибуху ΔP для пожежі розливання метанолу проводили за формулою (1).

За результатами розрахунку надлишковий тиск вибуху для пожежі розливання метанолу у приміщенні приготування каталізатора становить 55,6 кПа, що значно перевищує 5 кПа, а також, враховуючи, що метанол класифікується як горюча легкозаймиста особливо небезпечна речовина, відповідно до табл. 1 [2] приміщення приготування каталізатора відноситься до категорії А – вибухопожежонебезпечне.

Розрахунки по приміщенню реакторного відділення та приміщенню приготування каталізатора проведені за умови, що в них були відсутні аварійна вентиляція та засоби обмеження площі розливання (випаровування) рідких речовин.

З метою визначення умов технологічного процесу, за яких приміщення реакторного відділення та приготування каталізатора можливо віднести до більш безпечної категорії за вибухопожежною чи пожежною безпекою, коли надлишковий розрахунковий тиск вибуху пароповітряної суміші у зазначених приміщеннях буде нижчим за 5 кПа, проведено відповідні розрахунки, при цьому критерієм, який змінювався, було визначено масу парів легкозаймистих та горючих рідин, що потрапляли в результаті розрахункових аварій до приміщень.

На графіках, наведених на рис. 2 і 3, зображено, як змінюється надлишковий розрахунковий тиск вибуху пароповітряної суміші залежно від маси парів легкозаймистих та горючих рідин, що потрапляють в результаті розрахункових аварій до відповідних приміщень.

Аналіз рис. 2 і 3 свідчить про таке. Для того щоб знизити категорію приміщення реакторного відділення та приміщення приготування каталізатора з А – вибухопожежонебезпечне до В – пожежонебезпечне необхідно зменшити кількість парів, що випаровуються і утворюють вибухонебезпечне горюче середовище при можливих аваріях.

Так, для приміщення реакторного відділення зменшення кількості парів можна досягти зменшенням площі випаровування шляхом встановлення на технологічному майданчику ємності з бортиками певної висоти, в якій у

випадку аварії буде знаходитися розлита рідина та не буде розтікатися по всій площі підлоги приміщення. При площі такого майданчика близько 20 кв.м кількість парів буде становити 13 кг, а надлишковий розрахунковий тиск вибуху в приміщенні буде сягати лише

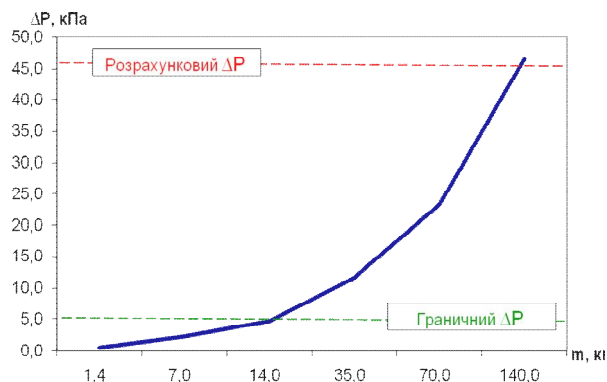


Рис. 2. Дані розрахунку надлишкового тиску вибуху у приміщенні реакторного відділення

Для приміщення приготування каталізатора зменшення кількості парів можна досягти аналогічним способом, як і для приміщення реакторного відділення з додатковим передбаченням аварійної витяжної вентиляції. При площі майданчика близько 4 кв.м і наявності аварійної витяжної вентиляції з кратністю повітрообміну 2 за годину, за умови розміщення пристроїв для видалення повітря з приміщення у безпосередній близькості від місця розрахункової аварії, маса парів буде становити 0,8 кг, а надлишковий розрахунковий тиск вибуху в приміщенні буде сягати лише 3,2 кПа.

У відкритому складі біодизельного палива та гліцерину знаходиться вісім резервуарів по 100 куб.м кожен, у двох з яких зберігається гліцерин, в інших – біодизельне паливо. Резервуари мають прямокутну форму розмірами 12×3×2,8 м. Майданчик резервуарів обвалований. Розміри обвалування: довжина – 33 м, ширина – 21 м, площа – 693 кв.м.

Розрахункова аварійна ситуація може статись у результаті руйнування резервуара з гліцерином або резервуара з біодизельним паливом, або руйнування трубопроводів обв'язки і виливання горючих рідин на майданчик.

Для того щоб відбувся спалах пароповітряної суміші парів гліцерину з повітрям, необхідно, щоб концентрація парів гліцерину в суміші з повітрям дорівнювала значенню ниж-

4,3 кПа. Відповідно в цьому приміщенні для зниження категорії достатньо тільки зменшити площу випаровування легкозаймистих та горючих рідин. На практиці можна комбінувати такими заходами, як площа випаровування і аварійна вентиляція.

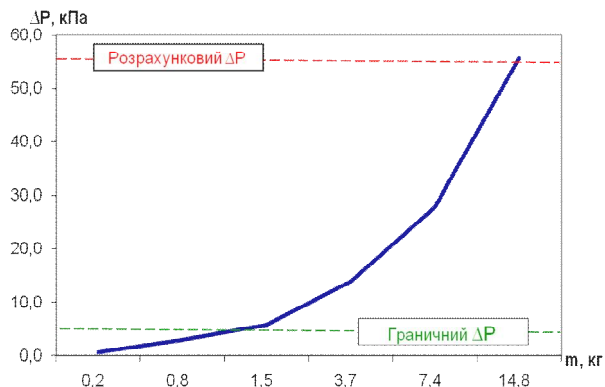


Рис. 3. Дані розрахунку надлишкового тиску вибуху у приміщенні приготування каталізатора

ньої концентраційної межі займання. Згідно з довідником [8], це значення становить 2,6 % (об) і досягається за температури гліцерину 182 °С. За нормальних технологічних умов виробництва температура гліцерину в резервуарах для зберігання і на майданчику, обмеженому обвалуванням, в разі руйнування резервуара і виливання гліцерину назовні, не досягне таких значень, тобто вибухонебезпечне пароповітряне середовище за нормальних умов роботи не утвориться.

Для того щоб утворилося горюче середовище з парів біодизельного палива з повітрям, необхідно його нагріти до температури понад 120 °С [6], що, аналогічно як і для гліцерину, за нормальних технологічних умов виробничого процесу є неможливим. Тобто зовнішня установка (майданчик для зберігання гліцерину та біодизелю) не відноситься до категорії Бз. Для того щоб віднести цю установку до категорії Вз, необхідно розрахувати інтенсивність теплового випромінювання від вогнища пожежі на віддалі 30 м від зовнішньої установки.

Розрахунок інтенсивності теплового випромінювання q для пожежі проливання біодизельного палива проводили за формулою:

$$q = E_f \times F_q \times \psi, \quad (2)$$

де E_f – середньоповерхнева густина теплового випромінювання полум'я, кВт×м⁻²; F_q – кутовий коефіцієнт опромінення; ψ – коефіцієнт

пропускання теплового випромінювання крізь атмосферу.

За результатами розрахунку інтенсивність теплового випромінювання для пожежі розливання біодизельного палива на віддалі 30 м від вогнища пожежі становить 5,4 кВт/кв.м, що перевищує 4 кВт/кв.м, тому відповідно до табл. 6 [2] відкритий склад біодизельного палива і гліцерину відноситься до категорії В_з – пожежонебезпечний.

Склад метанолу являє собою дві підземні ємності об'ємом по 25 куб.м кожна. Склад огорожено сітчастою захисною огорожею. Резервуари обладнані зливними пристроями, трубопроводами для зливання і забору метанолу, дихальними клапанами та вогнеперешкоджувачами. Подавання метанолу у виробничу будівлю здійснюється за допомогою насосу, що розміщений біля ємностей.

Враховуючи, що температура спалаху метилового спирту є нижчою за 28 °С і ця речовина класифікується як горюча легкозаймиста особливо небезпечна, то відповідно до табл. 6 [2] склад метанолу відноситься до категорії А_з – вибухопожежонебезпечний. Розрахунок щодо можливості зниження категорії не проводився.

Висновки. Система попередження вибухів і пожеж має на меті не допустити виникнення вибухів і пожеж.

Вихідні положення системи попередження пожежі (вибухів): пожежа (вибух) можливі за наявності трьох чинників: горючої речовини, окисника і джерела запалювання; за відсутності будь-якого з зазначених чинників або обмеженні його визначального параметра безпечною величиною пожежа неможлива.

Заходи і засоби попередження утворення горючого середовища в кожному конкретному випадку визначаються реальними умовами, що розглядаються, вибухопожежонебезпечними властивостями речовин і матеріалів, що використовуються у технологічному циклі.

Заходи, які спрямовані на зменшення кількості парів, що випаровуються і утворюють ВНК, при можливих аваріях дозволять знизити категорію приміщення реакторного відділення та приміщення приготування каталізатора.

Так, для приміщення реакторного відділення встановлення на технологічному майданчику ємності з бортиками певної висоти при аварії не дозволить розтікатися рідині по всій площі підлоги приміщення і, відповідно,

зменшить площу випаровування. На практиці можна комбінувати такі заходи, як площа випаровування і аварійна вентиляція.

Для приміщення приготування каталізатора зменшення кількості парів можна досягти аналогічним способом, як і для приміщення реакторного відділення з додатковим передбаченням аварійної витяжної вентиляції.

За результатами проведеної роботи визначено категорії за вибухопожежною та пожежною небезпекою виробничих приміщень і будівель типового підприємства з виробництва біодизельного палива та обґрунтовано заходи щодо їх зниження для характерних виробничих приміщень.

Список літератури

1. Посібник щодо застосування НАПБ Б.03.002-2007 Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою / [О. І. Шкоруп, О. О. Сізіков, В. С. Куликівський та ін.]. – К. : ВІПОЛ, 2009. – 188 с.
2. НАПБ Б.03.0022-2007 Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою.
3. СНІП 02.09.02-85 Производственные здания.
4. ВБН В.2.2-58-1-94 Проектирование складов нефти и нефтепродуктов с давлением насыщенных паров не выше 93,3 кПа.
5. ВНТП 20-91 Нормы технологического проектирования предприятий по производству растительных масел.
6. ДСТУ 6081:2009 Паливо моторне. Ефіри метилові жирних кислот олій і жирів для дизельних двигунів. Технічні вимоги.
7. Дев'янін С. Н. Рослинні олії і палива на їх основі для дизельних двигунів / Дев'янін С. Н., Марков В. А., Семенов В. Г. – Х. : Нове слово, 2007. – 254 с.
8. Баратов А. Н. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения : справ. изд.: в 2 кн. / Баратов А. Н., Корольченко А. Я., Кравчук Г. Н. – М. : Химия, 1990. – кн. 1. – 496 с.

References

1. Shkorup, O. I., Sizikov, O. O., Kulykovskii, V. S. et al. (2009) Manual of NAPB

- B.03.002-2007 usage. Norms of definition of rooms, buildings and external plants categories according to explosive and fire danger. Kyiv: VIPOL, 188 p. [in Ukrainian].
- NAPB B.03.002-2007 Regulation of definition of rooms, buildings and external plants categories according to explosive and fire danger [in Ukrainian].
 - Building code (SNiP) 02.09.02-85 Industrial buildings [in Russian].
 - Building code (VBN) V.2.2-58-1-94 Designing of oil and oil products storages with pressure of saturated vapours above 93,3 kPa [in Russian].
 - Building code (VNTP) 20-91 Regulation of technological designing of enterprises which produce vegetative oils [in Russian].
 - Building code (DSTU) 6081:2009 Engine fuel. Specification of methyl ethers, of fatty acids of oils for diesel engines [in Ukrainian].
 - Devianin, S. N., Markov, V. A. and Semyonov, V. H. (2007) Vegetative oils and fuels on their use for diesel engines. Kharkiv: Nove slovo, 254 p. [in Ukrainian].
 - Baratov, A. N., Korol'chenko, A. Ya. and Kravchuk, H. N. (1990) Fire and explosive danger of materials and tools for their extinguishing: in 2 books. Moscow: Himiya, book 1, 496 p. [in Russian].

D. S. Fedorenko¹, *Ph.D. (History), associate professor,*

A. I. Berezovskii¹, *Ph.D. (Eng. Sc.),*

andrey82-07@mail.ru

T. M. Skorobagatko²,

skorobagatko@rambler.ru

M. V. Biloshitskii², *Ph.D. (Chem.)*

¹Cherkasy Institute of Fire Safety named after Chernobyl Heroes
of National University of Civil Protection of Ukraine,

Onoprienko str., 8, Cherkasy, 18034, Ukraine,

²Ukrainian Research Institute of Civil Protection,
Rybalska str., 18, Kyiv, 01011, Ukraine

MEASURES AIMED TO DECREASE EXPLOSIVE AND FIRE DANGER LEVEL AT ENTERPRISES THAT PRODUCE BIODIESEL FUEL

The explosion and fire prevention system aims to prevent the occurrence of explosions and fires. Activities and means of combustible surrounding prevention are different in each case and are determined by real-time conditions and explosion- and fireproof properties of substances and materials that are used in technological cycle. In case of emergency the activities, aimed to decrease the value of explosive vapour, allow decreasing of room category of reactor section and section of catalyst preparation. The vaporization area in reactor section can be decreased by installing of storage tank with barriers of determined height. In case of emergence this storage tank prevents spreading of liquid on all surface of a floor. In practice we can combine such activities like vaporization area decrease and the use of emergence ventilation. Decreasing of vaporization area in section of catalyst preparation can be realized in the same way as in reactor section. The result of research is the determination of explosive- and fireproof categories of industrial buildings where biodiesel fuel is produced. Also measures aimed on decreasing of industrial building category level are substantiated.

Keywords: *technological process, explosive and fire danger, categories on explosive and fire danger, criteria for classification, measures.*

Стаття надійшла до редакції 03.11.2014.

Рецензенти: Жартовський В. М., д.т.н., професор,
Столяренко Г. С., д.т.н., професор.