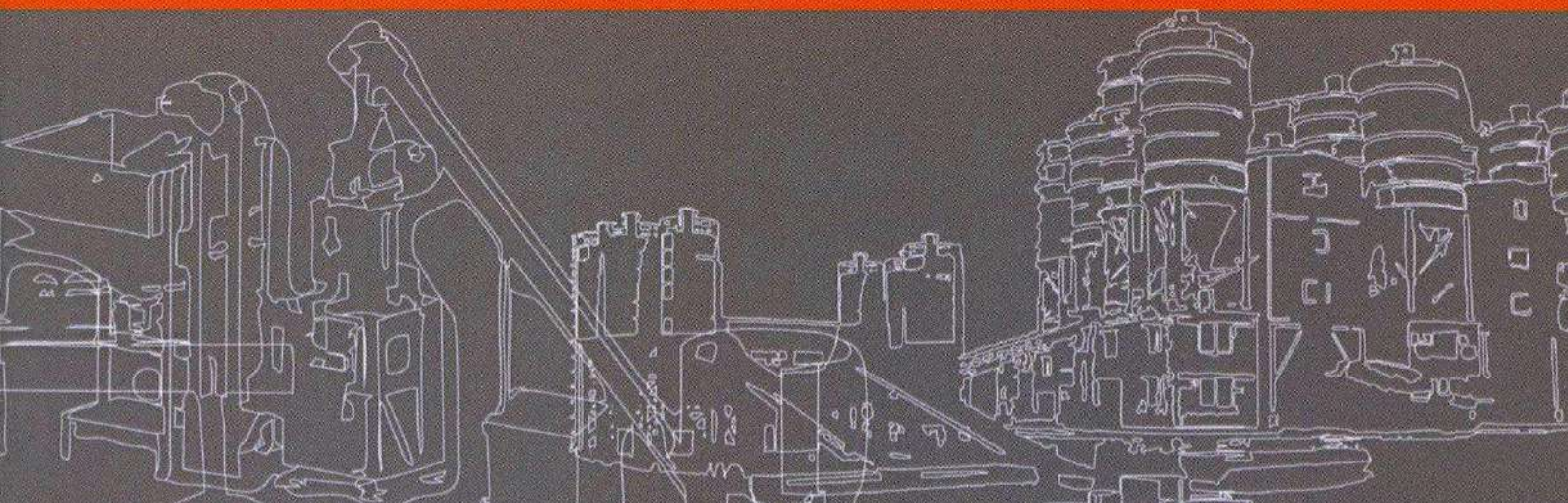


**ПОСІБНИК**  
**З ПРАКТИЧНОГО ЗАСТОСУВАННЯ**  
**ДСТУ Б В.1.1-36:2016 "ВИЗНАЧЕННЯ КАТЕГОРІЙ**  
**ПРИМІЩЕНЬ, БУДИНКІВ ТА ЗОВНІШНІХ УСТАНОВОК**  
**ЗА ВИБУХОПОЖЕЖНОЮ ТА ПОЖЕЖНОЮ НЕБЕЗПЕКОЮ"**





Державна служба України з надзвичайних ситуацій  
Український науково-дослідний інститут цивільного захисту

**ПОСІБНИК**  
**з практичного застосування**  
**ДСТУ Б В.1.1-36:2016 “Визначення категорій**  
**приміщень, будинків та зовнішніх установок**  
**за вибухопожежною та пожежною небезпекою”**

**Київ 2018**

УДК 614.841.33  
ББК 38.96  
П61

## **АВТОРСЬКИЙ КОЛЕКТИВ**

**Український науково-дослідний інститут цивільного захисту**  
Білошицький М. В., Скоробагатько Т. М., Кравченко Н. В., Борис О. П.,  
Семичаєвський С. В.

**Літературний редактор**  
Руденко В. Ю.

Український науково-дослідний інститут цивільного захисту

**П61** Посібник з практичного застосування ДСТУ Б В.1.1-36:2016 “Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою”: [Науково-виробниче видання.] – Київ : ТОВ “Київська книжково-журнальна фабрика”, 2018, – 192 с.

**ISBN 978-966-196-029-8**

Посібник з практичного застосування ДСТУ Б В.1.1-36:2016 призначений для надання практичної допомоги співробітникам (працівникам) органів державного нагляду (контролю) у сфері цивільного захисту, техногенної та пожежної безпеки, проектних організацій, викладачам ВНЗ ДСНС України, а також інженерно-технічному персоналу, який займається розробкою заходів із забезпечення вибухопожежної та пожежної безпеки будинків, споруд і зовнішніх установок у процесі їх проектування, будівництва й експлуатації.

У Посібнику викладені ґрунтовні роз’яснення вимог ДСТУ Б В.1.1-36:2016 та наведені приклади розрахунків для конкретних об’єктів з урахуванням особливостей технологічних процесів, що відбуваються на них, видів речовин та матеріалів, які зберігаються або обертаються на цих об’єктах, планування приміщень тощо.

Посібник узгоджено з Департаментом запобігання надзвичайним ситуаціям ДСНС України (лист від 6 квітня 2017 № 26-5281/261) та схвалено науково-технічною радою Українського науково-дослідного інституту цивільного захисту (протокол № 4 від 27 квітня 2017 року).

УДК 614.841.33  
ББК 38.96  
П61

**ISBN 978-966-196-029-8**

© Український науково-дослідний інститут  
цивільного захисту, 2018

## 1. ГАЛУЗЬ ЗАСТОСУВАННЯ

Оцінка вибухопожежонебезпеки об'єкта здійснюється за результатами відповідного аналізу пожежонебезпеки будівель, приміщень, інших споруд, характеру технологічних процесів та пожежонебезпечних властивостей речовин, які в них обертаються або знаходяться, з метою виявлення можливих обставин і причин виникнення вибухів і пожеж та їх наслідків.

Таким чином, методика аналізу вибухопожежонебезпеки зводиться до виявлення й оцінки потенційних і наявних джерел запалювання, умов формування горючого середовища, умов виникнення контакту джерел запалювання й горючого середовища, умов і причин поширення вогню в разі виникнення пожежі або вибуху, масштабів можливої пожежі, загрози життю та здоров'ю людей, навколишньому середовищу і матеріальним цінностям.

Необхідність матеріальної оцінки вибухопожежонебезпеки потребує чітких критеріїв її визначення. Відомі два підходи до питань нормування у галузі вибухопожежонебезпеки: імовірнісний та детермінований.

Імовірнісний підхід, заснований на концепції допустимого ризику, передбачає недопущення впливу на людей і матеріальні цінності небезпечних факторів пожежі з імовірністю, що перевищує нормативну.

Детермінований підхід ґрунтується на розподілі об'єктів за ступенем вибухопожежонебезпеки на категорії з позначенням їх конкретних кількісних меж залежно від параметра, що характеризує можливі наслідки пожежі та вибуху.

Класифікація об'єктів за вибухопожежною та пожежною небезпекою при використанні обох підходів здійснюється з урахуванням допустимого рівня їх пожежної небезпеки, а розрахунки критеріїв і показників її оцінки, у тому числі ймовірності пожежі (вибуху) – з урахуванням маси горючих та важкогорючих речовин і матеріалів, що знаходяться на об'єкті, вибухопожежонебезпечних зон, які утворюються при нормальних режимах ведення технологічних процесів та аварійних ситуаціях, можливих втрат для людей і матеріальних збитків.

Основою для встановлення нормативних вимог до конструктивних та планувальних рішень на промислових об'єктах, а також інших питань забезпечення їх вибухопожежонебезпеки є визначення категорій приміщень, будинків виробничого, складського й лабораторного призначення і зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою.

Категорія виробничого і складського приміщення, будинку та зовнішньої установки за вибухопожежною та пожежною небезпекою є основним показником рівня їх пожежної небезпеки.

Категорійність за вибухопожежною та пожежною небезпекою зумовлює ступінь вогнестійкості будинку, граничні площі протипожежних відсіків, необхідність улаштування систем протипожежного захисту (пожежної сигналізації, пожежогасіння тощо).

Належність приміщень, будинків та зовнішніх установок до конкретної ка-

тегорії враховується при визначенні необхідних заходів щодо забезпечення пожежної безпеки цих приміщень, будівель і установок. Необхідні заходи пожежної безпеки викладаються в нормативно-правових документах, які затверджуються в установленому порядку. При проектуванні й експлуатації об'єктів нормативні вимоги щодо забезпечення вибухопожежної та пожежної безпеки вказаних приміщень, будинків та зовнішніх установок враховуються в об'ємно-планувальних рішеннях, взаємному їх розміщенні на генеральному плані, граничній поверховості (умовній висоті будинків), площах поверхів і протипожежних відсіків, конструктивних рішеннях, при оснащенні протипожежним інженерним обладнанням, під час спеціальної підготовки персоналу з питань пожежної безпеки тощо.

Правильний вибір категорії виробничих приміщень та будинків за вибухопожежною та пожежною небезпекою дозволяє встановити оптимальне співвідношення між безпекою виробництва і розміром капіталовкладень на його проектування й експлуатацію.

На теперішній час в Україні розроблено ДСТУ Б В.1.1-36:2016 “Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою” (далі – ДСТУ).

З метою вдосконалення практичного застосування положень ДСТУ, чіткого й однозначного тлумачення вимог, а також керуючись європейським та світовим досвідом, розроблено Посібник з практичного застосування ДСТУ.

Цей посібник призначений для надання практичної допомоги співробітникам (працівникам) органів державного нагляду (контролю) у сфері цивільного захисту, техногенної та пожежної безпеки, проектних організацій, викладачам ВНЗ, а також інженерно-технічному персоналу, який займається розробкою заходів із забезпечення вибухопожежної та пожежної безпеки будинків, споруд і зовнішніх установок у процесі їх проектування, будівництва й експлуатації.

У посібнику розглянуто розрахункові методи визначення категорій приміщень та будинків виробничого і складського призначення, а також зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою, в яких знаходяться горючі гази, легкозаймисті й горючі рідини, горючий пил і тверді горючі матеріали та речовини. У ньому наведено розрахункові формули, рекомендації щодо підготовки вихідних даних для розрахунків, необхідні довідкові матеріали та розв'язано різні типи задач з визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок.

ДСТУ встановлює методику визначення категорій приміщень та будинків (або частин будинків у межах протипожежних відсіків) виробничого і складського призначення, а також зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою. Методика, викладена у ДСТУ, повинна використовуватись під час розроблення відомчих норм технологічного проектування.

ДСТУ і даний посібник не поширюється на підприємства (будинки та приміщення), призначені для виробництва, зберігання й утилізації вибухо-

вих речовин і засобів підривань (ініціювання), а також зовнішні установки для їх виробництва.

Під час класифікації виробничих приміщень і зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою враховується:

- агрегатний стан вибухопожежонебезпечних речовин і матеріалів;
- вибухопожежонебезпечні властивості речовин і матеріалів (максимальний тиск вибуху стехіометричної концентрації горючих речовин у повітрі, теплота згорання, температура спалаху легкозаймистих рідин);
- реальні умови проведення технологічного процесу (тиск, температура, маса горючих речовин);
- наявність технічних засобів контролю і захисту від утворення вибухопожежних концентрацій на випадок розгерметизації технологічного обладнання (газоаналізатори, аварійна вентиляція, швидкодіючі системи відключення пошкодженого апарату, технічні рішення з обмеження площі розливу рідини, аварійне зливання рідини, аварійний виток газу тощо);
- реальні умови утворення зон вибухонебезпечних концентрацій;
- надлишковий тиск вибуху при займанні горючого середовища;
- прогнозування найнесприятливішого варіанта аварії або періоду нормальної роботи апаратів, за якого у вибусі й горінні бере участь найбільша кількість речовин і матеріалів, найнебезпечніших щодо наслідків вибуху.

Визначення пожежонебезпечних властивостей речовин і матеріалів виконується на основі результатів випробувань або розрахунків за стандартними методиками.

Допускається використання довідкових даних, які опубліковані головними науково-дослідними організаціями у галузі пожежної безпеки. Допускається використання показників пожежної безпеки для горючих сумішей речовин і матеріалів за найбільш небезпечним компонентом.

За вибухопожежною та пожежною небезпекою приміщення і будинки поділяють на категорії А, Б, В, Г та Д, а зовнішні установки – на категорії А<sub>з</sub>, Б<sub>з</sub>, В<sub>з</sub>, Г<sub>з</sub> та Д<sub>з</sub>.

## 2. ВИЗНАЧЕННЯ ПОНЯТЬ

У посібнику використано терміни у таких значеннях:

**Аерозоль** – дисперсна система, яка складається з повітря і твердої або рідкої дисперсних фаз, частки яких можуть невизначено довгий час знаходитись у завислому стані. Найбільш дрібні частки за розмірами наближаються до великих молекул, а розміри найбільш великих часток досягають 0,1 – 1 мкм.

**Аварійна вентиляція** – вентиляція, що передбачається у виробничих приміщеннях для видалення раптових викидів великої кількості шкідливих або горючих газів, парів чи аерозолів.

**Вибухонебезпечна установка** – окремий технологічний апарат або сукупність технологічного обладнання, у яких зберігаються або безпосередньо ви-

користовуються в технологічному процесі горючі гази, ЛЗР, ГР, горючі пил або волокна у кількості, за якої можливе утворення вибухонебезпечних зон (НПАОП 40.1-1.32-01).

*Виробниче приміщення* – приміщення, де розміщується основне і допоміжне обладнання, задіяне у виробничому процесі.

*Зовнішня установка* – установка, апарати й устаткування якої розміщені ззовні будинку на одному технологічному майданчику і пов'язані між собою єдиним технологічним процесом виробництва, транспортування та переробки продукції (наприклад, для аварійного зливання турбінного масла з турбогенераторів машинного залу енергопідприємств, для підготовки нафти до переробки (електрознесолювальна установка) на підприємствах нафтопереробної та нафтохімічної промисловості тощо).

*Лабораторне приміщення* – це спеціально обладнане приміщення, пристосоване для проведення спеціальних дослідів і досліджень (хімічних, фізичних, технічних, механічних, фізіологічних, психологічних тощо) зазвичай при вищих навчальних закладах, заводах, аптеках та ін.

*Розрахункова аварія* – найнесприятливіший варіант аварії або період нормальної роботи апаратів і/або технологічного устаткування, за якого у вибуху і/або горінні бере участь найбільша кількість речовин і/або матеріалів, найнебезпечніших щодо наслідків такого вибуху і/або горіння, вибраний для розрахунку значень критеріїв вибухопожежної небезпеки приміщення або зовнішньої установки.

### **3. СКОРОЧЕННЯ**

ВР	— вибухові речовини;
ГГ	— горючий газ;
ГР	— горюча рідина;
ЗВГ	— зріджені вуглеводневі гази;
ЛЗР	— легкозаймиста рідина.

### **4. ОСНОВНІ ПІДХОДИ ДО ВИЗНАЧЕННЯ КАТЕГОРІЙ ПРИМІЩЕНЬ ТА ЗОВНІШНІХ УСТАНОВОК ЗА ВИБУХОПОЖЕЖНОЮ І ПОЖЕЖНОЮ НЕБЕЗПЕКОЮ**

Вибір варіанта аварії та вихідних даних для розрахунку категорій приміщень і зовнішніх установок виконується після детального вивчення проектної документації технологічного процесу виробництва та технологічного регламенту.

Складна технологічна схема вибухонебезпечного виробництва перед початком розрахунку розділяється на взаємопов'язані технологічні блоки за прямим ходом технологічного процесу.

Межами для розділення технологічної схеми на блоки, окремі апарати або інші технологічні вузли, які містять вибухопожежонебезпечні продукти, може

служити запірною арматурою з ручним або дистанційним управлінням (у тому числі автоматичними відсікачами), яка встановлена на міжблочних трубопроводах як за прямим, так і за оберненим потоками горючих матеріальних середовищ.

Визначається категорія приміщення за вибухопожежною та пожежною небезпекою на підставі результатів розрахунку маси газів, парів ЛЗР та ГР, горючого пилу, що потрапили у приміщення, надлишкового тиску вибуху  $\Delta P$  та питомої пожежної навантаги.

Як розрахункову температуру  $t_p$  слід приймати максимально можливу температуру повітря в даному приміщенні у відповідній кліматичній зоні або максимально можливу температуру повітря за технологічним регламентом з урахуванням можливого підвищення температури у разі розрахункової аварії.

Довідкові дані щодо показників пожежної небезпеки деяких речовин і матеріалів та їх теплофізичні характеристики наведені у додатку 1 до цього посібника.

Під час розрахунку значень критеріїв за вибухопожежною та пожежною небезпекою приміщень як розрахунковий метод потрібно вибирати найбільш несприятливий варіант аварії або період нормальної роботи апаратів і/або технологічного устаткування (далі – апаратів), за якого у вибусі і/або горінні бере участь найбільша кількість речовин і/або матеріалів, найнебезпечніших щодо наслідків такого вибуху і/або горіння.

Кількість речовин, що потрапили до приміщення і можуть утворювати вибухо-небезпечні газо-, пило- або пароповітряні суміші, визначають за таких умов:

а) відбувається розрахункова аварія одного з апаратів відповідно до 7.1.1 ДСТУ;

б) увесь уміст апарата потрапляє до приміщення;

в) відбувається одночасне витікання речовин із трубопроводів, що живлять апарат за прямим і зворотним потоками протягом проміжку часу, який необхідний для перекривання трубопроводів.

Розрахунковий час перекривання трубопроводів визначається у кожному конкретному випадку, виходячи з реальної обстановки, і має бути мінімальним з урахуванням паспортних даних на запірні пристрої, характеру технологічного процесу та виду розрахункової аварії.

Розрахунковий час перекривання трубопроводів слід приймати таким, що дорівнює:

1) часу спрацювання (приведення в дію) системи автоматики відключення (перекривання) трубопроводів – згідно з паспортними даними установки (елементів відключення системи автоматики), якщо імовірність відмови системи автоматики не перевищує  $10^{-6}$  на рік або забезпечується резервування її елементів;

2) 120 с, якщо імовірність відмови системи автоматики перевищує  $10^{-6}$  на рік та не забезпечується резервування її елементів;

3) 300 с – у разі ручного відключення (перекривання).

Не дозволяють використовувати технічні засоби для перекривання трубопроводів, для яких час перекривання перевищує наведені вище значення.



Швидкодіючі клапани-відсікачі мають автоматично перекривати подавання газу (рідини) по трубопроводах у разі порушення електропостачання або спрацювання систем пожежної сигналізації та автоматичних систем пожежогасіння чи газоаналізаторів, або різкого падіння тиску у трубопроводах;

г) відбувається випаровування з поверхні рідини, що розлилася; площа випаровування, у разі розливу на підлогу, визначається (за відсутності довідникових або експериментальних даних) виходячи з розрахунку, що 1 л розчинів, які містять 70% і менше (за масою) розчинників, розливається на площі 0,5 м<sup>2</sup>, а інших рідин – на 1 м<sup>2</sup> підлоги приміщення;

д) відбувається також випаровування рідини з поверхонь відкритих ємностей технологічного устаткування та з поверхонь, на які за технологічним процесом нанесена горюча рідина, що на час аварії знаходиться у стадії висихання;

е) тривалість випаровування рідини приймається рівною часу її повного випаровування, але не більше ніж 3600 с.

Кількість пилу, що може утворювати вибухонебезпечну суміш, визначають виходячи з таких передумов:

а) розрахунковій аварії передувало накопичення пилу у виробничому приміщенні, що відбувалося в умовах нормального режиму роботи (наприклад, унаслідок виділення пилу з негерметичного виробничого устаткування);

б) у момент розрахункової аварії відбулася планова (ремонтні роботи) або позапланова розгерметизація одного з технологічних апаратів, у результаті якої відбувся аварійний викид у приміщення усього пилу, що знаходився в апараті.

Вільний об'єм приміщення визначають як різницю між геометричним об'ємом приміщення з урахуванням підвісних стель і фальш підлог, у разі їх наявності, та об'ємом, який займає технологічне устаткування. Якщо вільний об'єм приміщення визначити неможливо, дозволено приймати його рівним 80% від геометричного об'єму приміщення.

Якщо під час розрахункової аварії можливе виділення ГГ, парів ЛЗР та ГР, горючих пилу і/або волокон, надтишковий тиск вибуху у приміщенні слід визначити за обраним найбільш несприятливим варіантом аварії або періодом нормальної роботи апаратів, при якому у вибусі бере участь найбільша кількість речовин і матеріалів, найбільш небезпечних щодо наслідків вибуху, що містяться в одному апараті.

Необхідні дані для технологічного блоку доцільно визначати за технологічним регламентом і паспортними даними на обладнання.

Параметрами, які характеризують речовини і матеріали як найбільш небезпечні у відношенні вибуху, є агрегатний стан речовини (горючі гази, зрідженні горючі гази, ЛЗР, ГР, вибухонебезпечний пил та волокна), а також параметри процесу (підвищена температура й тиск, які сприяють інтенсивному розпиленню і випаровуванню під час аварійної розгерметизації).

При прогнозуванні аварійних ситуацій, які пов'язані з виходом ЛЗР та ГР, необхідно додатково враховувати випаровування рідин із відкритих у нормальних умовах ємностей і апаратів, із різних розпилювальних пристроїв, а також зі свіжопофарбованих поверхонь.

**Примітка.** Допускається можливість визначення категорій приміщень за консервативним методом, тобто без розрахунків за найгіршим варіантом із призначенням найбільш небезпечної категорії для приміщення.

#### **4.1. Розрахункові формули для визначення критеріїв вибухонебезпечної небезпеки**

Надлишковий тиск вибуху ( $\Delta P$ , кПа) для індивідуальних горючих речовин, які складаються із атомів С, Н, О, Cl, Br, I, F, N:

$$\Delta P = (P_{\max} - P_o) \cdot \frac{m \cdot Z}{V_{\text{вільн}} \cdot \rho_{\text{ст}}} \cdot \frac{100}{C_{\text{ст}}} \cdot \frac{1}{K_s}, \quad (1)$$

де:  $P_{\max}$  – максимальний тиск вибуху стехіометричної газо- або пароповітряної суміші у замкнутому об'ємі. У разі відсутності довідникових даних дозволено приймати  $P_{\max}$  таким, що дорівнює 900 кПа;

$P_o$  – атмосферний тиск, кПа (дозволено приймати таким, що дорівнює 101,3 кПа);

$m$  – маса ГГ і/або парів ЛЗР та ГР, що потрапили в результаті розрахункової аварії до об'єму приміщення, кг;

$Z$  – коефіцієнт участі ГГ і/або парів ЛЗР та ГР у вибусі. Дозволено приймати значення  $Z$  відповідно до таблиці 2 ДСТУ;

$V_{\text{вільн}}$  – вільний об'єм приміщення, м<sup>3</sup>.

$\rho_{\text{ст}}$  – густина ГГ або парів ЛЗР та ГР за розрахункової температури  $t_p$ , кг·м<sup>-3</sup>, що визначають за формулою:

$$\rho_{\text{ст}} = \frac{M}{V_o \cdot (1 + 0,00367 \cdot t_p)}, \quad (2)$$

де:  $M$  – молярна маса, кг·кмоль<sup>-1</sup>;

$V_o$  – мольний об'єм, що дорівнює 22,413 м<sup>3</sup>·кмоль<sup>-1</sup>;

$t_p$  – розрахункова температура, °C;

$C_{\text{ст}}$  – стехіометрична концентрація ГГ або парів ЛЗР та ГР, % (об), що визначають за формулою:

$$C_{\text{ст}} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot \beta}, \quad (3)$$

$$\text{де } \beta = n_c + \frac{n_n - n_x}{4} - \frac{n_o}{2} \quad (4)$$

– стехіометричний коефіцієнт кисню в реакції горіння (під час розрахунку  $\beta$  атоми азоту не враховують);

$n_c, n_n, n_o, n_x$  – число атомів С, Н, О і галогенів у молекулі ГГ або парів ЛЗР та ГР;

$K_s$  – коефіцієнт, що враховує негерметичність приміщення й неадіабатич-

ність процесу горіння. Дозволено приймати  $K_n$ , що дорівнює 3.

Надлишковий тиск вибуху ( $\Delta P$ , кПа) для індивідуальних горючих речовин, крім тих, для яких надлишковий тиск вибуху визначається за формулою (1), а також для сумішей:

$$\Delta P = \frac{m \cdot H_r \cdot P_o \cdot Z}{V_{\text{вільн}} \cdot \rho_n \cdot C_p \cdot T_o} \cdot \frac{1}{K_n}, \quad (5)$$

де:  $H_r$  – теплота згоряння, Дж•кг<sup>-1</sup>;

$\rho_n$  – густина повітря до вибуху за початкової температури  $T_o$ , кг•м<sup>-3</sup>;

$C_p$  – теплоємність повітря, Дж•(кг<sup>-1</sup>•К<sup>-1</sup>) (дозволено приймати рівною 1,01•10<sup>3</sup> Дж•(кг<sup>-1</sup> К<sup>-1</sup>));

$T_o$  – початкова температура повітря, К.

Коефіцієнт  $K$ , який враховує роботу вентиляції:

$$K = A \cdot \tau + 1, \quad (6)$$

де:  $A$  – кратність повітрообміну, с<sup>-1</sup>;

$\tau$  – тривалість потрапляння ГГ і/або парів ЛЗР і ГР до об'єму приміщення, с (приймається за 7.1.2 ДСТУ).

Масу горючого газу  $m$ , кг, що потрапив до приміщення під час розрахункової аварії, визначають за формулою:

$$m = (V_a + V_r) \cdot \rho_r, \quad (7)$$

де:  $V_a$  – об'єм ГГ, що вийшов з апарата, м<sup>3</sup>;

$V_r$  – об'єм ГГ, що вийшов з трубопроводів, м<sup>3</sup>;

$\rho_r$  – густина ГГ за розрахункової температури  $t_p$ , кг•м<sup>-3</sup>.

При цьому 
$$V_r = \frac{P}{P_o} \cdot V = 0,01 \cdot P_i \cdot V, \quad (8)$$

де:  $P_i$  – тиск в апараті, кПа;

$V$  – об'єм апарата, м<sup>3</sup>;

$P_o$  – атмосферний тиск, що дорівнює 101,3 кПа;

$$V_r = V_{1r} + V_{2r}, \quad (9)$$

де:  $V_{1r}$  – об'єм ГГ, що вийшов з трубопроводів до їх перекривання, м<sup>3</sup>;

$V_{2r}$  – об'єм ГГ, що вийшов з трубопроводу після їх перекривання, м<sup>3</sup>;



$$V_{1T} = q \cdot \tau_n, \quad (10)$$

де:  $q$  – витрата ГГ, яку визначають згідно з технологічним регламентом залежно від тиску в трубопроводі, його діаметра, температури газового середовища тощо,  $\text{м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$ ;

$\tau_n$  – час перекривання, с.

$$V_{2T} = \pi \frac{P_2}{P_0} \cdot (r_1^2 L_1 + r_2^2 L_2 + \dots + r_n^2 L_n) = 0,01\pi \cdot P_2 (r_1^2 L_1 + r_2^2 L_2 + \dots + r_n^2 L_n) \quad (11)$$

де:  $P_2$  – максимальний тиск газу у трубопроводі за технологічним регламентом, кПа;

$r$  – внутрішній радіус трубопроводів, м;

$L$  – довжина трубопроводів від аварійного апарата до засувки, м;

$P_0$  – атмосферний тиск, що дорівнює 101,3 кПа.

Масу парів ЛЗР та ГР,  $m$ , кг, які потрапили до приміщення за наявності кількох джерел випаровування, визначають за формулою:

$$m = m_p + m_{\text{емн}} + m_{\text{св}}, \quad (12)$$

де:  $m_p$  – маса рідини, що випарувалася з поверхні рідини, яка розлилася, кг;

$m_{\text{емн}}$  – маса рідини, що випарувалася з поверхонь відкритих ємностей технологічного устаткування, кг; :

$m_{\text{св}}$  – маса рідини, що випарувалася з поверхонь зі свіжонанесеною горючою рідиною, яка на час аварії знаходиться у стадії висихання, кг.

За цих умов кожний доданок  $m_p$ ,  $m_{\text{емн}}$ ,  $m_{\text{св}}$  у формулі (12) визначають за формулою:

$$m = W \cdot F_{\text{в}} \cdot \tau_{\text{в}}, \quad (13)$$

де:  $W$  – інтенсивність випаровування,  $\text{кг} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{м}^{-2}$ ;

$F_{\text{в}}$  – площа випаровування,  $\text{м}^2$ ;

$\tau_{\text{в}}$  – тривалість випаровування ЛЗР та ГР до приміщення, с.

Інтенсивність випаровування  $W$ ,  $\text{кг} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{м}^{-2}$ , розраховують за формулою:

$$W = 10^{-6} \cdot \eta \cdot \sqrt{M} \cdot P_{\text{н}}, \quad (14)$$

де:  $\eta$  – коефіцієнт, який приймають відповідно до таблиці 1 залежно від швидкості повітряного потоку, що створюється вентиляцією над поверхнею випаровування, і температури повітряного потоку над поверхнею випаровування (у разі відсутності вентиляції  $\eta$  дорівнює 1);

$M$  – молярна маса,  $\text{кг кмоль}^{-1}$ ;

$P_{\text{н}}$  – тиск насиченої пари, кПа, за розрахунковою температурою рідини,

визначений за довідниковими даними, або за формулами:

$$P_H = 0,133 \cdot 10^{\left( A - \frac{B}{C_a + t_p} \right)}, \quad (15)$$

де:  $A, B, C_a$  – константи Антуана (довідникові дані), визначені, коли тиск насичених парів вимірюють у мм. рт. ст.

$$P_H = 10^{\left( A - \frac{B}{C_a + t_p} \right)}, \quad (16)$$

де:  $A, B, C_a$  – константи Антуана (довідникові дані), визначені, коли тиск насичених парів вимірюють у кПа;

$t_p$  – розрахункова температура рідини, °C.

Таблиця 1 – Значення коефіцієнта  $\eta$  залежно від швидкості повітряного потоку і температури повітря у приміщенні

Швидкість повітряного потоку в приміщенні, м·с <sup>-1</sup>	Значення коефіцієнта $\eta$ за температури повітря у приміщенні $t$ , °C					
	10	15	20	30	35	37
0,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
0,1	3,0	2,6	2,4	1,8	1,6	1,6
0,2	4,6	3,8	3,5	2,4	2,3	2,3
0,3	5,3	4,5	4,1	2,8	2,6	2,6
0,4	6,0	5,1	4,7	3,2	2,9	2,8
0,5	6,6	5,7	5,4	3,6	3,2	3,1
0,6	7,3	6,3	5,9	4,0	3,5	3,4
0,7	7,9	6,9	6,4	4,4	3,8	3,7
0,8	8,6	7,5	6,8	4,8	4,1	4,0
0,9	9,3	8,1	7,3	5,2	4,4	4,3
1,0	10,0	8,7	7,7	5,6	4,6	4,4

*Примітка.* Швидкість повітряного потоку слід визначати експериментально або розрахунком

Швидкість повітряного потоку в приміщенні ( $u$ , м/с) може бути визначена за формулою:

$$u = A \cdot l, \quad (17)$$

де:  $A$  – кратність повітрообміну, с<sup>-1</sup>;

$l$  – довжина приміщення, м.

Масу парів,  $m_{\text{нагр}}$ , кг, при випаровуванні рідини, що нагріта вище розрахункової температури, але не вище температури кипіння рідини, визначають за формулою:

$$m_{\text{нагр}} = 0,02 \cdot \sqrt{M} \cdot P_n \cdot \frac{C_p \cdot m_p}{L_{\text{вип}}}, \quad (18)$$

де:  $C_p$  – питома теплоємність рідини при початковій температурі випаровування, Дж•кг<sup>-1</sup>•К<sup>-1</sup>;

$M$  – молярна маса рідини, кг кмоль<sup>-1</sup>;

$L_{\text{вип}}$  – питома теплота випаровування рідини при початковій температурі випаровування, що визначають за довідниковими даними, Дж•кг<sup>-1</sup>;

$m_p$  – маса рідини, кг.

За відсутності довідникових даних дозволено визначати  $L_{\text{вип}}$  за формулою:

$$L_{\text{вип}} = \frac{19,173 \cdot 10^3 \cdot B \cdot T_a^2}{(T_a + C_a - 273,2)^2 \cdot M}, \quad (19)$$

де  $B$ ,  $C_a$  – константи рівняння Антуана, які визначають за довідниковими даними для тиску насичених парів, що вимірюють у кПа;

$T_a$  – початкова температура нагрітої рідини, °К.

Розрахунок надлишкового тиску вибуху для горючого пилу  $\Delta P$ , кПа, обчислюють за формулою (5),

де:  $Z$  – коефіцієнт участі пилу в завислому стані (стані аерозолі) у вибусі розраховують за формулою:

$$Z = 0,5 \cdot M_{\text{кр}}, \quad (20)$$

де:  $M_{\text{кр}}$  – масова частка частинок пилу розміром менше критичного. У разі відсутності можливості отримання даних щодо масової частки частинок пилу розміром частинок менше критичного дозволено приймати  $Z = 0,5$ .

Розрахункову масу горючого пилу,  $m_{\text{зн}}$ , кг, що знаходиться у стані аерозолі в об'ємі приміщення у результаті розрахункової аварії, визначають за формулою:

$$m_{\text{зн}} = \min \left\{ \begin{array}{l} m_{\text{вз}} + m_{\text{ав}} \\ \rho_{\text{ст}} \cdot V_{\text{ав}} / Z \end{array} \right., \quad (21)$$

де:  $m_{\text{вз}}$  – розрахункова маса частини відкладеного у приміщенні пилу, що перейшов у стан аерозолі, кг;

$m_{\text{ав}}$  – розрахункова маса горючого пилу, що потрапив до об'єму приміщення з апарата у результаті розрахункової аварії та перейшов у стан аерозолі, кг;

**Примітка.** У формулі (21) приймають мінімальне значення маси горючого пилу, що була обчислена за двома способами

– стехіометрична концентрація горючого пилу в аерозолі, кг•м<sup>-3</sup>;

– розрахунковий об'єм пилоповітряної хмари, утвореної при аварійній ситуації в об'ємі приміщення, м<sup>3</sup>.

$\rho_{\text{ст}}$  За відсутності можливості отримання відомостей для розрахунку до-



$V_{ae}$  пускається приймати:

$$m_{en} = m_{3e} + m_{ae} \quad (22)$$

Розрахункову масу частини відкладеного у приміщенні горючого пилу  $m_{3e}$ , кг, що перейшов у стан аерозолі, визначають за формулою:

$$m_{3e} = K_{3e} \cdot m_n, \quad (23)$$

де:  $K_{3e}$  – частка горючого пилу, що відклався у приміщенні, який здатний перейти у стан аерозолі в результаті розрахункової аварії. У разі відсутності експериментальних даних щодо значення  $K_{3e}$ , допускається приймати  $K_{3e} = 0,9$ ; – маса горючого пилу, що відклався у приміщенні до моменту розрахункової аварії, кг.

Розрахункову масу горючого пилу  $m_{ae}$ , кг, що потрапив до об'єму приміщення з апарата у результаті розрахункової аварії та перейшов у стан аерозолі, визначають за формулою:

$$m_{ae} = (m_{an} + q \cdot \tau_n) \cdot K_n \quad (24)$$

де  $m_{an}$  – маса горючого пилу, що потрапив до приміщення з апарата, кг;

$q$  – витрата, з якою продовжують надходити пилоподібні речовини до аварійного апарата по трубопроводах до моменту їх перекривання,  $\text{кг} \cdot \text{с}^{-1}$ ;

$\tau_n$  – розрахунковий час перекривання, с;

$K_n$  – коефіцієнт пилення, що являє собою відношення маси пилу в стані аерозолі до всієї маси пилу, який вийшов з апарата до приміщення. У разі відсутності експериментальних даних щодо значення  $K_n$ , дозволено приймати:

а) для пилу з дисперсністю не менш ніж 350 мкм  $K_n = 0,5$ ;

б) для пилу з дисперсністю менш ніж 350 мкм  $K_n = 1,0$ .

Масу горючого пилу  $m_n$ , кг, що відклався у приміщенні до моменту аварії, визначають за формулою:

$$m_{np} = K_r \cdot (1 - K_{np}) \cdot (m_1 + m_2) \quad (25)$$

де:  $K_r$  – частка горючого пилу в загальній масі відкладень пилу;

$m_1$  – маса пилу, що осідає на важкодоступних для прибирання поверхнях у приміщенні за період часу між генеральними прибираннями, кг;

$m_2$  – маса пилу, що осідає на доступних для прибирання поверхнях у приміщенні за період часу між поточними прибираннями, кг;

$K_{np}$  – коефіцієнт ефективності пилоприбирання, що приймають у разі прибирання пилу вручну:

- сухого прибирання – 0,6;

- вологого прибирання – 0,7.

У разі застосування автоматичних засобів пилоприбирання коефіцієнт

ефективності пилоприбирання  $K_{np}$  становить:

- для рівної підлоги – 0,9;
- для підлоги з вибоїнами (до 5% площі) – 0,7.

Під важкодоступними для прибирання розуміють такі поверхні у виробничих приміщеннях, очищення яких здійснюють тільки під час генеральних прибирань пилу. Під доступними для прибирання розуміють такі поверхні у виробничих приміщеннях, пил з яких видаляють у процесі поточних прибирань (щозміни, щодоби тощо).

Масу пилу  $m_i$ , кг ( $i = 1$  (важкодоступні поверхні);  $i = 2$  (доступні поверхні), що осідає на різних поверхнях у приміщенні за період між прибираннями, визначають за формулою:

$$m_i = M_i \cdot (1 - \alpha) \cdot \beta_i \quad (i = 1, 2) \quad (26)$$

де  $M_1 = \sum_{j=1}^n M_{1j}$  – маса пилу, що потрапляє до об'єму приміщення за період

часу між генеральними прибираннями пилу, кг;

$M_{1j}$  – маса пилу, що виділяється одиницею устаткування, яке пилить, за період часу між генеральними прибираннями пилу, кг;

$M_2 = \sum_{j=1}^n M_{2j}$  – маса пилу, що потрапляє до об'єму приміщення за період часу

між поточними прибираннями пилу, кг;

$M_{2j}$  – маса пилу, що виділяється одиницею устаткування, яке пилить, за період часу між поточними прибираннями пилу, кг;

$\alpha$  – частка пилу, що потрапляє до об'єму приміщення і який видаляється витяжними вентиляційними системами. У разі відсутності експериментальних даних щодо значення  $\alpha$  приймають  $\alpha = 0$ ;

$\beta_1, \beta_2$  – частки пилу, який потрапляє до об'єму приміщення та осідає відповідно на важкодоступних і доступних для прибирання поверхнях приміщення ( $\beta_1 + \beta_2 = 1$ ).

У разі відсутності експериментальних даних щодо значень коефіцієнтів  $\beta_1$  та  $\beta_2$  дозволено приймати  $\beta_1 = 1, \beta_2 = 0$ .

Значення  $M_i$  ( $i = 1; 2$ ) може бути також визначено експериментально (або за аналогією з виробництвами, що експлуатуються) у період максимального завантаження устаткування за формулою:

$$M_i = \sum_{j=1}^n (G_{ij} \cdot F_{ij}) \cdot \tau_i, (i = 1; 2) \quad (27)$$

де:  $G_{1j}, G_{2j}$  – інтенсивність відкладення пилу відповідно на важкодоступ-

них  $F_{1j}$  ( $\text{м}^2$ ) і доступних  $F_{2j}$  ( $\text{м}^2$ ) поверхнях,  $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ ;

$\tau_p, \tau_2$  – проміжки часу відповідно між генеральними і поточними прибираннями пилу, с.

Розрахунковий надлишковий тиск вибуху  $\Delta P$  для складних вибухонебезпечних сумішей, які містять ГГ, пари ЛЗР та ГР і/або горючий пил, визначають за формулою:

$$\Delta P = \Delta P_1 + \Delta P_2, \quad (28)$$

де:  $\Delta P_1$  – тиск вибуху, що обчислений для ГГ, парів ЛЗР та ГР;

$\Delta P_2$  – тиск вибуху, що обчислений для горючого пилу.

Пожежну навантагу  $Q$ , МДж, складові якої є тверді й рідкі легкозаймисті, горючі та важкогорючі речовини і/або матеріали у межах пожежонебезпечної ділянки, визначають за формулою:

$$Q = \sum_{i=1}^n G_i \cdot Q_i^p, \quad (29)$$

де:  $G_i$  – кількість і-ої складової пожежної навантаги, кг;

$Q_i^p$  – найнижча теплота згорання і-ої складової пожежної навантаги, МДж $\cdot$ кг $^{-1}$ .

*Примітка.* Лакофарбове покриття стін, шпалери відносяться до постійної пожежної навантаги приміщень і в розрахунках не враховуються

У разі відсутності довідникових значень найнижчої теплоти згорання,  $Q_i^p$ , кДж/кг, її можна визначити для твердих та рідких матеріалів при встановленому елементному складі речовини розрахунковим шляхом за формулою Д.І. Менделєєва:

$$Q_i^p = 339 \cdot C + 1256 \cdot H - 109 \cdot (O - S_L) - 25,14 \cdot (9 \cdot H + W),$$

де  $C, H, O, S_L, W$  – частка карбону (вуглецю), гідрогену (водню), оксисену (кисню), летючого сульфуру (сірки) та води у % (за масою).

Питому пожежну навантагу  $g_p$ , МДж $\cdot$ м $^{-2}$ , визначають із співвідношення:

$$g_p = \frac{Q}{F_{пн}}, \quad (30)$$

де  $F_{пн}$  – площа розміщення складових пожежної навантаги, м $^2$  (при розташуванні складових пожежної навантаги на площі, меншій ніж 10 м $^2$ , для розрахунків приймається площа 10 м $^2$ ).

*Примітка.* Площу розміщення горючих матеріалів, якщо вони розташовані по вертикалі на стінах (кабельні траси), розраховують за площею їх розміщення на стіні та використовують отримане значення для розрахунків у формулі (30)

У приміщеннях категорії Д відстані між ділянками, що містять складові пожежної навантаги (тверді горючі й важкогорючі матеріали), мають бути не меншими за мінімальні граничні значення  $l_{ep}, l_{ep1}$  та  $l_{ep2}$ , які наведені у таблиці



2 та відповідно 7.6.7, 7.6.8 ДСТУ.

Таблиця 2 – Значення мінімальних граничних відстаней,  $l_{gr1}$ , залежно від величини критичної поверхневої густини падаючих променистих потоків  $q_{кр}$

$q_{кр}, \text{кВт}\cdot\text{м}^{-2}$	5	10	15	20	25	30	40	50
$l_{gr1}, \text{м}$	12	8	6	5	4	3,8	3,2	2,8

Примітка.  $q_{кр}, \text{кВт}\cdot\text{м}^{-2}$ , критична поверхнева густина променистого потоку – мінімальне значення густини теплового потоку, за якого виникає стійке полуменеве горіння матеріалів, на які падає променистий потік

Значення  $l_{gr1}$  приймають за умови, якщо  $H \geq 11 \text{ м}$ ; якщо  $H < 11 \text{ м}$ , то мінімальну граничну відстань визначають як  $l_{gr} = l_{gr1} + (11 - H)$ , де  $l_{gr1}$  приймають відповідно до таблиці 4,  $H$  – мінімальна відстань від поверхні пожежної навантаги до нижнього пояса ферм перекриття (покриття), м.

Значення  $q_{кр}$  (за тривалості опромінення 15 хв) для деяких матеріалів пожежної навантаги наведені у таблиці 3.

Таблиця 3 – Значення  $q_{кр}$  для деяких матеріалів пожежної навантаги

Матеріал	$q_{кр}, \text{кВт}\cdot\text{м}^{-2}$
Деревина (сосна вологістю 12%)	13,9
Деревостружкові плити (питома вага $417 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$ )	8,3
Торфобрикети	13,2
Торф шматковий	9,8
Бавовна-волокно	7,5
Шаруватий пластик	15,4
Склопластик	15,3
Пергамін	17,4
Гума	14,8
Вугілля	35,0
Рулонна покрівля	17,4
Сіно, солома (при мінімальній вологості до 8%)	7,0

Якщо пожежна навантага під час розрахункової аварії складається з різних матеріалів, то значення  $q_{кр}$  визначають за матеріалом з мінімальним значенням  $q_{кр}$ .

Для матеріалів пожежної навантаги з невідомими значеннями  $q_{кр}$  приймають  $l_{gr1} \geq 12 \text{ м}$ .

Якщо пожежна навантага складається з ЛЗР та ГР, мінімальну граничну відстань  $l_{gr2}$  між сусідніми ділянками розміщення (розливу) складових пожежної навантаги у приміщеннях категорії Д визначають за формулами:

$$l_{zp2} \geq 15 \text{ м,} \quad \text{при } H \geq 11 \text{ м,} \quad (31)$$

$$l_{zp2} \geq 26 - H, \quad \text{при } H < 11 \text{ м} \quad (32)$$

Якщо величина пожежної навантаги  $Q$ , МДж, що складається з твердих і рідких легкозаймистих, горючих та важкогорючих речовин і/або матеріалів, на окремій ділянці відповідає нерівності:

$$Q \geq 0,64 \cdot g_T \cdot H^2, \quad (33)$$

де:  $g_T$  – питома пожежна навантага, МДж  $\text{м}^{-2}$ ;

$H$  – мінімальна відстань від пожежної навантаги (окрім кабельних ліній) до нижнього пояса незахищених металевих ферм або перекриття (покриття), то приміщення відноситься до категорії В.

Якщо  $g_T < 180$  МДж  $\text{м}^{-2}$ , то для розрахунку величина  $g_T$  приймається рівною 180 МДж  $\cdot \text{м}^{-2}$ .

Гранична площа окремої ділянки  $S_{zp}$ ,  $\text{м}^2$ , у приміщеннях категорії Д, на якій дозволяється розміщення пожежної навантаги, що складається із твердих та рідких легкозаймистих, горючих і важкогорючих речовин і/або матеріалів, визначається за формулою:

$$S_{zp} = 0,64 \cdot H^2 \quad (34)$$

Масу парів ЛЗР та ГР  $m_{II}$ , кг, що потрапили до навколишнього простору за наявності кількох джерел випаровування (поверхня рідини, що розлилася; поверхні відкритих ємностей технологічного устаткування; поверхні зі свіжонанесеною горючою рідиною, що на час аварії знаходиться у стадії висихання, тощо), визначають за формулою:

$$m_{II} = m_p + m_{емн} + m_{св} + m_{пер}, \quad (35)$$

де:  $m_p$  – маса рідини, що випарувалася з поверхні розливу, кг;

$m_{емн}$  – маса рідини, що випарувалася з поверхонь відкритих ємностей технологічного устаткування, кг;

$m_{св}$  – маса рідини, яка випарувалася з поверхонь зі свіжонанесеною горючою рідиною, що на час аварії знаходиться у стадії висихання, кг;

$m_{пер}$  – маса рідини, що випарувалася до навколишнього простору в разі її перегрівання, кг.

Масу парів перегрітої рідини  $m_{пер}$ , кг, що випарувалася до навколишнього простору, визначають, якщо  $T_a > T_{кип}$ , за формулою:

$$m_{пер} = \min \left\{ 0,8 \cdot m_{II}; \frac{C_p \cdot (T_a - T_{кип})}{L_{сип}} \cdot m_{пер} \right\}, \quad (36)$$

де:  $m_{пер}$  – маса перегрітої рідини, що вийшла назовні, кг;

$C_p$  – питома теплоємність рідини за температури перегрівання рідини

$T_a$ , Дж·кг<sup>-1</sup>·К<sup>-1</sup>;

$T_a$  – температура перегрітої рідини відповідно до технологічного регламенту в технологічному апараті, К;

$T_{\text{кип}}$  – нормальна температура кипіння рідини, К;

$L_{\text{вип}}$  – питома теплота випаровування рідини за температури перегрівання рідини  $T_a$ , Дж·кг<sup>-1</sup>.

Для зріджених вуглеводневих газів, у разі відсутності даних, дозволено розраховувати питому масу ЗВГ  $m_{362}$ , кг·м<sup>-2</sup>, випаруваного з розливу, за формулою:

$$m_{362} = \frac{M}{L_{\text{вип}}} \cdot (T_o - T_{362}) \cdot \left( 2 \cdot \lambda_{\text{мм}} \cdot \sqrt{\frac{\tau}{\pi \cdot a}} + \frac{5,1 \cdot \sqrt{R_e} \cdot \lambda_n \cdot \tau_n}{d} \right), \quad (37)$$

де:  $M$  – молярна маса ЗВГ, кг кмоль<sup>-1</sup>;

$L_{\text{вип}}$  – мольна теплота випаровування ЗВГ за початкової температури ЗВГ, Дж·моль<sup>-1</sup>;

$T_o$  – початкова температура матеріалу, на поверхню якого розливається ЗВГ, К;

$T_{362}$  – початкова температура ЗВГ, К;

$\lambda_{\text{мм}}$  – коефіцієнт теплопровідності матеріалу, на поверхню якого розливається ЗВГ, Вт·м<sup>-1</sup>·К<sup>-1</sup>;

$a = \frac{\lambda_{\text{мм}}}{C_{\text{мм}} \cdot \rho_{\text{мм}}}$  – коефіцієнт температуропровідності матеріалу, на поверхню

якого розливається ЗВГ, м<sup>2</sup>·с<sup>-1</sup>;

$C_{\text{мм}}$  – теплоємність матеріалу, на поверхню якого розливається ЗВГ, Дж·кг<sup>-1</sup>·К<sup>-1</sup>;

$\rho_{\text{мм}}$  – густина матеріалу, на поверхню якого розливається ЗВГ, кг·м<sup>-3</sup>;

$\tau_n$  – час, с, який приймається рівним часу повного випаровування ЗВГ, але не більше ніж 3600 с;

$Re = \frac{U \cdot d}{\nu_n}$  – число Рейнольдса;

$U$  – швидкість повітряного потоку, м·с<sup>-1</sup>;

$d = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi}}$  – характерний розмір розливу ЗВГ, м;

$\nu_n$  – кінематична в'язкість повітря, м<sup>2</sup>·с<sup>-1</sup>;

$\lambda_n$  – коефіцієнт теплопровідності повітря, Вт·м<sup>-1</sup>·К<sup>-1</sup>.

Формула (37) справедлива для ЗВГ з температурою  $T_{362} \leq T_{\text{кип}}$ . За температури ЗВГ  $T_{362} > T_{\text{кип}}$  додатково розраховують масу перегрітих ЗВГ  $m_{\text{пер}}$  за формулою (36).

Горизонтальні розміри зони  $R_{\text{нкмн}}$ , м, які обмежують область концентрацій, що перевищують нижню концентраційну межу поширення полум'я  $C_{\text{нкмн}}$ , обчислюють за формулами:



- для горючих газів:

$$R_{\text{нкмл}} = 14,5632 \cdot \left( \frac{m_z}{\rho_z \cdot C_{\text{нкмл}}} \right)^{0,333}, \quad (38)$$

- для парів легкозаймистих рідин, не нагрітих вище температури навколишнього середовища:

$$R_{\text{нкмл}} = 3,1501 \cdot \sqrt{K} \cdot \left( \frac{P_n}{C_{\text{нкмл}}} \right)^{0,813} \cdot \left( \frac{m_n}{\rho_n \cdot P_n} \right)^{0,333}, \quad (39)$$

$$\rho_{zn} = \frac{M}{V_o \cdot (1 + 0,00367 \cdot t_p)}, \quad (40)$$

де:  $m_z$  – маса ГГ, що потрапили до навколишнього простору під час розрахункової аварії, кг;

$\rho_z$  – густина ГГ за розрахункової температури й атмосферного тиску,  $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$ ;

$m_n$  – маса парів ЛЗР, що потрапили до навколишнього простору за час повного випаровування, але не більше ніж 3600 с, кг;

$\rho_n$  – густина парів ЛЗР за розрахункової температури й атмосферного тиску,  $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$ ;

$P_n$  – тиск насичених парів ЛЗР за розрахункової температури, кПа;

$K$  – коефіцієнт, значення якого приймається рівним  $\tau/3600$  для ЛЗР;

$C_{\text{нкмл}}$  – нижня концентраційна межа поширення полум'я по газо-, пароповітряній суміші, % (об);

$M$  – молярна маса,  $\text{кг} \cdot \text{кмоль}^{-1}$ ;

$V_o$  – мольний об'єм, що дорівнює  $22,413 \text{ м}^3 \cdot \text{кмоль}^{-1}$ ;

$t_p$  – розрахункова температура,  $^{\circ}\text{C}$ .

Величину розрахункового надлишкового тиску  $\Delta P$ , кПа, що розвивається у разі займання газо-, пароповітряних сумішей, визначають за формулою:

$$\Delta P = P_o \cdot (0,8 \cdot m_{np}^{0,33}/r + 3 \cdot m_{np}^{0,66}/r^2 + 5 \cdot m_{np}/r^3), \quad (41)$$

де:  $P_o$  – атмосферний тиск, кПа;

$r$  – відстань від геометричного центру зовнішньої установки до межі розрахункової зони, м.

Приведена маса ГГ і/або парів ЛЗР та ГР, кг, обчислюється за формулою:

$$m_{np} = (Q_{32}/Q_o) \cdot m \cdot Z, \quad (42)$$

де:  $Q_{32}$  – питома теплота згоряння ГГ і/або парів ЛЗР та ГР,  $\text{Дж} \cdot \text{кг}^{-1}$ ;

$Z$  – коефіцієнт участі ГГ і/або парів ЛЗР та ГР у горінні, який дозволено приймати рівним 0,1;

$Q_o$  – константа, що дорівнює  $4,52 \cdot 10^6 \text{ Дж} \cdot \text{кг}^{-1}$ ;

$m$  – маса ГГ( $m_z$ ) і/або парів ЛЗР та ГР ( $m_n$ ), які потрапили до навколишнього простору в результаті розрахункової аварії, кг.

Розрахункову масу горючого пилу  $m_{zn}$ , кг, що знаходиться у стані аерозолі у навколишньому просторі в результаті розрахункової аварії, визначають за формулою:

$$m_{zn} = \min \left\{ \begin{array}{l} m_{az} + m_{as} \\ \rho_{cm} \cdot V_{as} / Z \end{array} \right. , \quad (43)$$

де:  $m_{3z}$  – розрахункова маса частини відкладеного поблизу апарата (відстань від апарата визначається дослідним шляхом) горючого пилу, що перейшов у стан аерозолі, кг;

$m_{as}$  – розрахункова маса горючого пилу, що потрапив до навколишнього простору з апарата у результаті розрахункової аварії та перейшов у стан аерозолі, кг;

$\rho_{cm}$  – стехіометрична концентрація горючого пилу в аерозолі,  $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$ ;

$V_{as}$  – розрахунковий об'єм пилу повітряної хмари, утвореної при аварійній ситуації у навколишньому просторі,  $\text{м}^3$ .

За відсутності можливості отримання відомостей для розрахунку  $V_{as}$  дозволено приймати:

$$m_{zn} = m_{3z} + m_{as}, \quad (44)$$

*Примітка.* У формулі (43) приймають мінімальне значення маси горючого пилу, що була обчислена за двома способами

Розрахункову масу частини відкладеного поблизу апарата горючого пилу  $m_{3z}$ , кг, що перейшов у стан аерозолі, визначають за формулою:

$$m_{3z} = K_z \cdot K_{en} \cdot m_{ng}, \quad (45)$$

де:  $K_z$  – частка горючого пилу в загальній масі відкладень пилу;

$K_{en}$  – частка пилу, що відклався поблизу апарата, який здатний перейти у стан аерозолі в результаті розрахункової аварії. У разі відсутності експериментальних даних щодо значення  $K_{en}$  дозволено приймати  $K_{en} = 0,9$ ;

$m_{ng}$  – маса пилу, що відклався поблизу апарата до моменту розрахункової аварії, кг.

Надлишковий тиск  $\Delta P$ , що розвивається у разі займання горючого пилу, у відкритому просторі розраховують таким чином:

а) визначають приведену масу горючого пилу  $m_{np}$ , кг, за формулою:

$$m_{np} = m_n \cdot Z_n \cdot H_m / H_{mo}, \quad (46)$$

де:  $m_n$  – маса горючого пилу, що потрапив до навколишнього простору в результаті розрахункової аварії, кг;

$Z_n$  – коефіцієнт участі горючого пилу у вибусі і/або горінні, значення якого дозволено приймати рівним 0,1;

*Примітка.* В окремих обґрунтованих випадках значення  $Z$  може бути знижено, але не менш ніж до 0,02

$H_m$  – теплота згоряння пилу, Дж•кг<sup>-1</sup>;

$H_{mo}$  – константа, яка приймається рівною  $4,6 \cdot 10^6$  Дж•кг<sup>-1</sup>;

б) обчислюють розрахунковий надлишковий тиск  $\Delta P$ , кПа, за формулою:

$$\Delta P = P_0 \cdot (0,8 \cdot m_{np}^{0,33}/r + 3m_{np}^{0,66}/r^2 + 5m_{np}/r^3), \quad (47)$$

де:  $r$  – відстань від геометричного центру зовнішньої установки до межі розрахункової зони, м;

$P_0$  – атмосферний тиск, що дорівнює 101,3 кПа.

Інтенсивність теплового випромінювання  $q$ , кВт•м<sup>-2</sup>, під час горіння розливів горючих рідин або твердих горючих матеріалів обчислюють за формулою:

$$Q = E_f \cdot F_q \cdot \psi, \quad (48)$$

де:  $E_f$  – середньоповерхнева густина теплового випромінювання полум'я, кВт•м<sup>-2</sup>;

$F_q$  – кутовий коефіцієнт опромінення;

$\psi$  – коефіцієнт пропускання теплового випромінювання крізь атмосферу.

Значення  $E_f$  приймають на основі експериментальних даних. Для деяких видів рідкого вуглеводневого палива значення  $E_f$  наведені у таблиці 4. У разі відсутності даних дозволено приймати величину  $E_f$  рівною: 100 кВт•м<sup>-2</sup> – для ЗВГ; 40 кВт•м<sup>-2</sup> – для нафтопродуктів і твердих матеріалів.

Таблиця 4 – Середньоповерхнева густина теплового випромінювання полум'я  $E_f$  залежно від діаметра вогнища пожежі й питома масова швидкість вигорання  $M_v$  для деяких видів рідкого вуглеводневого палива

Паливо	$E_f$ , кВт • м <sup>-2</sup>					$M_v$ , кг•м <sup>-2</sup> •с <sup>-1</sup>
	$d=10$ м	$d=20$ м	$d=30$ м	$d=40$ м	$d=50$ м	
ЗПГ (Метан)	220	180	150	130	120	0,08
ЗВГ (Пропан-бутан)	80	63	50	43	40	0,10
Бензин	60	47	35	28	25	0,06
Дизельне паливо	40	32	25	21	18	0,04
Нафта	25	19	15	12	10	0,04
<i>Примітка.</i> Для діаметрів вогнищ пожежі менше 10 м або більше 50 м потрібно приймати величину $E_f$ таку саму, як і для вогнищ пожежі діаметром 10 м і 50 м відповідно						

За відсутності даних дозволено приймати величину  $E_f$  рівною 100 кВт•м<sup>-2</sup> для ЗВГ, 40 кВт•м<sup>-2</sup> – для нафтопродуктів, 40 кВт•м<sup>-2</sup> – для твердих матеріалів.

Розраховують характерний розмір розливу рідини  $d$ , м, за формулою:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi}}, \quad (49)$$

де:  $F$  – площа розливу, м<sup>2</sup>.

Обчислюють висоту полум'я  $H$ , м, за формулою:

$$H = 42 \cdot d \cdot \left( \frac{M_v}{\rho_n \cdot \sqrt{g \cdot d}} \right)^{0,61}, \quad (50)$$

де:  $M_v$  – питома масова швидкість вигорання палива, кг·м<sup>-2</sup>·с<sup>-1</sup>;

$\rho_n$  – густина навколишнього повітря, кг·м<sup>-3</sup>;

$g = 9,81$  м·с<sup>-2</sup> – прискорення вільного падіння.

Визначають кутовий коефіцієнт опромінення  $F_q$  за формулою:

$$F_q = \sqrt{F_v^2 + F_H^2}, \quad (51)$$

де:  $F_v$ ,  $F_H$  – фактори опромінення для вертикального і горизонтального майданчиків відповідно, які визначаються за формулами:

$$F_v = \frac{1}{\pi} \cdot \left[ \frac{1}{S} \cdot \operatorname{arctg} \left( \frac{h}{\sqrt{S^2 - 1}} \right) - \frac{h}{S} \cdot \left\{ \operatorname{arctg} \left( \sqrt{\frac{S-1}{S+1}} \right) - \frac{A}{\sqrt{A^2 - 1}} \cdot \operatorname{arctg} \left( \sqrt{\frac{(A+1) \cdot (S-1)}{(A-1) \cdot (S+1)}} \right) \right\} \right], \quad (52)$$

$$F_H = \frac{1}{\pi} \cdot \left[ \frac{(B-1/S)}{\sqrt{B^2 - 1}} \cdot \operatorname{arctg} \left( \sqrt{\frac{(B+1) \cdot (S-1)}{(B-1) \cdot (S+1)}} \right) - \frac{(A-1/S)}{\sqrt{A^2 - 1}} \cdot \operatorname{arctg} \left( \sqrt{\frac{(A+1) \cdot (S-1)}{(A-1) \cdot (S+1)}} \right) \right], \quad (53)$$

$$A = (h^2 + S^2 + 1) / (2 \cdot S), \quad (54)$$

$$B = (1 + S^2) / (2 \cdot S), \quad (55)$$

$$S = 2r/d, \quad (56)$$

$$H = 2H/d, \quad (57)$$

де:  $r$  – відстань від геометричного центру розливу (від зовнішньої установки) до об'єкта, що опромінюється, м.

Визначають коефіцієнт пропускання теплового випромінювання крізь атмосферу за формулою:

$$\psi = \exp [-7,0 \cdot 10^{-4} \cdot (r - 0,5 \cdot d)] \quad (58)$$

Інтенсивність теплового випромінювання для «вогняної кулі»  $q$ , кВт·м<sup>2</sup>, обчислюють за формулою (48).

Величину  $E_f$  визначають на основі експериментальних даних. Дозволено приймати величину  $E_f$  рівною 450 кВт·м<sup>2</sup>.

Значення  $F_q$  обчислюють за формулою:

$$F_q = \frac{H / D_s + 0,5}{4 \cdot \left[ (H / D_s + 0,5)^2 + (r / D_s)^2 \right]^{1,5}}, \quad (59)$$

де:  $H$  – висота центру «вогняної кулі», м;

$D_s$  – ефективний діаметр «вогняної кулі», м;

$r$  – відстань від об'єкта, що опромінюється, до точки на поверхні землі безпосередньо під центром «вогняної кулі», м.

Ефективний діаметр «вогняної кулі»  $D_s$ , м, визначають за формулою:

$$D_s = 5,33 \cdot m^{0,327}, \quad (60)$$

де:  $m$  – маса горючої речовини, кг.

Значення  $H$  визначають у ході спеціальних досліджень. Дозволено приймати величину  $H$  рівною  $D_s/2$ .

Проміжок часу існування «вогняної кулі»  $t_s$ , с, визначають за формулою:

$$t_s = 0,92 \cdot m^{0,303} \quad (61)$$

Коефіцієнт пропускання теплового випромінювання крізь атмосферу  $\psi$  розраховують за формулою:

$$\psi = \exp \left[ -7,0 \cdot 10^{-4} \cdot (\sqrt{r^2 + H^2} - D_s / 2) \right] \quad (62)$$

Коефіцієнт  $Z$  участі горючих газів і парів легкозаймистих рідин у вибусі за заданого рівня значущості  $Q$  ( $C > \bar{C}$ ) (рівень значущості у даному випадку – ймовірність того, що значення концентрації  $C$  перевищить значення математичного очікування цієї випадкової величини  $\bar{C}$ ) розраховують за формулами:

$$\begin{aligned} &\text{якщо } X_{\text{нкмл}} \leq \frac{1}{2} L \text{ та } Y_{\text{нкмл}} \leq \frac{1}{2} S \\ Z &= \frac{5 \cdot 10^{-3} \cdot \pi}{m} \rho_{\text{гн}} \left( c_0 + \frac{C_{\text{нкмл}}}{\delta} \right) \cdot X_{\text{нкмл}} \cdot Y_{\text{нкмл}} \cdot Z_{\text{нкмл}}; \end{aligned} \quad (63)$$

$$\begin{aligned} &\text{якщо } X_{\text{нкмл}} > \frac{1}{2} L \text{ та } Y_{\text{нкмл}} > \frac{1}{2} S \\ Z &= \frac{5 \cdot 10^{-3}}{m} \rho_{\text{гн}} \cdot \left( c_0 + \frac{C_{\text{нкмл}}}{\delta} \right) \cdot F \cdot Z_{\text{нкмл}}, \end{aligned} \quad (64)$$

де:  $C_0$  – передекспоненціальний множник, % (об), що дорівнює:

у разі відсутності рухливості повітряного середовища для горючих газів

$$C_0 = 3,77 \cdot 10^3 \cdot \frac{m}{\rho_{\text{г}} \cdot V_{\text{вільн}}}, \quad (65)$$

у разі рухливості повітряного середовища для горючих газів



$$C_0 = 3 \cdot 10^2 \cdot \frac{m}{\rho_z \cdot V_{\text{вільн}} \cdot U}, \quad (66)$$

у разі відсутності рухливості повітряного середовища для парів легкозаймистих рідин

$$C_0 = C_n \cdot \left( \frac{m \cdot 100}{C_n \cdot \rho_n \cdot V_{\text{вільн}}} \right), \quad (67)$$

у разі рухливості повітряного середовища для парів легкозаймистих рідин

$$C_0 = C_n \cdot \left( \frac{m \cdot 100}{C_n \cdot \rho_n \cdot V_{\text{вільн}}} \right), \quad (68)$$

де:  $m$  – маса горючого газу або парів ЛЗР, що потрапляють до об'єму приміщення, кг;

$\delta$  – допустимі відхилення концентрації за рівня значущості  $Q$  ( $C > \bar{C}$ ), що задається, наведено в таблиці 5;

$X_{\text{нкмл}}$ ,  $Y_{\text{нкмл}}$ ,  $Z_{\text{нкмл}}$  – відстані по осях  $X$ ,  $Y$  і  $Z$  від джерела надходження горючого газу або парів ЛЗР, які обмежені нижньою концентраційною межею поширення полум'я відповідно, м; розраховують за формулами (72) – (74);

$L$ ,  $S$  – довжина і ширина приміщення, м;

$F$  – площа підлоги приміщення, м<sup>2</sup>;

$U$  – рухливість повітряного середовища, м·с<sup>-1</sup>;

$C_n$  – концентрація насичених парів ЛЗР за розрахункової температури  $t_p$ , °C, повітря у приміщенні, % (об).

Концентрацію  $C_n$  може бути обчислено за формулою:

$$C_n = 100 \cdot \frac{P_n}{P_0} \quad (69)$$

де:  $P_n$  – тиск насичених парів ЛЗР, кПа, за розрахункової температури  $t_p$ , °C (приймають за довідниковою літературою);

$P_0$  – атмосферний тиск, що дорівнює 101,3 кПа.

Значення коефіцієнта  $Z$  участі парів легкозаймистих рідин у вибусі може бути визначено за графіком, який наведено на рисунку 1.

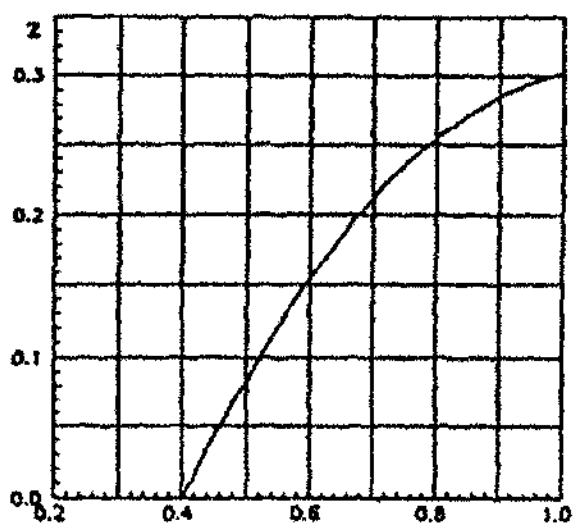


Рисунок 1 – Значення коефіцієнта  $Z$  участі парів легкозаймистих рідин у вибусі

Таблиця 5 – Значення допустимих відхилень концентрації  $\delta$  за рівня значущості  $Q (C > \bar{C})$

Характер розподілу концентрацій	$Q (C > \bar{C})$	$\delta$
Для горючих газів у разі відсутності рухливості повітряного середовища	0,1	1,29
	0,05	1,38
	0,01	1,53
	0,003	1,63
	0,001	1,70
	0,000001	2,04
Для горючих газів у разі рухливості повітряного середовища	0,1	1,29
	0,05	1,37
	0,01	1,52
	0,003	1,62
	0,001	1,70
	0,000001	2,03
Для парів легкозаймистих рідин у разі відсутності рухливості повітряного середовища	0,1	1,19
	0,05	1,25
	0,01	1,35
	0,003	1,41
	0,001	1,46
	0,000001	1,68
Для парів легкозаймистих рідин у разі рухливості повітряного середовища	0,1	1,21
	0,05	1,27
	0,01	1,38
	0,003	1,45
	0,001	1,51
	0,000001	1,75

Рівень значущості  $Q(C > \bar{c})$  вибирають, виходячи з особливостей технологічного процесу. Дозволено приймати значення  $Q(C > \bar{c})$  рівним 0,05.

Значення  $X$  визначають за формулою:

$$X = \begin{cases} C_H / C^*, & \text{якщо } C_H \leq C^* \\ 1, & \text{якщо } C_H > C^* \end{cases}, \quad (70)$$

де:  $C^*$  – величина, що задається співвідношенням:

$$C^* = \varphi \cdot C_{ст}, \quad (71)$$

де:  $\varphi$  – ефективний коефіцієнт надлишку горючої речовини, який приймають рівним 1,9;

$C_{ст}$  – стехіометрична концентрація.

Відстані  $X_{нкмп}$ ,  $Y_{нкмп}$  і  $Z_{нкмп}$  розраховують за формулами:

$$X_{нкмп} = K_1 \cdot L \cdot K_2 \cdot \ln \left( \frac{\delta \cdot C_0}{C_{нкмп}} \right)^{0,5}, \quad (72)$$

$$Y_{нкмп} = K_1 \cdot S \cdot K_2 \cdot \ln \left( \frac{\delta \cdot C_0}{C_{нкмп}} \right)^{0,5}, \quad (73)$$

$$Z_{нкмп} = K_3 \cdot H \cdot K_2 \cdot \ln \left( \frac{\delta \cdot C_0}{C_{нкмп}} \right)^{0,5}, \quad (74)$$

де:  $K_1$  – коефіцієнт, який приймають рівним 1,1314 для горючих газів і 1,1958 для парів легкозаймистих рідин;

$K_2$  – коефіцієнт, який приймають таким, що дорівнює 1 для горючих газів і  $K_2 = \tau/3600$  для парів легкозаймистих рідин;

$K_3$  – коефіцієнт, який приймають рівним 0,0253 для горючих газів у разі відсутності рухливості повітряного середовища; 0,02828 для горючих газів у разі рухливості повітряного середовища; 0,04714 для парів легкозаймистих рідин у разі відсутності рухливості повітряного середовища і 0,3536 для парів легкозаймистих рідин при рухливості повітряного середовища;

$H$  – висота приміщення, м.

За від'ємних значень логарифмів відстані  $X_{нкмп}$ ,  $Y_{нкмп}$  і  $Z_{нкмп}$  приймають рівними 0.

#### **4.2. Порядок визначення категорій приміщень за вибухопожежною і пожежною небезпекою**

Категорії приміщень за вибухопожежною та пожежною небезпекою визначають згідно з таблицею 6.

За ДСТУ визначення категорій приміщень слід здійснювати шляхом послідовної перевірки належності приміщень до категорій, як наведено у таблиці 6, від найбільш вибухопожежонебезпечної категорії А до найменш небезпечної категорії Д.

Таблиця 6 – Категорії приміщень за вибухопожежною та пожежною небезпекою

Категорія приміщення	Характеристика речовин і матеріалів, що знаходяться (зберігаються, переробляються, транспортуються) у приміщенні
1	2
А вибухопожежо- небезпечна	Горючі гази, легкозаймисті рідини з температурою спалаху не вище ніж 28°C у такій кількості, що можуть утворювати вибухонебезпечні газо-, пароповітряні суміші, у разі займання яких розвивається розрахунковий надлишковий тиск вибуху в приміщенні, який перевищує 5 кПа, і/або речовини і матеріали, здатні вибухати і горіти при взаємодії з водою, киснем повітря і/або один з одним, у такій кількості, що розрахунковий надлишковий тиск вибуху в приміщенні перевищує 5 кПа
Б вибухопожежо- небезпечна	Горючі пил і/або волокна, легкозаймисті рідини з температурою спалаху вище ніж 28°C, горючі рідини у такій кількості, що можуть утворювати вибухонебезпечні пило-, пароповітряні суміші, у разі займання яких розвивається розрахунковий надлишковий тиск вибуху в приміщенні, який перевищує 5 кПа
В пожежонебезпечна	Горючі гази, легкозаймисті, горючі і/або важкогорючі рідини, а також речовини і/або матеріали, які здатні вибухати й горіти або тільки горіти під час взаємодії з водою, киснем повітря і/або один з одним; тверді горючі і/або важкогорючі речовини і матеріали (включно горючий пил і/або волокна), за умови, що приміщення, в яких вони знаходяться (зберігаються, переробляються, транспортуються), не відносяться до категорій А або Б та питома пожежна навантага для твердих і рідких легкозаймистих, горючих та важкогорючих речовин і/або матеріалів на окремих ділянках площею не менше 10 м <sup>2</sup> кожна перевищує 180 МДж·м <sup>-2</sup> . Якщо питома пожежна навантага не перевищує 180 МДж·м <sup>-2</sup> , то приміщення відноситься до категорії Д за умови виконання вимог пунктів 7.6.1, 7.6.5 та 7.6.8
Г помірно пожежонебезпечна	Негорючі речовини і/або матеріали у гарячому, розпеченому і/або розплавленому стані, процес обробки яких супроводжується виділенням променистого тепла, утворенням іскор і/або полум'я; горючі гази, рідини і/або тверді речовини, що спалюються або утилізуються як паливо
Д знижено пожежонебезпечна	Речовини і/або матеріали, що зазначені вище для категорії приміщень В (крім горючих газів, горючих пилу і/або волокон), а також негорючі речовини і/або матеріали в холодному стані (за температури навколишнього середовища), за умов, що приміщення, в яких знаходяться (зберігаються, переробляються, транспортуються) зазначені вище речовини і/або матеріали, не відносяться до категорій А, Б або В

*Примітка 1.* Площу окремих ділянок для твердих і рідких легкозаймистих, горючих та важкогорючих речовин і/або матеріалів, що складають пожежну навантагу, визначають за розмірами проекції їх площі розміщення (складування), а також площі розливу під час розрахункової аварії на горизонтальну поверхню підлоги. У разі якщо граничні відстані між окремими ділянками, що містять складові пожежної навантаги менші за мінімальні, які наведені у табл. 4 та п.п. 7.6.5, 7.6.7 ДСТУ відповідно, то площу пожежної навантаги визначають як загальну площу цих ділянок з урахуванням площі між ділянками

*Примітка 2.* Якщо площа приміщення не перевищує  $10 \text{ м}^2$  і в ньому знаходяться (зберігаються, переробляються, транспортуються) речовини і/або матеріали, зазначені в примітці 1, що складають пожежну навантагу під час розрахункової аварії, віднесення даного приміщення до певної категорії здійснюється за результатами розрахунків, викладених у п.п. 7.2-7.6 ДСТУ. Розрахункова площа при визначенні питомої пожежної навантаги дорівнює фактичній площі приміщення

*Примітка 3.* Під час розрахунку пожежної навантаги за формулою (29) важкогорючі речовини і матеріали (відповідно до ГОСТ 12.1.044-89) включаються в розрахунок у тому разі, якщо вони знаходяться разом з горючими речовинами і матеріалами. Якщо у приміщенні знаходяться тільки важкогорючі речовини і матеріали, приміщення відноситься до категорії Д

#### **4.3. Підготовка вихідних даних для визначення категорій приміщень за вибухопожежною та пожежною небезпекою**

На базі результатів вивчення характеристик виробничого або складського приміщення і технологічного процесу виробництва вибирається розрахунковий варіант розгерметизації технологічного блоку або інша аварійна ситуація.

Після аналізу технологічного процесу визначаються вихідні дані для проведення розрахунку категорії приміщення, а саме:

- довжина приміщення,  $l$ , м;
- ширина приміщення,  $b$ , м;
- висота приміщення,  $h$ , м;
- мінімальна відстань від поверхні пожежної навантаги до нижнього пояса ферм перекриття (покриття) або перекриття,  $H$ , м;
- вільний об'єм приміщення,  $V_{\text{вільн}}$ ,  $\text{м}^3$ ;
- кратність повітрообміну, що створює аварійна вентиляція,  $A$ , год $^{-1}$ ;
- об'єм апарату,  $V$ ,  $\text{м}^3$ ;
- довжина трубопроводів відвідного та напірного,  $L$ ,  $\text{м}^3$ ;
- внутрішній радіус трубопроводів,  $r$ , м;
- максимальний тиск вибуху стехіометричної газопароповітряної або пилоповітряної суміші у замкнутому об'ємі,  $P_{\text{max}}$ , кПа;



- робочий (надлишковий) тиск у апараті та трубопроводі,  $P_p$ , кПа;
- площа свіжопофарбованих поверхонь,  $F_{св}$ , м<sup>2</sup>;
- площа відкритої поверхні апаратів з ЛЗР і ГР,  $F_{емн}$ , м<sup>2</sup>;
- розрахункова температура,  $t_p$ , °C;
- молекулярна маса горючої речовини,  $M$ , кг•кмоль<sup>-1</sup>;
- вміст розчинника у розчині,  $\varphi$ , % (мас.);
- ступінь заповнення апарата,  $\varepsilon$ ;
- маса горючої речовини в апараті до аварії,  $m$ , кг;
- густина горючої речовини при розрахунковій температурі,  $\rho$ , кг•м<sup>-3</sup>;
- продуктивність насоса,  $q_n$ , м<sup>3</sup>•с<sup>-1</sup>;
- витрата ГГ, яку визначають згідно з технологічним регламентом залежно від тиску газу у трубопроводі, його діаметра, температури газового середовища тощо,  $q$ , м<sup>3</sup>•с<sup>-1</sup>;
- витрата, з якою продовжують надходити пилоподібні речовини до аварійного апарата по трубопроводах до моменту їх перекривання,  $q_n$ , кг•с<sup>-1</sup>;
- константи рівняння Антуана,  $A$ ,  $B$ ,  $C_a$ ;
- число атомів відповідно вуглецю, водню, кисню, галогенів у молекулі горючої речовини,  $n_c$ ,  $n_h$ ,  $n_o$ ,  $n_x$ ;
- нижня концентраційна межа поширення полум'я по газопароповітряній суміші,  $C_{нкмт}$ , % (об);
- температура спалаху горючої рідини,  $t_{сн}$ , °C;
- теплота згоряння горючої речовини,  $H_m$ , кДж•кг<sup>-1</sup>, що визначається за ДСТУ ISO 1928:2006.

Значення температури повітря у приміщеннях, які наводяться у прикладах, відповідно до ДСТУ є максимальними значеннями повітря у приміщенні для даної кліматичної зони.

## **5. Приклади розв'язання задач**

**5.1. Задачі для рідин, у яких константи Антуана визначалися при тиску насичених парів, вираженому в мм. рт. ст.**

*Приклад 1.* Складське приміщення для зберігання бочок з ацетоном. У приміщенні зберігається 10 бочок з ацетоном, об'єм бочки 84 л = 0,084 м<sup>3</sup>. Розміри приміщення 11 × 10 × 6 м, температура у приміщенні 20 °C.

*Вихідні дані для визначення категорії приміщення*

1. Характеристика виробничого (складського) приміщення:

довжина  $l = 11$  м;

ширина  $b = 10$  м;

висота  $h = 6$  м;

коефіцієнт вільного об'єму приміщення,  $K_{вільн} = 80\%$ ;

кратність повітрообміну  $A = 0$  г<sup>-1</sup>;

температура повітря максимально можлива  $t_{нов} = 37$  °C.

2. Характеристика речовини:

назва – ацетон  $C_3H_6O$ ;  
 молекулярна маса ацетону  $M = 58,08$ ;  
 температура спалаху  $t_{сп}$  у відкритому тиглі = - 9 °С; у закритому тиглі = - 18 °С;  
 константи рівняння Антуана розраховані з використанням тиску ацетону, взятого: у кПа –  $A = 6,37551$ ;  $B = 1281,721$ ;  $C_a = 237,088$ ;  
 у мм. рт. ст. –  $A = 7,25058$ ;  $B = 1281,721$ ;  $C_a = 237,088$ ;  
 густина рідини  $\rho_p = 790,8$  кг·м<sup>-3</sup>;  
 число атомів у молекулі горючої рідини:  
 вуглецю  $n_c = 3$ ;  
 водню  $n_h = 6$ ;  
 кисню  $n_o = 1$ ;  
 галогенів  $n_x = 0$ .  
 Теплота згоряння за ДСТУ ISO 1928:2006 = 31360 кДж·кг<sup>-1</sup>.  
 Максимальний тиск вибуху  $P_{max} = 572$  кПа.  
 3. Характеристика технологічного блоку:  
 об'єм бочки,  $V = 0,084$  м<sup>3</sup>;  
 ступінь заповнення  $\varepsilon = 0,95$ ;  
 температура рідини  $t_{роб} = 20$  °С.

#### Розв'язок

При визначенні надлишкового тиску вибуху в якості розрахункового варіанта аварії приймається розгерметизація однієї бочки і розливання ацетону по підлозі приміщення.

Надлишковий розрахунковий тиск вибуху визначаємо за формулою (1):

$$\Delta P = (P_{max} - P_o) \cdot \frac{m \cdot Z}{V_{дильн} \cdot \rho_{г.г.}} \cdot \frac{100}{C_a} \cdot \frac{1}{K_h},$$

де:  $P_{max} = 572$  кПа

$P_o = 101$  кПа

$Z = 0,3$  (таблиця 2 ДСТУ)

$V_{дильн} = 0,8 \cdot 11 \cdot 10 \cdot 6 = 528$  м<sup>3</sup>

$K_h = 3$

Стехіометричний коефіцієнт кисню у реакції згоряння визначаємо за формулою (4):

$$\beta = n_c + \frac{n_h - n_x}{4} - \frac{n_o}{2} = 3 + \frac{6 - 0}{4} - \frac{1}{2} = 4$$

Стехіометрична концентрація парів ацетону визначається за формулою (3):

$$C_{cm} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot \beta} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot 4} = 4,91 \%$$

Густину пару ацетону визначаємо за формулою (2):

$$\rho_{\text{ж}} = \frac{58,08}{22,413 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 37)} = 2,282 \text{ (кг} \cdot \text{м}^{-3})$$

Об'єм рідини, який може потрапити у приміщення, дорівнює:

$$V_{\text{бл}} = V_{\text{с}} = 0,084 \cdot 0,95 \text{ м}^3 = 80 \text{ (дм}^3)$$

Така кількість рідини може розлитись на площі 80 м<sup>2</sup>. Фактична площа підлоги 120 м<sup>2</sup>. Для розрахунку приймається площа випаровування  $F_{\text{с}} = 80 \text{ м}^2$ .

Інтенсивність випаровування визначається за формулою (14):

$$W = 10^{-6} \cdot \eta \cdot \sqrt{M} \cdot P_{\text{н}}$$

Коефіцієнт  $\eta$ , що приймається за таблицею 2, дорівнює 1.

Тиск насиченого пару за розрахункової температури рідини, кПа, визначається за формулою (16) із врахуванням значень констант Антуана, коли тиск насиченого пару визначається у кПа:

$$P_{\text{н}} = 10^{\frac{A - \frac{B}{C_{\text{а}} + t_{\text{р}}}}{}};$$

$$P_{\text{н}} = 10^{6,37551 - \frac{1281,721}{237,088 + 37}} = 50,03 \text{ (кПа)}$$

і за формулою (15) та з врахуванням значень констант Антуана, коли тиск насиченого пару визначається у мм. рт. ст.:

$$P_{\text{н}} = 0,133 \cdot 10^{\frac{A - \frac{B}{C_{\text{а}} + t_{\text{р}}}}{}};$$

$$P_{\text{н}} = 0,133 \cdot 10^{7,25058 - \frac{1281,721}{237,088 + 37}} = 49,87 \text{ (кПа)}$$

Середнє значення визначень тиску насиченого пару за двома формулами із врахуванням значень констант Антуана, коли тиск насиченого пару визначається у кПа, та з врахуванням значень констант Антуана, коли тиск насиченого пару визначається у мм. рт. ст., становить 49,95 кПа. Похибка визначення становить 0,16%.

Інтенсивність випаровування:

$$W = 10^{-6} \cdot 1 \cdot \sqrt{58,08 \cdot 50,03} = 3,836 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$$

$$W = 10^{-6} \cdot 1 \cdot \sqrt{58,08 \cdot 49,87} = 3,801 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$$

Масу ацетону, що вилився, визначаємо за формулою (7):

$$m_{\text{розл}} = V_{\text{бл}} \cdot \rho_{\text{р}} = 0,08 \cdot 791 = 63,28 \text{ (кг)}$$

Тривалість повного випаровування визначається за формулою (13):

$$\tau_{\sigma} = \frac{m_{\text{розл}}}{W \cdot F_{\sigma}} = \frac{63,28}{1,87 \cdot 10^{-4} \cdot 80} = 4230 \text{ (с)}$$

Приймаємо розрахункову тривалість випаровування згідно з пунктом 7.1.2 ДСТУ – 3600 с.

Масу пару ацетону, що випаровується за розрахунковий час, визначаємо за формулою (13):

$$m = W \cdot F_{\sigma} \cdot \tau_{\text{розл}} = 3,836 \cdot 10^{-4} \cdot 80 \cdot 3600 = 110,48 \text{ (кг)};$$

$$m = W \cdot F_{\sigma} \cdot \tau_{\text{вип}} = 3,801 \cdot 10^{-4} \cdot 80 \cdot 3600 = 109,47 \text{ (кг)}$$

Надлишковий тиск вибуху визначаємо за формулою (1):

$$\Delta P = (572 - 101) \cdot \frac{110,48 \cdot 0,3 \cdot 100}{528 \cdot 2,414 \cdot 4,91 \cdot 3} = 83,92 \text{ (кПа)}$$

$$\Delta P = (572 - 101) \cdot \frac{109,47 \cdot 0,3 \cdot 100}{528 \cdot 2,414 \cdot 4,91 \cdot 3} = 82,39 \text{ (кПа)}$$

Середнє значення визначень надлишкового тиску вибуху обчислене з використанням значень тиску насиченого пару, визначених за двома формулами із врахуванням значень констант Антуана, коли тиск насиченого пару визначається у кПа, та з врахуванням значень констант Антуана, коли тиск насиченого пару визначається у мм. рт. ст., становить 83,16 кПа. Похибка визначення становить 1,84%.

**Висновок.** У приміщенні знаходиться легкозаймиста рідина з температурою спалаху нижче 28 °С у такій кількості, що в результаті розрахункової аварії може утворитись пароповітряна суміш, при займанні якої розвивається розрахунковий надлишковий тиск вибуху у приміщенні, що перевищує 5 кПа.

Тому приміщення складу для зберігання ацетону відноситься до вибухонебезпечної категорії А.

## **5.2. Задачі на врахування роботи загальнообмінної вентиляції**

**Приклад 2.** Визначити категорію приміщення фарбувально-сушильного відділення електромашинного цеху. Розрахунок надлишкового тиску вибуху  $\Delta P$  у приміщенні сушильно-просочувального відділення електромашинного цеху проводиться без урахування роботи загальнообмінної вентиляції.

**Вихідні дані для визначення категорії приміщення**

У приміщенні знаходяться дві ємності для покриття лаком БТ-99 полюсних котушок способом занурення з підвідними та відвідними трубопроводами. Розміри приміщення 32×10×8 м. Об'єм бака 0,5 м³. Ступінь заповнення бака лаком  $\varepsilon = 0,9$ . Довжина підвідного трубопроводу між насосом і баком 10 м, радіус

0,0125 м. Довжина відповідного трубопроводу між баком і заслонкою 10 м, радіус трубопроводу 0,02 м. Продуктивність насосу  $6,5 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$ . Час відключення насосу 300 с. У ємність навперемінно завантажується і вивантажується по 10 котушок, які розміщені у коніку. Відкрите дзеркало випаровування кожної ємності  $1,54 \text{ м}^2$ . Загальна поверхня 10-ти свіжофарбованих котушок складає  $6,28 \text{ м}^2$ .

Максимальна температура у фарбувально-сушильному відділенні становить  $37^\circ\text{C}$ . Температура лаку  $37^\circ\text{C}$ .

У лаку БТ-99 (ГОСТ 8017-74) як розчинники використовується суміш із 46 % (мас.) ксилолу і 2% (мас.) вайт-спіриту. Густина лаку  $953 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$ .

1. Характеристика виробничого (складського) приміщення:

довжина  $l = 32 \text{ м}$ ;

ширина  $b = 10 \text{ м}$ ;

висота  $h = 8 \text{ м}$ ;

коефіцієнт вільного об'єму приміщення  $K_{\text{вільн}} = 80\%$ ;

кратність повітрообміну  $A = 0 \text{ год}^{-1}$ ;

температура повітря  $t_{\text{нов}} = 37^\circ\text{C}$ .

2. Характеристика речовини:

Назва: ксилол  $\text{C}_8\text{H}_{10}$ ;

вайт-спірит,  $\text{C}_{10,5}\text{H}_{21}$ .

Температура спалаху:

ксилол –  $t_{\text{сп}} = 29^\circ\text{C}$ ;

вайт-спірит –  $t_{\text{сп}} = 33^\circ\text{C}$ .

Нижня концентраційна межа займання (поширення полум'я)  $C_{\text{нкмн}}$ :

ксилол 1,1% (об);

вайт-спірит 0,7% (об).

Молекулярна маса:

ксилол  $M = 106,17 \text{ кг} \cdot \text{кмоль}^{-1}$ ;

вайт-спірит  $M = 147,3 \text{ кг} \cdot \text{кмоль}^{-1}$ .

Константи Антуана розраховувалися з використанням тиску насичених парів, взятого у кПа: ксилол  $A = 6,17972$ ;  $B = 1478,16$ ;  $C_a = 220,535$ ;

вайт-спірит  $A = 7,13623$ ;  $B = 2218,3$ ;  $C_a = 273,15$ .

Густина рідин:

ксилол  $\rho_p = 855 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$ ;

вайт-спірит  $\rho_p = 760 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$ .

Число атомів у молекулі горючої рідини:

ксилол: вуглецю  $n_c = 8$ ; водню  $n_h = 10$ ; кисню  $n_o = 0$ ; галогенів  $n_x = 0$ ;

вайт-спірит: вуглецю  $n_c = 10,5$ ; водню  $n_h = 21$ ; кисню  $n_o = 0$ ; галогенів  $n_x = 0$ .

Теплота згоряння за ДСТУ ISO 1928:2006:

ксилол  $H_T = 43154 \text{ кДж} \cdot \text{кг}^{-1}$ ;

вайт-спірит  $H_T = 43996 \text{ кДж} \cdot \text{кг}^{-1}$ .

Максимальний тиск вибуху:

ксилол  $P_{\text{max}} = 765 \text{ кПа}$ ;

вайт-спірит  $P_{\text{max}} = 900 \text{ кПа}$ .



Вільний об'єм приміщення  $V_{\text{вільн}} = 0,8 \cdot 32 \cdot 10 \cdot 8 = 2048 \text{ м}^3$ .

3. Характеристика технологічного блоку:

об'єм апарату  $V = 0,5 \text{ м}^3$ ;

ступінь заповнення  $\varepsilon = 0,9$ ;

робочий надлишковий тиск у апараті  $P_p = 0 \text{ кПа}$ ,

температура рідини  $t_{\text{роб}} = 37 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

продуктивність насоса  $q_n = 6,5 \cdot 10^{-5} (\text{м}^3 \cdot \text{с}^{-1})$ .

Підвідний трубопровід:

довжина  $L_1 = 10 \text{ м}$ ;

радіус  $r_1 = 0,0125 \text{ м}$ .

Відвідний трубопровід:

довжина  $L_2 = 10 \text{ м}$ ;

радіус  $r_2 = 0,02 \text{ м}$ .

Тривалість ручного відключення трубопроводів  $\tau_T = 300 \text{ с}$ .

*Розв'язок*

Для визначення надлишкового тиску вибуху у якості розрахункового варіанта аварії приймається розгерметизація одного баку з лаком і витікання лаку із підвідного та відвідного трубопроводів з наступним розтіканням лаку по підлозі приміщення. Відбувається випаровування розчинників (ксилолу і вайт-спіриту) з поверхні розливу, відкритої поверхні ємності та зі свіжопофарбованих поверхонь котушок.

Додаткові джерела випаровування пожежонебезпечних рідин: площа апаратів з відкритою поверхнею випаровування  $F_{\text{емн}} = 1,54 \text{ м}^2$ ; площа свіжепофарбованих поверхонь  $F_{\text{св}} = 6,28 \text{ м}^2$ .

Густину парів ксилолу при  $37 \text{ }^\circ\text{C}$  визначаємо за формулою (2):

$$\rho_{\text{м}} = \frac{106,17}{22,413 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 37)} = 4,1706 \text{ (кг} \cdot \text{м}^{-3}\text{)}$$

Густину парів вайт-спіриту при  $37 \text{ }^\circ\text{C}$  визначаємо за формулою (2):

$$\rho_{\text{м}} = \frac{147,3}{22,413 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 37)} = 5,7864 \text{ (кг} \cdot \text{м}^{-3}\text{)}$$

Об'єм рідини, що надходить у приміщення при розрахунковій аварії, визначається за формулами:

$$V_{\text{бн}} = V_a + V_T;$$

$$V_T = V_{1T} + V_{2T};$$

$$V_{1T} = q \cdot \tau_T;$$

$$V_a = V \cdot \varepsilon;$$

$$V_{2T} = \pi \cdot (r_1^2 \cdot L_1 + r_2^2 \cdot L_2)$$

$$V_{\text{бл}} = 0,5 \cdot 0,9 + 6,5 \cdot 10^{-5} \cdot 300 + 3,14 \cdot (10 \cdot 0,0125^2 + 10 \cdot 0,02^2) = 0,45 + 0,0195 + 0,013 = 0,487 \text{ м}^3 = 487 \text{ (л)}$$

Площа розливу лаку згідно з ДСТУ становить:

$$F_p = V_{\text{бл}} \cdot 0,5 = 487 \cdot 0,5 = 243,5 \text{ (м}^2\text{)}$$

Загальна площа випаровування  $F_g$  становить:

$$F_g = F_p + F_{\text{смн}} + F_{\text{св}} = 243,5 + 1,54 + 6,28 = 251,3 \text{ (м}^2\text{)}$$

Тиск насиченої пари для ксилолу і вайт-спіриту при температурі 37 °С визначаємо за формулою (16):

$$\text{для ксилолу } P_H = 10^{6,17972 - \frac{1478,16}{220,535 + 37}} = 2,755 \text{ (кПа);}$$

$$\text{для вайт-спіриту } P_H = 10^{7,13623 - \frac{2218,3}{273,15 + 37}} = 0,964 \text{ (кПа)}$$

Інтенсивність випаровування розчинника за формулою (14) становить:

$$\text{для ксилолу } W = 10^{-6} \cdot 1,0 \cdot \sqrt{106,17} \cdot 2,755 = 2,84 \cdot 10^{-5} \text{ (кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}\text{);}$$

$$\text{для вайт-спіриту } W = 10^{-6} \cdot 1,0 \cdot \sqrt{147,3} \cdot 0,964 = 1,17 \cdot 10^{-5} \text{ (кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}\text{)}$$

Маса пари ксилолу, що випаровується з площі розливу за 1 годину, за формулою (13) становить:

$$m = W \cdot F_g \cdot \tau_{\text{вип}} = 2,84 \cdot 10^{-5} \cdot 251,3 \cdot 3600 = 25,69 \text{ (кг)}$$

Маса пари вайт-спіриту, що випаровується з площі розливу за 1 годину, за формулою (13) становить:

$$m = W \cdot F_g \cdot \tau_{\text{вип}} = 1,17 \cdot 10^{-5} \cdot 251,3 \cdot 3600 = 10,585 \text{ (кг)}$$

Стехіометричний коефіцієнт кисню у реакції згоряння визначаємо за формулою (4):

$$\text{для ксилолу } \beta = 8 + \frac{10}{4} = 10,5;$$

$$\text{для вайт-спіриту } \beta = 10,5 + \frac{21}{4} = 15,75$$

Стехіометричну концентрацію парів горючих рідин визначаємо за формулою (3):

$$\text{для ксилолу } C_{\text{см}} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot \beta} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot 10,5} = 1,93 \% \text{ (об);}$$

$$\text{для вайт-спіриту } C_{\text{см}} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot \beta} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot 15,75} = 1,295 \% \text{ (об)}$$

Подальші розрахунки проводимо за найбільш небезпечним і значним за кількістю у суміші розчинників компонентом лаку – ксилолом.

Розраховуємо коефіцієнт  $Z$  участі пари ксилолу у вибусі згідно з додатком до ДСТУ.

Середня концентрація пари ксилолу у приміщенні становить:

$$C_{\text{сер}} = \frac{100 \cdot m}{\rho \cdot V_{\text{ком}}} = \frac{100 \cdot 25,69}{4,1706 \cdot 2048} = 0,3\% \text{ (об)}$$

Розрахунок коефіцієнта  $Z$  виконується за умови, якщо  $C_{\text{сер}} < 0,5 \cdot C_{\text{нкмл}}$ :

$$0,3 < 0,5 \cdot 1,1 = 0,55\% \text{ (об)}$$

Умова нерівності виконується ( $0,3 < 0,55$ ), визначаємо значення коефіцієнта  $Z$  розрахунковим методом.

Визначаємо концентрацію насиченої пари ксилолу, % (об), за розрахункової температури 37 °C за формулою (69):

$$C_s = 100 \cdot \frac{P_s}{P_0}$$

$$C_n = 100 \cdot \frac{2,755}{101} = 2,73\% \text{ (об)}$$

Визначаємо передекспоненціальний множник, % (об), для пари ксилолу за відсутності рухливості горючого середовища за формулою (67):

$$C_0 = 2,73 \cdot \left( \frac{25,69 \cdot 100}{2,73 \cdot 4,1706 \cdot 2048} \right)^{0,41} = 1,105\% \text{ (об)}$$

Відстані  $X_{\text{нкмл}}$ ,  $Y_{\text{нкмл}}$ ,  $Z_{\text{нкмл}}$  визначаються за формулами:

$$X_{\text{нкмл}} = 1,1958 \cdot 32 \cdot \left( 1,0 \cdot \ln \frac{1,25 \cdot 1,105}{1,1} \right)^{0,5} = 18,061 \text{ (м)};$$

$$Y_{\text{нкмл}} = 1,1958 \cdot 10 \cdot \left( 1,0 \cdot \ln \frac{1,25 \cdot 1,105}{1,1} \right)^{0,5} = 5,648 \text{ (м)};$$

$$Z_{\text{нкмл}} = 0,04717 \cdot 8 \cdot \left( 1,0 \cdot \ln \frac{1,25 \cdot 1,105}{1,1} \right)^{0,5} = 0,18 \text{ (м)}$$

Коефіцієнт  $Z$  визначаємо за формулою:

$$\text{при } X_{\text{нкмл}} \leq \frac{1}{2} \cdot l \text{ та } Y_{\text{нкмл}} \leq \frac{1}{2} \cdot b$$

$$Z = \frac{5 \cdot 10^{-3}}{25,68} \cdot 4,17 \cdot \left( 1,105 + \frac{1,1}{1,25} \right) \cdot 320 \cdot 0,18 = 0,092$$

Надлишковий тиск вибуху парів ксилолу за формулою (1) становить:

$$\Delta P = (P_{\max} - P_0) \cdot \frac{m \cdot Z}{V_{\text{вільн}} \cdot \rho_{\pi}} \cdot \frac{100}{C_{\text{сер}}} \cdot \frac{1}{K_{\text{н}}};$$

$$\Delta P = (900 - 101) \cdot \frac{25,56 \cdot 0,092}{2048 \cdot 4,17} \cdot \frac{100}{1,93} \cdot \frac{1}{3} = 3,8 \text{ (кПа)}$$

Визначаємо концентрацію насиченої пари вайт-спіриту, % (об), за розрахунковою температурою 37 °С за формулою (69):

$$C_{\text{н}} = 100 \cdot \frac{P_{\text{н}}}{P_0}$$

$$C_{\text{н}} = 100 \cdot \frac{0,964}{101} = 0,95 \% \text{ (об)}$$

Визначаємо передекспоненціальний множник, % (об), для пари вайт-спіриту при відсутності рухливості горючого середовища за формулою (67):

$$C_0 = 0,95 \cdot \left( \frac{10,58 \cdot 100}{0,95 \cdot 5,78 \cdot 2048} \right)^{0,41} = 0,36 \% \text{ (об)}$$

Середня концентрація пари вайт-спіриту у приміщенні становить:

$$C_{\text{сер}} = \frac{100 \cdot m}{\rho_{\pi} \cdot V_{\text{вільн}}} = \frac{100 \cdot 10,58}{5,78 \cdot 2048} = 0,08 \% \text{ (об)}$$

Розрахунок коефіцієнта  $Z$  виконується за умови, якщо  $C_{\text{сер}} < 0,5 \cdot C_{\text{нкм}}$   
 $0,08 < 0,5 \cdot 0,7 = 0,35 \% \text{ (об)}$

Умова нерівності виконується ( $0,08 < 0,35$ ), визначаємо значення коефіцієнта  $Z$  розрахунковим методом.

Відстані  $X_{\text{нкм}}$ ,  $Y_{\text{нкм}}$ ,  $Z_{\text{нкм}}$  визначаються за формулами (72-74):

$$X_{\text{нкм}} = 1,1958 \cdot 32 \cdot \left( 1,0 \cdot \ln \frac{1,25 \cdot 0,36}{0,7} \right)^{0,5} = 0 \text{ (м)};$$

$$Y_{\text{нкм}} = 1,1958 \cdot 10 \cdot \left( 1,0 \cdot \ln \frac{1,25 \cdot 0,36}{0,7} \right)^{0,5} = 0 \text{ (м)};$$

$$Z_{\text{нкм}} = 0,04717 \cdot 8 \cdot \left( 1,0 \cdot \ln \frac{1,25 \cdot 0,36}{0,7} \right)^{0,5} = 0 \text{ (м)}$$

За мінусових значень логарифмів відстані  $X_{\text{нкм}}$ ,  $Y_{\text{нкм}}$ ,  $Z_{\text{нкм}}$  приймаються рівними 0. Відповідно коефіцієнт  $Z$  теж дорівнює 0. Це означає, що надлишковий тиск вибуху парів вайт-спіриту дорівнює 0.

Розрахунковий тиск вибуху парів ксилолу менший 5 кПа, тому приміщення фарбувально-сушильного відділення електротехнічного цеху не відноситься до вибухонебезпечної категорії.

Згідно з таблицею 6 проводимо перевірку належності приміщення до категорії В чи Д.

Площа розливу лаку на найбільш пожежонебезпечній ділянці становить 241,5 м<sup>2</sup>. Практично дві ємності з лаком у результаті аварії знаходяться на площі розливу. Пожежна навантага, яку складають 857,7 кг лаку у двох ємностях, за умови, що теплота згоряння лаку така ж, як і ксилолу, становить:

$$Q = 857,7 \cdot 43154 = 37013186 \text{ кДж} = 37013,2 \text{ (МДж)}$$

Питома пожежна навантага становить:

$$q = \frac{Q}{S} = \frac{37013,2}{241,5} = 153,3 \text{ (МДж} \cdot \text{кг}^{-1}\text{)}$$

Отримане значення питомої пожежної навантаги не перевищує 180 МДж·м<sup>-2</sup>.

Для віднесення вказаного приміщення до категорії В або Д слід перевірити виконання нижченаведених вимог.

Розрахункове значення за формулою (33):  $0,64 \cdot g_T \cdot H^2 = 0,64 \cdot 180 \cdot 7^2 = 5644,8$  (МДж). При цьому, у даному разі відстань від верхньої площини пожежної навантаги  $H = 7$  м. Пожежна навантага  $Q = 37013,2$  МДж, тобто умова:  $Q \geq 0,64 \cdot g_T \cdot H^2$  виконується, тому приміщення фарбувально-сушильного відділення електротехнічного цеху відноситься до категорії В.

Перевіряємо виконання вимоги щодо максимальної граничної площі ділянки  $S_{gr}$ , на якій дозволяється розміщення пожежної навантаги, у приміщеннях категорії Д за формулою (34):

$$S_{gr} = 0,64 \cdot 7^2 = 31,36 \text{ (м}^2\text{)}$$

Площа пожежної навантаги (площа розливу) значно перевищує максимальну граничну площу розміщення пожежної навантаги для приміщення категорії Д.

**Висновок.** Розрахунковий надлишковий тиск вибуху у приміщенні фарбувально-сушильного відділення електротехнічного цеху не перевищує 5 кПа, тому вказане приміщення не відноситься до вибухонебезпечної категорії.

За наведеним вище розрахунком приміщення фарбувально-сушильного відділення електротехнічного цеху належить до категорії В.

*Приклад 3.* Розрахувати надлишковий тиск вибуху  $\Delta P$  у приміщенні сушильно-просочувального відділення електромашинного цеху з розмірами  $L \times S \times H = 32 \times 10 \times 8$  м з урахуванням роботи постійно працюючої загальнообмінної вентиляції, що задовольняє вимогам пункту 7.2.3 ДСТУ. Умова задачі взята із прикладу 8.

Розглядається випадок при кратності повітрообміну загальнообмінної вентиляції  $A = 6 \text{ год}^{-1}$ .

При кратності повітрообміну, створюваного загальнообмінною вентиляцією, що дорівнює  $A = 6 \text{ год}^{-1} = 1,6667 \cdot 10^{-3} (\text{с}^{-1})$ , згідно з пунктом 7.2.8 ДСТУ швидкість руху повітря у приміщенні становить:

$$U = A \cdot L = 1,6667 \cdot 10^{-3} \cdot 32 = 0,05 (\text{м} \cdot \text{с}^{-1})$$

Тиск насиченої пари, кПа, при розрахунковій температурі рідини визначається з рівняння Антуана для ксилола:

$$\lg P_n = A - \left( \frac{B}{C_A + t_p} \right) = 6,17972 - \left( \frac{1478,16}{220,535 + 37} \right) = 0,44007 ;$$

$$P_n = 10^{0,44007} = 2,75 (\text{кПа})$$

Інтенсивність випаровування  $W$  розчинника (по ксилолу) при швидкості повітряного потоку в приміщенні  $U = 0,05 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$  (з деяким запасом коефіцієнт  $\eta = 1,6$  відповідно до таблиці 1 ДСТУ) дорівнюватиме:

$$W = 10^{-6} \cdot \eta \cdot \sqrt{M} \cdot P_n = 10^{-6} \cdot 1,6 \cdot \sqrt{106,17} \cdot 2,75 = 4,5420 \cdot 10^{-5} (\text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1})$$

Маса парів розчинника  $m_n$  (по ксилолу), що надійшли у приміщення, складатиме:

$$m_n = 4,5420 \cdot 10^{-5} \cdot 251,3 \cdot 3600 = 41,0906 (\text{кг})$$

Маса парів розчинника  $m$ , які потрапили до приміщення у разі врахування роботи постійно працюючої загальнообмінної вентиляції, що задовольняє вимогам п. 7.2.3 ДСТУ, дорівнюватиме:

$$m = \frac{m_n}{A \cdot T + 1} = \frac{41,0906}{1,6667 \cdot 10^{-3} \cdot 3600 + 1} = 5,8700$$

Середня концентрація  $C_{\text{сер}}$  парів розчинника у приміщенні становить:

$$C_{\text{сер}} = \frac{100 \cdot 5,8700}{4,1706 \cdot 2048} \approx 0,07\%$$

$$C_{\text{сер}} = 0,07\% (\text{об}) < 0,5 \cdot C_{\text{нкр}} = 0,5 \cdot 0,7 = 0,35\% (\text{об}),$$

тобто можна визначити значення коефіцієнта  $Z$  участі парів розчинника у вибусі розрахунковим методом.

Знаходимо значення концентрації насичених парів ( $C_n$ , % об) при розрахунковій температурі  $t_p$ , °С, повітря у приміщенні за формулою А.7 додатка А до ДСТУ:

$$C_n = 100 \cdot \frac{P_n}{P_o} = 100 \cdot \frac{2,75}{101} = 2,73\% (\text{об})$$

Значення передекспоненціального множника  $C_0$  дорівнюватиме:

$$C_0 = 2,73 \cdot \left( \frac{5,8700 \cdot 100}{2,73 \cdot 4,1706 \cdot 2048} \right)^{0,46} = 0,502\% (\text{об})$$



Відстані по осях  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  від джерела надходження парів ЛЗР становлять:

$$X_{\text{нкмт}} = 1,1958 \cdot 32 \cdot \left( 1,0 \cdot \ln \frac{1,27 \cdot 0,502}{0,7} \right)^{0,5} = 0 \text{ (м)}$$

$$Y_{\text{нкмт}} = 1,1958 \cdot 10 \cdot \left( 1,0 \cdot \ln \frac{1,27 \cdot 0,502}{0,7} \right)^{0,5} = 0 \text{ (м)}$$

$$Z_{\text{нкмт}} = 0,3536 \cdot 8 \cdot \left( 1,0 \cdot \ln \frac{1,27 \cdot 0,502}{0,7} \right)^{0,5} = 0 \text{ (м)}$$

$X_{\text{нкмт}}$ ,  $Y_{\text{нкмт}}$ ,  $Z_{\text{нкмт}}$  відповідно до додатку А ДСТУ приймаються рівними 0, оскільки логарифми у вказаних формулах співмножників параметрів мають від'ємні значення. Отже, виходячи з формули А.1 додатку А ДСТУ, коефіцієнт  $Z$  участі парів розчинника також дорівнює 0. Підставляючи у формулу (1) ДСТУ значення коефіцієнта  $Z = 0$  отримуємо надлишковий тиск вибуху  $\Delta P = 0$  кПа.

**Висновок.** За працюючої загальнообмінної вентиляції з кратністю повітрообміну  $6 \text{ год}^{-1}$  у приміщенні сушильно-просочувального відділення електромашинного цеху вибухонебезпечна концентрація парів ксилолу не утворюється, розрахунковий надлишковий тиск вибуху  $\Delta P = 0$  кПа.

### **5.3. Задачі з використанням формули 16 ДСТУ для визначення швидкості повітряного потоку і врахування його при визначенні маси рідини, що випарується за цієї швидкості**

Швидкість повітряного потоку в приміщенні ( $u$ , м/с) може бути визначена за формулою:

$$u = A \cdot l,$$

де:  $A$  – кратність повітрообміну,  $\text{с}^{-1}$ ;

$l$  – довжина приміщення, м.

При визначенні категорії приміщень за вибухопожежною і пожежною небезпекою, у яких горючими речовинами є газы, легкозаймисті й горючі рідини, горючий пил враховується кратність повітрообміну в приміщеннях. Для горючих рідин кількість пари, що випаровується з площі випаровування (розливу, дзеркала у ємності, пофарбованих поверхонь), швидкість випаровування залежить від швидкості повітряного потоку над поверхнею випаровування. А швидкість повітряного потоку залежить від кратності повітрообміну і довжини приміщення.

**Приклад 4.** Визначити категорію машинної зали за вибухопожежною небезпекою, в якій виконуються роботи з миття електродвигунів на штатних місцях їх встановлення.

*Вихідні дані для визначення категорії приміщення*

Приміщення машинної зали розмірами  $L \times S \times H = 60 \times 24 \times 20$  м. Геометричний об'єм приміщення  $28800 \text{ м}^3$ . Вільний об'єм приміщення  $V_{\text{віль}} = 23040 \text{ м}^3$ .

У приміщенні відбувається миття електродвигунів з використанням легкозаймистих рідин (ЛЗР).

Операції миття проводяться у три стадії.

Перша стадія. Протягом трьох годин із форсунок на електродвигун подається суміш бензину з гасом. Усього за цей час витрачається приблизно 20 л гасу та 80 л бензину. Після завершення першої стадії бруд, що знаходиться на поверхні двигуна, протягом однієї години розм'якшується.

Друга стадія. Протягом близько п'яти годин на поверхню електродвигуна подається розпилений бензин. Витрачається приблизно 220 л бензину.

Третя стадія. Починається безпосередньо після другої стадії. На двигун подається розпилена суміш 49 летилового спирту і 80 л бензину.

Приміщення обладнано постійно працюючою загальнообмінною вентиляцією з кратністю повітрообміну 5. Витяжні зонти розміщені безпосередньо біля місця миття електродвигунів.

На час виконання робіт у приміщенні знаходяться на зберіганні ЛЗР, які застосовуються для отримання мийних сумішей. Бензин і гас знаходяться у металевих бочках місткістю по 200 л кожна, спирт етиловий знаходиться у скляних бутлях місткістю по 20 л кожен. Коефіцієнт заповнення ємностей  $\varepsilon = 0,9$ .

Бензин АИ-93 (зимовий) – молярна маса 95,3 кг/кмоль. Брутто-формула  $C_{6,911}H_{12,168}$ . Температура спалаху  $37^\circ\text{C}$ . Густина рідини  $\rho_p = 736,5 \text{ кг/м}^3$ . Константи Антуана:  $A = 4,26511$ ;  $B = 695,019$ ;  $C_A = 223,22$ . Теплота згоряння  $H_T = Q_H^p = 43641 \text{ кДж/кг}$ . Нижня концентраційна межа поширення полум'я  $C_{\text{нкмпл}} = 1,1\%$  (об).

Гас КО-22 (ГОСТ 4753-68) – молярна маса 153,1 кг/кмоль. Брутто-формула  $C_{10,914}H_{21,832}$ . Температура спалаху більше  $+40^\circ\text{C}$ . Густина рідини  $\rho_p = 800 \text{ кг/м}^3$ . Константи Антуана:  $A = 5,59599$ ;  $B = 1394,72$ ;  $C_A = 204,26$ . Теплота згоряння  $H_T = Q_H^p = 43692 \text{ кДж/кг}$ . Нижня концентраційна межа поширення полум'я  $C_{\text{нкмпл}} = 0,64\%$  (об).

Спирт етиловий – молярна маса 46,07 кг/кмоль. Хімічна формула  $C_2H_6O$ . Температура спалаху  $+13^\circ\text{C}$ . Густина рідини  $\rho_p = 785 \text{ кг/м}^3$ . Константи Антуана:  $A = 7,81158$ ;  $B = 1918,508$ ;  $C_A = 252,125$ . Теплота згоряння  $H_T = Q_H^p = 30562 \text{ кДж/кг}$ . Нижня концентраційна межа поширення полум'я  $C_{\text{нкмпл}} = 3,6\%$  (об). Максимальний тиск вибуху  $P_{\text{max}} = 682 \text{ кПа}$ .

### *Обґрунтування розрахункового варіанту аварії*

Для розрахунку розрахункового надлишкового тиску вибуху в приміщенні у якості розрахункового найнебезпечнішого варіанту аварії приймається варіант – порушення герметичності бочки з бензином, унаслідок чого увесь уміст бочки виливається у приміщення і розливається на підлозі з розрахунку, що 1 л ЛЗР розливається на  $1 \text{ м}^2$  підлоги. Тривалість випаровування рідини приймається з часом від її повного випаровування, але не більше 3600 с. За розрахункову тем-

температуру приймається максимально можлива температура повітря у м. Одеса згідно з ДСТУ – НБ В.1.1-27:2010 *Будівельна кліматологія*,  $t_p = 41^\circ\text{C}$ .

Надлишковий розрахунковий тиск вибуху визначаємо за формулою (1):

$$\Delta P = (P_{\max} - P_o) \cdot \frac{m \cdot Z}{V_{\text{д'ял}} \cdot \rho_{\text{д'ял}}} \cdot \frac{100}{C_{\text{до}}} \cdot \frac{1}{K_i}$$

$$P_{\max} = 900 \text{ кПа}$$

$$P_o = 101 \text{ кПа}$$

$$Z = 0,3 \text{ (таблиця 2 ДСТУ)}$$

$$V_{\text{д'ял}} = 23040 \text{ м}^3$$

$$K_i = 3$$

Стехіометричний коефіцієнт кисню у реакції згоряння визначається за формулою (4):

$$\beta = n_c + \frac{n_n - n_x}{4} - \frac{n_o}{2} = 6,911 + \frac{12,168 - 0}{4} - \frac{0}{2} = 9,953$$

Стехіометричну концентрацію парів бензину визначаємо за формулою (3):

$$C_{\text{ст}} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot \beta} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot 9,953} = 2,03\% \text{ (об)}$$

Густина пари бензину визначають за формулою (2):

$$C_{\text{ст}} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot \beta} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot 9,953} = 2,03 \text{ (кг} \cdot \text{м}^{-3}\text{)}$$

Об'єм рідини, який може потрапити у приміщення, рівний:

$$V_{\text{бл}} = V_{\text{г}} = 0,9 \cdot 200 \text{ дм}^3 = 180 \text{ (дм}^3\text{)}$$

Така кількість рідини може розлитись на площі  $180 \text{ м}^2$ . Фактична площа підлоги  $1440 \text{ м}^2$ . Для розрахунку приймаємо площу випаровування  $F_{\text{г}} = 180 \text{ м}^2$ .

Інтенсивність випаровування визначаємо за формулою (16):

$$W = 10^{-6} \cdot \eta \cdot \sqrt{M} \cdot P_{\text{н}}$$

Коефіцієнт  $\eta$  приймаємо за таблицею 3 ДСТУ, враховуючи швидкість повітряного потоку над поверхнею випаровування, що створюється вентиляцією з кратністю повітрообміну  $5 \text{ год}^{-1}$ .

Швидкість повітряного потоку в приміщенні ( $u$ , м/с) дорівнює:

$$u = A \cdot l = \frac{5}{3600} \cdot 60 = 1,389 \cdot 10^{-3} \cdot 60 = 0,08 \text{ (м/с)}$$

Згідно з таблицею 3 значення коефіцієнта  $\eta$  за швидкості повітряного по-

току 0,1 м/с становить 1,6. Приймімо це значення для наших розрахунків з деяким запасом.

Тиск насиченої пари можна визначити за формулою:

$$P_H = 10^{\frac{A - \frac{B}{C_a + t_p}}{4,26511 - \frac{695,019}{223,22 + 41}}} = 43,11 \text{ (кПа)}$$

Інтенсивність випаровування:

$$W = 10^{-6} \cdot 1,6 \cdot \sqrt{95,3 \cdot 43,11} = 6,73 \cdot 10^{-4} \text{ (кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}\text{)}$$

Масу бензину, що вилився, визначаємо за формулою:

$$m_{розл} = V_{вл} \cdot \rho_p = 0,18 \cdot 736,5 = 132,57 \text{ (кг)}$$

Тривалість повного випаровування визначається за формулою :

$$\tau_e = \frac{m_{розл}}{W \cdot F_e} = \frac{132,57}{6,73 \cdot 10^{-4} \cdot 180} = 1094,3 \text{ (с)}$$

Увесь бензин, що розливається по підлозі, випаровується за час, який не перевищує 3600 с.

Надлишковий тиск вибуху визначаємо за формулою (1):

$$\Delta P = (900 - 101) \frac{132,57 \cdot 0,3 \cdot 100}{23040 \cdot 3,696 \cdot 2,03 \cdot 3} = 6,13 \text{ (кПа)}$$

**Висновок.** У приміщенні знаходиться легкозаймиста рідина з температурою спалаху нижче 28 °С у такій кількості, що в результаті розрахункової аварії може утворитись пароповітряна суміш, при займанні якої розвивається розрахунковий надлишковий тиск вибуху у приміщенні, що перевищує 5 кПа.

Тому приміщення машинної зали, у якій відбувається миття електродвигунів, відноситься до вибухонебезпечної категорії А.

**Приклад 5.** Визначити категорію приміщення заводської фізико-хімічної лабораторії. Розміри приміщення: довжина 12,0 м, ширина 6,0 м, висота 3,5 м. Завод знаходиться у місті Одеса. Приміщення обладнано аварійною вентиляцією, яка відповідає вимогам п. 7.2.3 ДСТУ, кратність повітрообміну  $A = 6 \text{ год}^{-1}$ .

У лабораторії використовуються легкозаймисті рідини (етиловий і метиловий спирти). Загальна кількість ЛЗР у приміщенні, згідно зі встановленими нормами, становить 2 л у скляних ємностях об'ємом 0,5 л. У приміщенні лабораторії знаходиться шафа витяжна, стіл для аналітичних вагів, три стільці. Лабораторне обладнання та меблі виготовлені з негорючих матеріалів.

### Вихідні дані для визначення категорії приміщень

Приміщення лабораторії розмірами  $L \times S \times H = 12 \times 6 \times 3,5$  м. Геометричний об'єм приміщення  $216 \text{ м}^3$ . Вільний об'єм приміщення  $V_{\text{віль.}} = 172,8 \text{ м}^3$ . Кратність повітрообміну  $6 \text{ год}^{-1}$  ( $0,00167 \text{ с}^{-1}$ ). Температура повітря розрахункова у приміщенні приймається максимально можлива для даного міста згідно з ДСТУ – Н Б В.1.1-27:2010 *Будівельна кліматологія* і становить  $41^\circ\text{C}$ .

Спирт етиловий – молярна маса  $46,07 \text{ кг/кмоль}$ . Хімічна формула  $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ . Температура спалаху  $+13^\circ\text{C}$ . Густина рідини  $\rho_p = 785 \text{ кг/м}^3$ . Константи Антуана:  $A = 7,81158$ ;  $B = 1918,508$ ;  $C_A = 252,125$  (при температурі від мінус  $31^\circ\text{C}$  до плюс  $78^\circ\text{C}$ ). Теплота згоряння  $H_T = Q_H^P = 30562 \text{ кДж/кг}$ . Нижня концентраційна межа поширення полум'я  $C_{\text{нкмпп}} = 3,6\%$  (об). Максимальний тиск вибуху  $P_{\text{max}} = 682 \text{ кПа}$ .

Спирт метиловий – молярна маса  $32,04 \text{ кг/кмоль}$ . Хімічна формула  $\text{CH}_4\text{O}$ . Температура спалаху  $+6^\circ\text{C}$ . Густина рідини  $\rho_p = 786,9 \text{ кг/м}^3$  при  $25^\circ\text{C}$ . Константи Антуана:  $A = 7,3527$ ;  $B = 1660,454$ ;  $C_A = 245,818$  (при температурі від мінус  $10^\circ\text{C}$  до плюс  $90,0^\circ\text{C}$ ). Теплота згоряння  $H_T = Q_H^P = 23839 \text{ кДж/кг}$ . Нижня концентраційна межа поширення полум'я  $C_{\text{нкмпп}} = 6,98\%$  (об). Максимальний тиск вибуху  $P_{\text{max}} = 682 \text{ кПа}$ .

### Обґрунтування розрахункового варіанту аварії

Для розрахунку розрахункового надлишкового тиску вибуху в приміщенні у якості розрахункового найнебезпечнішого варіанту аварії, приймається варіант – руйнування однієї ємності, внаслідок чого увесь уміст ємності виливається у приміщення і розливається на підлозі з розрахунку, що  $1 \text{ л}$  ЛЗР розливається на  $1 \text{ м}^2$  підлоги. Тривалість випаровування рідини приймається часом її повного випаровування, але не більше  $3600 \text{ с}$ . За розрахункову температуру приймається максимально можлива температура повітря у м. Одеса згідно з ДСТУ – Н Б В.1.1-27:2010 *Будівельна кліматологія*,  $t_p = 41^\circ\text{C}$ .

Розрахунок проводимо паралельно для етилового і метилового спирту.

Розрахунковий надлишковий тиск вибуху визначаємо за формулою (1):

$$\Delta P = (P_{\text{max}} - P_o) \cdot \frac{m \cdot Z}{V_{\text{вільн.}} \cdot \rho_{\text{сп.}}} \cdot \frac{100}{C_{\text{ст}}} \cdot \frac{1}{K_{\text{н}}}$$

Масу рідини, що розливається в результаті аварії по підлозі, вираховуємо за формулою:

$$m_p = V \cdot \rho_p$$

етиловий спирт	$m_p = 0,0005 \text{ м}^3 \cdot 785,0 = 0,3925 \text{ (кг)}$ ;
метиловий спирт	$m_p = 0,0005 \text{ м}^3 \cdot 786,9 = 0,3934 \text{ (кг)}$

Площа розливання становить:

етиловий спирт	$- 0,5 \text{ (м}^2\text{)}$ ;
метиловий спирт	$- 0,5 \text{ (м}^2\text{)}$

Площа випаровування. У зв'язку з тим, що площа приміщення становить 72 м<sup>2</sup>, тобто більше площі розливання, приймаємо площу випаровування  $F_v$ , м<sup>2</sup>, рівною площі розливання:

$$\begin{aligned} \text{етиловий спирт } F_v &= 0,5 \text{ (м}^2\text{)}; \\ \text{метиловий спирт } F_v &= 0,5 \text{ (м}^2\text{)} \end{aligned}$$

Розраховуємо густину пари  $\rho_{zn}$ , кг/м<sup>3</sup>, за температури повітря у приміщенні за формулою (2):

$$\text{етиловий спирт } \rho_{zn} = \frac{46,07}{22,413 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 41)} = 1,787$$

$$\text{метиловий спирт } \rho_{zn} = \frac{32,04}{22,413 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 41)} = 1,243$$

Стехіометричний коефіцієнт кисню у реакції згоряння визначаємо за формулою (4):

$$\text{етиловий спирт } \beta = 2 + \frac{6-0}{4} - \frac{1}{2} = 3,0;$$

$$\text{метиловий спирт } \beta = 1 + \frac{4-0}{4} - \frac{1}{2} = 1,5$$

Стехіометричну концентрацію парів визначаємо за формулою (3):

$$\text{етиловий спирт } C_{cm} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot 3} = 6,44\% \text{ (об)};$$

$$\text{метиловий спирт } C_{cm} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot 1,5} = 12,11\% \text{ (об)}$$

Визначаємо тиск насиченої пари за формулою (16):

$$\text{етиловий спирт } P_n = 10^{\left(7,81158 - \frac{1918,508}{252,125+41}\right)} = 18,5 \text{ (кПа)};$$

$$\text{метиловий спирт } P_n = 10^{\left(7,3527 - \frac{1660,454}{245,818+41}\right)} = 36,6 \text{ (кПа)}$$

Інтенсивність випаровування  $W$ , кг/(с·м<sup>2</sup>), вираховуємо за формулою (14):

$$W = 10^{-6} \cdot \eta \cdot \sqrt{M} \cdot P_n$$

Швидкість руху повітряного потоку у приміщенні  $u$ , м/с, визначається за формулою:

$$u = A_{as} \cdot L / 3600,$$

де:  $A_{ав}$  – кратність повітрообміну, год<sup>-1</sup>;

$L$  – довжина приміщення, м

$$u = 6,12 / 3600 = 0,02 \text{ (м/с)}$$

Визначаємо значення коефіцієнта  $\eta$  шляхом інтерполяції за формулою:

$$\eta = \eta_{m.m.} + (\eta_{m.б.} - \eta_{m.m.}) / (u_{m.б.} - u_{m.m.}) \cdot (u - u_{m.m.});$$

$$\eta = 1 + [(1,6 - 1,0) / (0,1 - 0)] \cdot (0,02 - 0) = 1,12$$

Визначаємо інтенсивність випаровування:

$$\text{етилового спирту } W = 10^{-6} \cdot 1,12 \cdot 46,07^{1/2} \cdot 18,5 = 1,4 \cdot 10^{-4} \text{ кг/(с} \cdot \text{м}^2\text{)};$$

$$\text{метилового спирту } W = 10^{-6} \cdot 1,12 \cdot 32,04^{1/2} \cdot 36,6 = 2,32 \cdot 10^{-4} \text{ кг/(с} \cdot \text{м}^2\text{)}$$

Тривалість повного випаровування рідини, що розлилася,  $\tau_g$ , с, визначаємо за формулою:

$$\tau_g = m_p / W \cdot F_g$$

$$\text{етиловий спирт } \tau_g = 0,3925 / 1,4 \cdot 10^{-4} \cdot 0,5 = 6542 \text{ (с)};$$

$$\text{метиловий спирт } \tau_g = 0,3934 / 2,32 \cdot 10^{-4} \cdot 0,5 = 3895 \text{ (с)}$$

Масу пари рідини, яка може випаруватися з площі випаровування  $F_g$ , що дорівнює 0,5 м<sup>2</sup> за 3600 с, визначаємо за формулою:

$$m = W \cdot F_g \cdot \tau / (A \cdot \tau + 1)$$

$$\text{етиловий спирт } m = 1,4 \cdot 10^{-4} \cdot 0,5 \cdot 3600 / (0,00167 \cdot 3600 + 1) = 3,59 \cdot 10^{-2} \text{ (кг)}$$

$$\text{метиловий спирт } m = 2,32 \cdot 10^{-4} \cdot 0,5 \cdot 3600 / (0,00167 \cdot 3600 + 1) = 5,95 \cdot 10^{-2} \text{ (кг)}$$

Розрахунковий надлишковий тиск вибуху в приміщенні становить:

$$\text{етиловий спирт } \Delta P = (682 - 101) \cdot \frac{3,59 \times 10^{-2} \cdot 0,3 \cdot 100}{172,8 \cdot 1,787 \cdot 6,44 \cdot 3} = 0,104 \text{ (кПа)}$$

$$\text{метиловий спирт } \Delta P = (620 - 101) \cdot \frac{5,95 \times 10^{-2} \cdot 0,3 \cdot 100}{172,8 \cdot 1,243 \cdot 12,11 \cdot 3} = 0,119 \text{ (кПа)}$$

**Висновок.** У приміщенні знаходяться легкозаймисті рідини з температурою спалаху нижче 28 °С у такій кількості, що в результаті розрахункової аварії може утворитись пароповітряна суміш, при займанні якої розвивається роз-

рахунковий надлишковий тиск вибуху у приміщенні, що не перевищує 5 кПа.

Тому приміщення лабораторії не відноситься до вибухонебезпечної категорії А.

Перевіряємо віднесення приміщення лабораторії до категорії В. (приміщення з наявністю легкозаймистих рідин, яке не відноситься до категорії А)

Як аварійну ситуацію приймаємо умову, що об'єм і асортимент легкозаймистих рідин знаходиться в одному місці та відбувається його розливання на підлогу приміщення або поверхню лабораторного стола.

Сумарний об'єм ЛЗР у приміщенні – 2 л. Більш високу теплоту згоряння має етиловий спирт, її і використовуємо у розрахунках.

Маса етилового спирту в 2-х літрах:

$$0,002 \cdot 785 = 1,57 \text{ (кг)}$$

Визначаємо пожежну навантагу  $Q$ , МДж:

$$Q = \sum_{i=1}^n G_i \cdot Q_i^p,$$

де:  $G_i$  – кількість і-го матеріалу пожежної навантаги, кг;

$Q_i^p$  – нижча теплота згоряння і-го матеріалу пожежної навантаги, МДж/кг;

$$Q = 1,57 \cdot 30,562 = 47,98 \text{ (МДж)}$$

Питому пожежну навантагу  $g$ , МДж/м<sup>2</sup>, визначаємо за формулою:

$$g = \frac{Q}{F},$$

де:  $F$  – площа розміщення пожежної навантаги, м<sup>2</sup> (але не менше 10 м<sup>2</sup>).

2,0 л ЛЗР може розлитись на площі 2,0 м<sup>2</sup>, у розрахунках приймаємо площу 10 м<sup>2</sup>.

Питома пожежна навантага,  $g$ , МДж/м<sup>2</sup>, становить:

$$g = 47,98/10 = 4,798 \text{ МДж/м}^2$$

Значення питомої пожежної навантаги майже в 40 разів менше від мінімального значення (180 МДж/м<sup>2</sup>) для віднесення приміщення до категорії В, тому приміщення відноситься до категорії Д.

**Висновок.** Приміщення заводської фізико-хімічної лабораторії з наявністю ЛЗР, згідно з розрахунками, відноситься до категорії Д – знижено пожежо-небезпечна.

**5.4. Задачі з використанням формули 17 ДСТУ для визначення маси парів рідини,  $m_{\text{нагр}}$ , кг, при випаровуванні рідини, що нагріта вище розрахункової температури, але не вище температури кипіння рідини**



**Приклад 6.** Визначити масу пари н-амілового спирту, що випарується в об'єм виробничого приміщення у результаті руйнування трубопроводу, по якому закачують у реактор н-аміловий спирт. Розміри виробничого приміщення:  $20 \times 15 \times 4$  м. Об'єм спирту у реакторі  $0,5 \text{ м}^3$ . За розрахункову температуру приймається максимально висока температура повітря у м. Одеса згідно з ДСТУ – Н Б В.1.1-27:2010 *Будівельна кліматологія*,  $t_p = 41^\circ\text{C}$ .

Хімічна формула н-амілового спирту  $\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}$ , молекулярна маса –  $88,15 \text{ кг/кмоль}$ ; температура спалаху  $t_{\text{сп}} = +48^\circ\text{C}$ ; константи Антуана:  $A = 6,3073$ ;  $B = 1287,625$ ;  $C_A = 161,330$  (температурний інтервал застосування  $74 \div 157^\circ\text{C}$ ); температура кипіння  $t_{\text{кип}} = +138^\circ\text{C}$ ; густина рідини  $\rho = 811 \text{ кг/м}^3$ , питома теплота випаровування при температурі кипіння  $L_{\text{вип}} = 44,36 \text{ кДж/моль}$ ; питома теплоємність при  $25^\circ\text{C}$   $C_p = 208,1 \text{ Дж}\cdot\text{моль}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ .

Масу парів  $m_{\text{нагр}}$ , кг, при випаровуванні рідини, що нагріта вище розрахункової температури, але не вище температури кипіння рідини, визначають за формулою:

$$m_{\text{нагр}} = 0,02 \cdot \sqrt{M} \cdot P_n \frac{C_p \cdot m_p}{L_{\text{вип}}},$$

де:  $C_p$  – питома теплоємність рідини при початковій температурі випаровування,  $\text{Дж} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ;

$M$  – молярна маса рідини,  $\text{кг кмоль}^{-1}$ ;

$L_{\text{вип}}$  – питома теплота випаровування рідини при початковій температурі випаровування, що визначають за довідниковими даними,  $\text{Дж}\cdot\text{кг}^{-1}$ ;

$m_p$  – маса рідини, кг.

Перерахуємо значення питомої теплоємності із розмірності

$\text{Дж}\cdot\text{моль}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$  у розмірність  $\text{Дж}\cdot\text{кг}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ :

$$C_p = \frac{208,1 \cdot 1000}{88,15} = 2360,75 \text{ (Дж} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}\text{)}$$

Перерахуємо значення питомої теплоти випаровування із розмірності  $\text{кДж}\cdot\text{моль}^{-1}$  у розмірність  $\text{Дж}\cdot\text{кг}^{-1}$ :

$$L_{\text{вип}} = \frac{44360 \cdot 1000}{88,15} = 503233 \text{ (Дж} \cdot \text{кг}^{-1}\text{)}$$

Розрахуємо тиск насиченої пари нормального амілового спирту при температурі  $75^\circ\text{C}$ :

$$P_n = 10^{\left(\frac{A-B}{C_A+t_p}\right)} = P_n = 10^{\left(\frac{6,3073-1287,625}{161,33+75}\right)} = 7,23 \text{ (кПа)}$$

Маса н-амілового спирту, що виливається із реактора, становить:

$$m_p = 0,5 \text{ м}^3 \times 811 \text{ кг/м}^3 = 405,5 \text{ кг}$$

Визначаємо масу парів  $m_{\text{нагр}}$ , кг, при випаровуванні н-амілового спирту, що нагрітий вище розрахункової температури, але не вище температури кипіння:

$$m_{\text{нагр}} = 0,02 \cdot \sqrt{88,15} \cdot 7,23 \frac{2360,75 \cdot 405,5}{503233} = 2,58 \text{ (кг)}$$

За відсутності довідникових даних дозволено визначати питому теплоту випаровування  $L_{\text{вип}}$  за формулою:

$$L_{\text{вип}} = \frac{19,173 \cdot 10^3 \cdot B \cdot T_a^2}{(T_a + C_a - 273,2)^2 \cdot M},$$

де:  $B, C_a$  – константи рівняння Антуана, які визначають за довідниковими даними для тиску насичених парів, що вимірюють у кПа;

$T_a$  – початкова температура нагрітої рідини, °К.

Розрахуймо питому теплоту випаровування і порівняймо розраховане значення із довідниковим значенням:

$$L_{\text{вип}} = \frac{19,173 \cdot 10^3 \cdot 1287,625 \cdot 411^2}{(413 + 161,33 - 273,2)^2 \cdot 88,15} = 528714$$

**Висновок.** Розраховане значення перевищує довідникове значення на величину 25481, що становить 4,81%.

### **5.5. Задачі для віднесення приміщень до категорій В чи Д з урахуванням площ розміщень пожежної навантаги та відстані до перекриття**

**Приклад 7.** У складському приміщенні зберігається картон. Розміри приміщення: 24×20×6,5 м. Визначити кількість картону, що може зберігатись на одиниці площі ділянки приміщення, граничну площу окремої ділянки, за яких приміщення складу відноситиметься до категорії В або Д.

*Розв'язок*

Нижча питома теплота згоряння картону складає 13,4 МДж/кг. Гранична площа окремої ділянки у приміщеннях категорії Д, на якій дозволяється розміщення пожежної навантаги, визначається за формулою:

$$S_{\text{гр}} = 0,64 \cdot H^2,$$

де:  $H$  – віддаль від поверхні пожежної навантаги до перекриття. У нас віддаль  $H$  рівна 6 м:

$$S_{\text{гр}} = 0,64 \cdot 6^2 = 23 \text{ (м}^2\text{)}$$

Гранична площа окремої ділянки у приміщенні категорії Д заввишки від пожежної навантаги до перекриття 6 м становить 23 м<sup>2</sup>.

Для того, щоб приміщення складу відносилося до категорії Д, необхідно щоб на кожному метрі квадратному цієї ділянки було розміщено питому пожежну навантагу ( $g$ ) величиною, що не перевищує 180 МДж/м<sup>2</sup> ( $g \leq 180 \text{ МДж/м}^2$ ).

Гранична віддаль між цими ділянками ( $l_{\text{гр2}}$ ) у приміщенні категорії Д визначається за формулою:

$$l_{\text{гр2}} = l_{\text{гр1}} + (11 - H),$$

де:  $l_{\text{сп1}}$  – гранична віддаль між ділянками, яка залежить від критичної поверхневої густини падаючих променистих потоків для різних горючих речовин і матеріалів при висоті приміщення 11 м.

Для картону критична поверхнева густина падаючих променистих потоків становить  $10,8 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2}$  та згідно з табл. 4 ДСТУ  $l_{\text{сп1}}$  рівна 8 м. Визначаємо  $l_{\text{сп2}}$ :

$$l_{\text{сп2}} = 8 + (11 - 6) = 13 \text{ (м)}$$

Для того, щоб приміщення складу відносилося до категорії Д, необхідно, щоб мінімальна відстань між окремими ділянками площею не більше  $23 \text{ м}^2$  з пожежною навантагою не більше  $180 \text{ МДж/кг}$  становила 13 м.

Якщо ж площу окремої ділянки збільшити на  $1 \text{ м}^2$  до  $24 \text{ м}^2$ , то у нас виконуватиметься нерівність  $Q \geq 0,64 \cdot g \cdot H^2$ .

Максимальна пожежна навантага на площі  $24 \text{ м}^2$  становить  $Q = 180 \cdot 24 = 4320 \text{ (МДж)}$ ;

$$0,64 \cdot g \cdot H^2 = 0,64 \cdot 180 \cdot 6^2 = 4147,2 \text{ (МДж)}$$

Так як  $Q = 4320 \text{ МДж}$  і умова  $Q \geq 0,64 \cdot g \cdot H^2 = 0,64 \cdot 180 \cdot 6^2 = 4147,2 \text{ (МДж)}$  виконується, то приміщення складу необхідно віднести до категорії В.

Розрахуємо дану нерівність для ділянки площею  $23 \text{ м}^2$ . Максимальна пожежна навантага на площі  $23 \text{ м}^2$  становить:  $Q = 180 \cdot 23 = 4140 \text{ (МДж)}$ ;  
 $0,64 \cdot g \cdot H^2 = 0,64 \cdot 180 \cdot 6^2 = 4147,2 \text{ (МДж)}$

**Висновок.** Так як  $Q = 4140 \text{ МДж}$  і умова  $Q \geq 0,64 \cdot g \cdot H^2 = 0,64 \cdot 180 \cdot 6^2 = 4147,2 \text{ МДж}$  не виконується, то приміщення складу необхідно віднести до категорії Д.

Кількість картону, що може бути розміщений на  $1 \text{ м}^2$  ділянки, у складському

$$\text{приміщенні категорії Д становить: } m = \frac{180}{13,4} = 13,43 \text{ (кг)}$$

**Приклад 8.** Виробнича лабораторія має висоту 3 м. У приміщенні лабораторії розміщені: шафа витяжна хімічна, стіл для аналітичних вагів, два стільці. У лабораторії можна виділити одну ділянку площею  $10 \text{ м}^2$ , на якій розміщені дерев'яний стіл і два дерев'яні стільці. Загальна маса дерева на цій ділянці становить 47 кг. Інших горючих матеріалів на цій ділянці немає. Інших ділянок з пожежною навантагою у лабораторії немає. Визначити категорію приміщення.

**Розв'язок**

Найнижча теплота згоряння для деревини становить  $13,8 \text{ МДж} \cdot \text{кг}^{-1}$ .

Пожежна навантага на ділянці становить:

$$Q = 13,8 \cdot 47 = 648,6 \text{ (МДж)}$$

Питома пожежна навантага на ділянці становить:

$$g = \frac{Q}{S} = \frac{648,6}{10} = 64,9 \text{ (МДж} \cdot \text{м}^{-2}\text{)}$$

Визначаємо, чи виконується умова щодо величини пожежної навантаги у вигляді нерівності:

$$Q \geq 0,64 \cdot g_{\text{г}} \cdot H^2$$

Якщо  $g_T < 180 \text{ МДж м}^{-2}$ , то для розрахунку величина  $g_T$  приймається рівною  $180 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2}$ :

$$Q \geq 0,64 \cdot 180 \cdot 3^2 = 1036,8,$$

де:  $g_T$  – питома пожежна навантага,  $\text{МДж} \cdot \text{м}^{-2}$ ;

$H$  – мінімальна відстань від пожежної навантаги (окрім кабельних ліній) до нижнього пояса незахищених металевих ферм або перекриття (покриття).

Оскільки пожежна навантага у приміщенні менше  $1036,8 \text{ МДж}$ , а саме: становить  $648,6 \text{ МДж}$ , то згідно з таблицею 1 ДСТУ приміщення з такою пожежною навантагою необхідно віднести до категорії Д.

**Висновок.** Оскільки у приміщенні лабораторії немає інших ділянок з пожежною навантагою, приміщення лабораторії відноситься до категорії Д.

### 5.6. Розрахунок тиску насиченої пари методом лінійної інтерполяції

Необхідно визначити тиск насиченого пару за температури  $t_{\text{фак}}$ , яка не збігається з температурним інтервалом значень констант Антуана і, відповідно, розрахувати тиск насиченої пари з використанням констант Антуана неможливо.

У такому разі можна розрахувати тиск насиченої пари за температури  $t_{\text{фак}}$ , якщо у довідниках ми знайдемо значення тиску насиченої пари для температури нижчої за  $t_{\text{фак}}$  ( $t_n$ ) і для температури вищої за  $t_{\text{фак}}$  ( $t_s$ ).

Тиск  $P_{\text{фак}}$  – для температури  $t_{\text{фак}}$ , тиск  $P_n$  – для температури  $t_n$ , тиск  $P_s$  – для температури  $t_s$ .

Проводиться розрахунок тиску насиченої пари за заданої температури  $t_{\text{фак}}$  за формулою:

$$P_{\text{фак}} = P_n + \frac{(P_s - P_n) \cdot (t_{\text{фак}} - t_n)}{t_s - t_n}$$

**Приклад 9.** Визначити тиск насиченої пари етилформіату  $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_2$  при температурі  $t_{\text{фак}} = 5 \text{ }^\circ\text{C}$  і загальному тиску  $P_{\text{заг}} = 101,3 \text{ кПа}$ .

З довідника знаходимо: за температури  $t_n = -11,5 \text{ }^\circ\text{C}$  тиск насиченої пари становить  $P_n = 5,333 \text{ кПа}$ ; за температури  $t_s = 5,4 \text{ }^\circ\text{C}$  тиск насиченої пари становить  $P_s = 13,14 \text{ кПа}$ .

Проводимо розрахунок тиску насиченої пари за заданої температури:

$$P_{\text{фак}} = 5,333 + \frac{(13,14 - 5,333) \cdot (5 - (-11,5))}{(5,4 - (-11,5))} = 12,95 \text{ (кПа)}$$

### 5.7. Задачі для визначення $\Delta P$ для пилоповітряних горючих середовищ, для випадків, коли концентрація пилу, що бере участь у вибусі, розраховується за стехіометрією

Розрахункову масу горючого пилу,  $m_{\text{зн}}$ , кг, що знаходиться у стані аерозолі в об'ємі приміщення в результаті розрахункової аварії, визначають за формулою (21):

$$m_{\text{зн}} = \min \left\{ \begin{array}{l} m_{\text{вз}} + m_{\text{ав}} \\ \rho_{\text{см}} V_{\text{ав}} / Z \end{array} \right.,$$

де:  $m_{\text{вз}}$  – розрахункова маса частини відкладеного у приміщенні пилу, що перейшов у стан аерозолі, кг;

$m_{\text{ав}}$  – розрахункова маса горючого пилу, що потрапив до об'єму приміщення з апарата у результаті розрахункової аварії та перейшов у стан аерозолі, кг;

*Примітка.* У формулі приймають мінімальне значення маси горючого пилу, що була обчислена за двома способами

$\rho_{\text{ст}}$  – стехіометрична концентрація горючого пилу в аерозолі,  $\text{кг}\cdot\text{м}^{-3}$ ;

$V_{\text{ав}}$  – розрахунковий об'єм пилоповітряної хмари, утвореної при аварійній ситуації в об'ємі приміщення,  $\text{м}^3$ .

Масу горючого пилу  $m$ , що в результаті аварії знаходиться у стані аерозолі, можна розраховувати:

за стехіометричною концентрацією згідно з рівнянням реакції горіння з врахуванням кількості кисню в об'ємі приміщення;

згідно з аварійною ситуацією, коли у вибусі бере участь пил, що вийшов з апарата і перейшов у стан аерозолі разом з пилом, що був відкладений на поверхнях приміщення і перейшов у стан аерозолі під час вибуху.

*Приклад 10.* Розрахувати надлишковий тиск вибуху пилоповітряної суміші з урахуванням стехіометричної концентрації горючого пилу в аерозолі на прикладі приміщення пилоприготувального відділення вугільного палива на металургійному комбінаті.

Для визначення надлишкового тиску вибуху пилоповітряної суміші визначаємо розрахункову масу горючого пилу  $m_{\text{зн}}$ , що знаходиться у стані аерозолі і бере участь у вибусі за стехіометричною концентрацією на прикладі приміщення пилоприготувального відділення. Оскільки пиловугільне паливо складається з декількох марок вугілля відсотковий зміст елементів суміші марок вугілля наведено на останній позиції таблиці 7.

Таблиця 7 – Марка вугілля та її склад

Марка	Співвідношення у суміші	C, %	H, %	O, %	N, %	S, %	Зола, %	W, %
ГЖОМСШ	0,25	74,00	4,00	9,00	3,50	0,40	9,10	8,50
А	0,375	84,1	1,00	1,5	1,2	1,6	10,6	9,00
Т	0,375	77,8	3,5	3,5	3,7	1,5	10,00	10,0
Суміш	1,00	79,21	2,69	4,13	2,71	1,26	10,00	9,25

1. Визначення кількості кисню, необхідного для згорання 1 кг пиловугільного палива

Процес горіння палива являє собою хімічний процес з'єднання (окиснення) горючих елементів палива з киснем повітря, що протікає при високій температурі та супроводжується інтенсивним виділенням тепла. В результаті

процесу горіння утворюються гази, так звані продукти згоряння або димові гази, а також тверді залишки – зола, шлак і частинки незгорілого палива. Розрізняють повне і неповне згоряння. Згоряння називають повним, якщо горючі елементи повністю окислюються. Так як горючими елементами твердого палива (у нашому випадку вугільного пилу) є вуглець, водень та сірка, то при повному згорянні димові гази складаються з вуглекислого газу (диоксиду вуглецю)  $\text{CO}_2$ , водяної пари  $\text{H}_2\text{O}$ , сірчистого газу  $\text{SO}_2$  і азоту  $\text{N}_2$  (атмосферного азоту й азоту палива).

Таблиця 8 – Молекулярна вага горючих елементів вугільного пилу та газів, що утворюються при його згорянні

	Елементи палива та продукти згоряння								
	C	H <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	S	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	CO
Молекулярна вага	12,01	2,016	28,016	32,06	32,00	44,01	64,06	18,016	28,01

Повне згоряння вуглецю відбувається згідно з рівнянням:



Це рівняння можна записати наступним чином:



Підставивши в це рівняння вагу молей вуглецю, кисню і вуглекислого газу з таблиці 8, отримаємо:



або



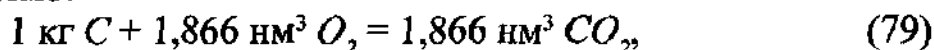
Отже, для повного згоряння 1 кг вуглецю теоретично необхідно 2,67 кг кисню і при цьому утвориться 3,67 кг вуглекислого газу.

Вагові значення кисню і вуглекислого газу, наведені в рівнянні (79), легко виразити в об'ємних одиницях. Для цього потрібно в рівнянні (77) розділити вагу кожного газу на його питому вагу. Питома вага кисню становить 1,428 кг/м<sup>3</sup>, а питома вага вуглекислого газу – 1,964 кг/м<sup>3</sup> (таблиця 9).

Таблиця 9

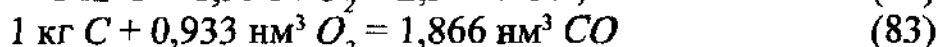
Найменування газу	Хімічна формула	Питома вага, кг/м <sup>3</sup>
Кисень	O <sub>2</sub>	1,428
Азот	N <sub>2</sub>	1,251
Вуглекислий газ	CO <sub>2</sub>	1,964
Оксид вуглецю	CO	1,250
Водень	H <sub>2</sub>	0,090
Водяна пара	H <sub>2</sub> O	0,804
Двооксид сірки	SO <sub>2</sub>	2,926

Після чого отримаємо:



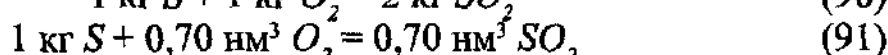
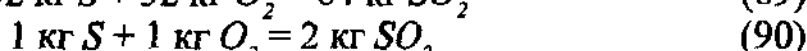
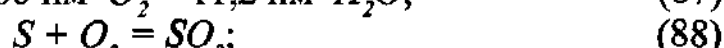
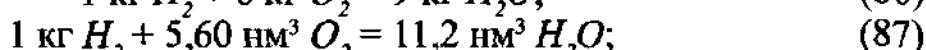
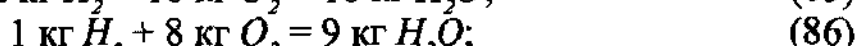
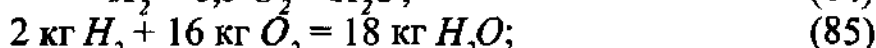
тобто для повного згоряння 1 кг вуглецю теоретично необхідно 1,866 нм<sup>3</sup> кисню, при цьому утвориться 1,866 нм<sup>3</sup> вуглекислого газу.

Неповне згоряння вуглецю відбувається відповідно до рівнянь:



Таким чином, при неповному згорянні 1 кг вуглецю об'ємна кількість отриманого окису вуглецю складе 1,866 нм<sup>3</sup>, тобто стільки ж, скільки утворюється вуглекислого газу при повному згорянні 1 кг вугілля. Звідси можна зробити висновок, що при горінні вуглецю, незалежно від повноти згоряння, сумарний об'єм  $CO_2$  і  $CO$  залишається незмінним.

Аналогічно визначається кількість кисню, необхідного для спалювання 1 кг водню і 1 кг сірки, а також кількість утворених продуктів згоряння водню та сірки:



Отримані на підставі рівнянь (79) – (91) дані наведено в табл. 10.

Таблиця 10 – Кількість кисню, необхідного для згоряння горючих елементів вугільного пилу, та кількість утворених продуктів згоряння

Горючі елементи	Кількість кисню, необхідного для згоряння		Кількість утворених продуктів згоряння	
	кг/кг	нм <sup>3</sup> /кг	кг/кг	нм <sup>3</sup> /кг
Вуглець	2,67	1,866	3,67 $CO_2$	1,866 $CO_2$
Водень	8	5,6	9 $H_2O$	11,2 $H_2O$
Сірка	1	0,7	2 $SO_2$	0,7 $SO_2$

## 2. Визначення кількості повітря, необхідного для згоряння 1 кг пиловугільного палива

З таблиці 10, складеної на підставі рівнянь реакцій горіння (з'єднання) горючих елементів пиловугільного палива з киснем, видно, що для повного згоряння 1 кг вуглецю потрібно 2,67 кг кисню, 1 кг водню – 8 кг кисню, 1 кг сірки – 1 кг кисню.

За цими даними слід визначити кількість кисню, теоретично необхідного для повного згоряння 1 кг твердого палива (вугільного пилу). Справді, в 1 кг вугільного палива міститься така кількість горючих елементів палива:

$$\text{вуглецю } \frac{C^p}{100} \text{ кг, водню } \frac{H^p}{100} \text{ кг, сірки } \frac{S^p}{100} \text{ кг} \quad (92)$$

Отже, кількість кисню, необхідного для повного згоряння 1 кг палива (вугільного пилу), складе:

$$\text{або} \quad 2,67 \cdot \frac{C^p}{100} + 8 \cdot \frac{H^p}{100} + \frac{S^p}{100} \text{ кг/кг} \quad (93)$$

$$\frac{2,67C^p + 8H^p + S^p}{100} \text{ кг/кг} \quad (94)$$

Оскільки у пиловугільному паливі міститься  $\frac{O^p}{100}$  кг кисню, який викори

стовується при горінні, то слід підвести до палива менше кисню на цю величину. Таким чином, кількість кисню, необхідного для повного згоряння 1 кг пиловугільного палива, становить:

$$\frac{2,67 \cdot C^p + 8 \cdot H^p + S^p - O^p}{100} \text{ кг/кг} \quad (95)$$

$$\frac{2,67 \cdot 79,2 + 8 \cdot 2,69 + 1,26 - 4,13}{100} = 2,3 \text{ (кг/кг)}$$

Очевидно, що ця кількість кисню є мінімальною; її можна назвати також теоретичною. Позаяк горіння пиловугільного палива відбувається за рахунок атмосферного повітря, то для визначення витрати останнього необхідно знати відсотковий вміст кисню в повітрі. Для технічних розрахунків приймають наступний склад сухого повітря з таблиці 11.

Таблиця 11

Склад сухого повітря	За об'ємом, %	За вагою, %
O <sub>2</sub>	21,0	23,2
N <sub>2</sub>	79,0	76,8

Отже, кількість сухого повітря  $L^o$ , теоретично необхідного для повного згоряння 1 кг пиловугільного палива, дорівнює:

$$L^o = \frac{2,67C^p + 8H^p + S^p - O^p}{100} \cdot \frac{100}{23,2} \text{ (кг повітря / кг палива)} \quad (96)$$



або після найпростіших перетворень

$$L^o = 0,115(C^p + 0,375S^p) + 0,342H^p - 0,0431O^p, \text{ кг/кг} \quad (97)$$

Здебільшого у розрахунках користуються об'ємною кількістю повітря **прин. у.** Очевидно, що об'єм повітря, теоретично необхідного для повного згоряння 1 кг пиловугільного палива, дорівнюватиме:

$$V^o = \frac{L^o}{\gamma_n^o}, \quad (98)$$

де:  $\gamma_n^o$  – питома вага повітря, при нормальних умовах дорівнює 1,293 кг/м<sup>3</sup>.

Отже,

$$V^o = \frac{0,115(C^p + 0,375S^p) + 0,342H^p - 0,0431O^p}{1,293} \quad (99)$$

або

$$V^o = 0,0889(C^p + 0,375S^p) + 0,265H^p - 0,0833O^p, \text{ м}^3/\text{кг}; \quad (100)$$

$$V^o = 0,0889(79,21 + 0,375 \cdot 1,26) + 0,265 \cdot 2,69 - 0,0833 \cdot 4,13 = 7,4525$$

Таким чином, для згоряння 1 кг пиловугільного палива потрібно 7,4525 м<sup>3</sup> повітря.

*3. Визначення надлишкового тиску вибуху у вільному об'ємі приміщення пилоприготувального відділення у разі врахування маси пилу, що бере участь у вибусі, розрахованого за стехіометричною концентрацією*

Для визначення надлишкового тиску вибуху у вільному об'ємі приміщення пилоприготувального відділення у разі аварії слід визначити розрахункову масу вугільного пилу,  $m$ , що знаходиться у стані аерозолі та бере участь у вибусі.

На підставі наведених вище формул визначаємо масу пиловугільного палива  $m_{ав}$ , що перейшла у стан аерозолі в результаті аварійного викиду з обладнання і бере участь у вибусі.

Приймаємо, що розрахунковий об'єм пилоповітряної хмари, що утворилася при аварійній ситуації, м<sup>3</sup>, дорівнює вільному об'єму приміщення пилоприготувального відділення.

За результатами розрахунків, наведених вище, для згоряння 1 кг пиловугільного палива потрібно 7,4525 м<sup>3</sup> повітря.

За вихідними даними геометричний об'єм приміщення пило-приготувального відділення становить 32470 м<sup>3</sup>. Приймаємо, що вільний від обладнання

об'єм приміщення становить 50% від геометричного, і дорівнює відповідно 16235 м<sup>3</sup>. Тобто такій кількості повітря відповідає маса пиловугільного палива, що повністю згоряє під час вибуху, і вона становить 2175,49 кг. Стехіометрична концентрація пиловугільного палива у цьому випадку становить 134 г/м<sup>3</sup>.

Враховуючи, що розрахунковий об'єм пилоповітряної хмари  $V_{ав}$ , утвореної при аварійній ситуації в об'ємі приміщення, у нашому випадку дорівнює вільному об'єму приміщення пилоприготувального відділення; визначаємо надлишковий тиск вибуху за такою формулою:

$$\Delta P = \frac{\rho_{ст} \cdot V_{вільн} \cdot H_i \cdot P_o \cdot Z}{Z \cdot V_{вільн} \cdot \rho_n \cdot C_p \cdot T_o} \cdot \frac{1}{K_n},$$

де:  $\rho_{ст}$  – стехіометрична концентрація пилу в аерозолі, кг/м<sup>3</sup>.

У разі відсутності можливості отримання даних щодо масової частки частинок пилу розміром частинок менше критичного допускається приймати коефіцієнт участі пилу у вибусі таким, що становить  $Z = 0,5$ .

Розрахункова маса пилу в аерозолі,  $m_{zn}$ , що потрапила в результаті аварії у повітря, становить:

$$m_{zn} = \frac{\rho_{ст} \cdot V_{вільн}}{Z} = \frac{0,134 \cdot 16235}{0,5} = 4350,98 \text{ (кг)}$$

Визначаємо масу пилу, що згоряє в об'ємі пилоповітряної хмари:

$$m = \rho_{ст} \cdot V_{вільн} = 0,134 \cdot 16235 = 2175,49 \text{ (кг)}$$

Кінцева формула для визначення надлишкового тиску вибуху аерозолі стехіометричної концентрації має вигляд:

$$\Delta P = \frac{m \cdot H_i \cdot P_o}{V_{вільн} \cdot \rho_n \cdot C_p \cdot T_o} \cdot \frac{1}{K_n}$$

Густина повітря при розрахунковій температурі  $t_p$ , кг·м<sup>-3</sup>, визначається за формулою:

$$\rho_{г,n} = \frac{M}{V_o(1 + 0,00367 \cdot t_p)},$$

де:  $M$  – молярна маса, кг·кмоль<sup>-1</sup>;

$V_o$  – мольний об'єм, що дорівнює 22,413 м<sup>3</sup>·кмоль<sup>-1</sup>;

$t_p$  – розрахункова температура, °C;

$$\rho_n = \frac{29}{22,4 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 20)} = 1,2 \text{ (кг·м}^{-3}\text{)}$$

Визначаємо надлишковий тиск вибуху за формулою:

$$\Delta P = \frac{2175,49 \cdot 30 \cdot 10^6 \cdot 101 \cdot 1}{16235 \cdot 1,2 \cdot 1010 \cdot 293 \cdot 3} = 381 \text{ (кПа)}$$

Таким чином, надлишковий тиск вибуху вугільного пилу у повітрі при стехіометричній концентрації його у вільному об'ємі приміщення пило-приготувального відділення становить 381 кПа.

*4. Розрахунок надлишкового тиску вибуху пилоповітряної суміші з урахуванням маси пилу, що потрапив з апарата в об'єм приміщення, та маси пилу, відкладеного на поверхнях за час між прибираннями*

Розрахункову масу пилу, що знаходиться у стані аерозолі у вільному об'ємі приміщення пилоприготувального відділення в результаті аварійної ситуації  $m$ , кг, визначають за формулою (21):

$$m_{zn} = m_{zv} + m_{av},$$

де:  $m_{zv}$  – розрахункова маса частини відкладеного у приміщенні пилу, що перейшла у стан аерозолі, кг;

$m_{av}$  – розрахункова маса пилу, що надійшла до приміщення в результаті аварійної ситуації з апаратів та технологічного обладнання, кг.

Розрахункову масу пилу, що перейшов у стан аерозолі,  $m_{zv}$ , обчислюють за формулою (23):

$$m_{zv} = K_{zv} + m_n,$$

де:  $K_{zv}$  – частка пилу, що відклалася у приміщенні, яка здатна перейти у стан аерозолі в результаті аварійної ситуації. У разі відсутності експериментальних даних щодо значення  $K_{zv}$  допускається приймати  $K_{zv} = 0,9$ ;

$m_n$  – маса пилу, що відклалася у приміщенні до моменту аварії, кг.

Розрахункову масу пилу, що потрапила до приміщення з апарата або технологічного обладнання в результаті аварійної ситуації,  $m_{av}$ , визначають за формулою (24):

$$m_{av} = (m_{an} + q \cdot \tau) \cdot K_n,$$

де  $m_{an}$  – маса горючого пилу, що викидається до приміщення з апарата, кг;

$q$  – витрата, з якою продовжують надходити пилоподібні речовини до аварійного апарата по трубопроводах до моменту їх перекривання, кг·с<sup>-1</sup>;

$\tau$  – час перекривання, який визначається за пунктом 7.1.2 в), с;

$K_n$  – коефіцієнт пилення, що являє собою відношення маси пилу у стані аерозолі до усієї маси пилу, який надійшов з апарата до приміщення. У разі відсутності експериментальних даних щодо значення  $K_n$  допускається приймати:

для пилу з дисперсністю не менше ніж 350 мкм  $K_n = 0,5$ ;

для пилу з дисперсністю менше ніж 350 мкм  $K_n = 1,0$ .

У даному випадку коефіцієнт пилення для вугільного пилу, враховуючи, що дисперсність його менше 350 мкм, становить  $K_n = 1,0$ .

Приймаємо, що аварія сталася у продувному бункері, коли він перебував в одному з п'яти режимів, а саме – в режимі «очікування». У результаті розгерметизації продувного бункера ємністю 70 м<sup>3</sup> в об'єм пилоприготувального відділення надійшла значна кількість вугільного пилу.

За вихідними даними маса пилу, що відкладається у приміщенні до моменту аварії за добу становить 13 кг. У разі відсутності експериментальних

даних щодо значення  $K_{38}$  приймаємо  $K_{38} = 0,9$ .

Розрахункову масу відкладеного у цеху пилу, що перейшов у стан аерозоліу тзв, визначаємо за формулою (23):

$$m_{38} = 0,9 \cdot 1,3 = 11,7 \text{ (кг)}$$

Маса пилу, що надійшла у приміщення в результаті аварії, за відсутності трубопроводів, становить:

$$m_{ав} = m_{ан} + K_n,$$

де:  $m_{ан}$  – маса горючого пилу, що викидається до приміщення з апарата, кг.

За вихідними даними, насипна густина вугільного пилу становить 850 кг/м<sup>3</sup>, заповненість ємності становить 0,8.

Маса горючого пилу, що потрапляє у приміщення з продувного бункеру (апарата):

$$m_{ан} = 0,8 \cdot 70 \cdot 850 = 47600 \text{ (кг)}$$

Маса пилу, що надійшла у приміщення в результаті аварії, становить:

$$m_{ав} = m_{ан} \cdot K_p = 47600 \cdot 1 = 47600 \text{ (кг)}$$

Розрахункову масу пилу, що знаходиться у стані аерозоліу у пилоприготувальному приміщенні в результаті аварійної ситуації,  $m$ , кг, визначають за формулою (21):

$$m = 11,7 + 47600 = 47611,7 \text{ (кг)}$$

Геометричний об'єм пилоприготувального відділення становить 32470 м<sup>3</sup>. Приймаємо, що вільний від обладнання об'єм приміщення становить 50% від геометричного, і дорівнює, відповідно, 16235 м<sup>3</sup>.

Визначаємо надлишковий тиск вибуху за формулою (5):

$$\Delta P = \frac{47611,7 \cdot 30 \cdot 10^6 \cdot 101 \cdot 0,5}{16235 \cdot 1,2 \cdot 1010 \cdot 293} \cdot \frac{1}{3} = 4170,44 \text{ (кПа)}$$

Маса горючого пилу, який перейшов у зважений стан і бере участь у вибусі з урахуванням, що коефіцієнт  $Z = 0,5$ , становить 23805,85 кг. Надлишковий тиск вибуху в приміщенні будівлі пилоприготувального відділення у разі аварії у продувному бункері становить 4170,44 кПа.

### Висновок

Розрахункова маса горючого пилу, який у результаті аварії перейшов у зважений стан і бере участь у вибусі з урахуванням стехіометричної концентрації, становить 2175,49 кг.

Розрахункова маса пилу в аерозолі, що потрапив у результаті аварії до повітря та бере участь у вибусі з урахуванням горючого пилу, що потрапив у приміщення з продувного бункеру та з відкладень між прибираннями, становить 23805,85 кг.

За формулою (21) приймається до уваги менше з двох значень маси горючого пилу, який у результаті аварії перейшов у зважений стан та бере участь у вибусі.

Розрахункова кількість пилу, яка бере участь у вибусі, не повинна перевищувати масу пилу, визначену з урахуванням стехіометричної концентрації пилоповітряної суміші.

Надлишковий тиск вибуху в приміщенні пилоприготувального відділення, становитиме 381 кПа.

Розрахунковий надлишковий тиск вибуху перевищує 5 кПа, тому приміщення пилоприготувального відділення слід віднести до категорії Б за вибухопожежною та пожежною небезпекою.

*Приклад 11.* Розрахувати категорію складського приміщення для зберігання борошна. Складське приміщення має розміри в плані 22×12,85 м, висота приміщення становить 5,77 м. Об'єм приміщення – 1631,2 м<sup>3</sup>. У приміщенні зберігається пшеничне борошно, фасоване у поліпропіленові мішки по 50 кг. Мішки по 20 шт. складені на палети (дерев'яні піддони). Максимальна висота складування – 3,9 м. Загальна місткість складу становить 600 палет. Пожежну навантагу у приміщенні становлять: пшеничне борошно, поліпропіленові мішки, палети (дерев'яні піддони). Щонайменше третина від об'єму приміщення зайнята мішками з пшеничним борошном. Вільний об'єм становить 0,67 від геометричного об'єму і дорівнює 1092,904 м<sup>3</sup>.

У приміщенні відсутні горючі гази, легкозаймисті рідини з температурою спалаху, що не перевищує 28 °С, а також речовини і матеріали, здатні вибухати та горіти при взаємодії з водою, киснем повітря або один з одним. Отже, приміщення не відноситься до категорії А. У приміщенні також відсутні легкозаймисті рідини з температурою спалаху вище 28 °С та горючі рідини. Однак, є горючий пил (борошно), отже, приміщення необхідно перевірити щодо можливості віднесення його до категорії Б (вибухопожежонебезпечна) за критерієм величини надлишкового тиску вибуху.

Аварійна ситуація з утворенням пилоповітряної хмари може бути пов'язана з падінням одного з мішків з борошном з максимальної висоти зберігання ( $H = 3,9$  м) і його розривом. У результаті цього весь його вміст ( $m_{ав} = 50$  кг) миттєво надходить у приміщення, утворюючи вибухонебезпечну пилоповітряну суміш. З певним запасом надійності приймемо об'єм пилоповітряної хмари, що утворюється при цьому, дорівнює об'єму конуса, що має висоту  $H$  і радіус основи, також рівний  $H$ . У цьому випадку об'єм аварійної хмари становить:

$$V = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot R^2 \cdot H = \frac{1}{3} \cdot 3,14 \cdot 3,9^3 = 62,1 \text{ (м}^3\text{)}$$

Коефіцієнт участі пилу у вибусі  $Z$  розраховується за формулою (20) у цьому посібнику. У разі відсутності можливості отримання даних щодо масової частки частинок пилу розміром менше критичного дозволено приймати  $Z = 0,5$ .

Розрахункову масу горючого пилу,  $m_{en}$ , кг, що знаходиться у стані аерозолі в об'ємі приміщення в результаті розрахункової аварії, визначають за формулою (21):

$$m_{zn} = \min \left\{ \begin{array}{l} m_{ez} + m_{as} \\ \rho_{cm} \cdot V_{as} / Z \end{array} \right.,$$

де:  $m_{ez}$  – розрахункова маса частини відкладеного у приміщенні пилу, що перейшов у стан аерозолі, кг;

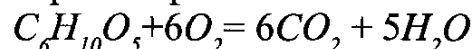
$m_{as}$  – розрахункова маса горючого пилу, що потрапив до об'єму приміщення з апарата у результаті розрахункової аварії та перейшов у стан аерозолі, кг.

Щозмінне пилоприбирання у приміщенні дозволяє знехтувати пиловідкладенням на підлозі, стінах та інших поверхнях ( $m_{38} = 0$ ). У зв'язку з цим:

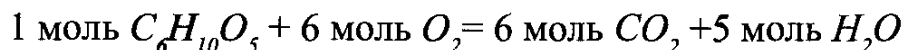
$$m_{38} + m_{as} = 0 + 50 = 50 \text{ (кг)}$$

За другим підходом, для визначення маси пшеничного борошна у стані аерозолі, що бере участь у вибусі, визначаємо його стехіометричну концентрацію.

Відомо, що 70% пшеничного борошна становить крохмаль. Хімічна формула:  $(C_6H_{10}O_5)_n$ . Реакція горіння крохмалю:

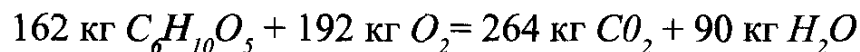


Це рівняння можна записати так:

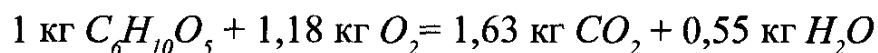


Підставимо у це рівняння вагу молей крохмалю, кисню, води та двооксиду вуглецю.

Отримаємо:



або



Вагові кількості газів кисню та вуглецю, наведені вище у рівнянні, можна виразити в об'ємних одиницях. Для цього потрібно у вказаному рівнянні розділити вагу кожного газу на його густину (питому вагу).

Густина кисню за розрахункової температури  $t_p$ ,  $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$ , визначають за формулою (2):

$$\rho_{\text{кисню}} = \frac{M}{V_o \cdot (1 + 0,00367 \cdot t_p)} = \frac{32}{22,413 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 37)} = 1,257$$

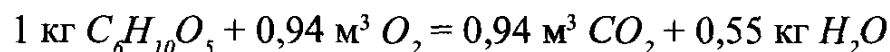
де:  $M$  – молярна маса кисню,  $32,0 \text{ кг} \cdot \text{кмоль}^{-1}$ ;

$V_o$  – мольний об'єм, що дорівнює  $22,413 \text{ м}^3 \cdot \text{кмоль}^{-1}$ ;

$t_p$  – розрахункова температура,  $37 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

$$\rho_{\text{со}_2} = \frac{M}{V_o \cdot (1 + 0,00367 \cdot t_p)} = \frac{44}{22,413 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 37)} = 1,73$$

Отримаємо:



Тобто для повного згоряння 1 кг борошна необхідно  $0,94 \text{ м}^3$  кисню.

Об'єм кисню у  $1 \text{ м}^3$  повітря за нормальних умов становить  $0,21 \text{ м}^3$ . Визначаємо вміст кисню у повітрі при розрахунковій температурі з використанням закону Гей-Люсака:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \text{ при } P = \text{const};$$

$$V_2 = \frac{V_1 \cdot T_2}{T_1} = \frac{0,21 \cdot 310}{273} = 0,238 \text{ (м}^3\text{)}$$

Таким чином, вміст кисню за об'ємом в 1 м<sup>3</sup> повітря при розрахунковій температурі становить 0,238 м<sup>3</sup>.

За реакцією горіння, що наведена вище, для згоряння 1 кг пшеничного борошна потрібно 0,94 м<sup>3</sup> кисню. Визначаємо кількість повітря, що відповідає 0,94 м<sup>3</sup> кисню.

Записуємо пропорцію:

$$\begin{aligned} &1 \text{ м}^3 - 0,238 \text{ м}^3 \\ &X - 0,94 \text{ м}^3 \\ &X = \frac{0,94}{0,238} = 3,95 \text{ (м}^3\text{)} \end{aligned}$$

Таким чином, для згоряння 1 кг пшеничного борошна потрібно 3,95 м<sup>3</sup> повітря. Іншими словами, кількість пшеничного борошна в 1 м<sup>3</sup> повітря становить 0,253 кг. За цих обставин стехіометрична концентрація пшеничного борошна становить 0,253 кг/м<sup>3</sup>.

Визначаємо масу пшеничного борошна, що перейшла у стан аерозолі:

$$\rho_{cm} V_{ag} / Z = (0,253 \cdot 62,1) / 0,5 = 31,42 \text{ (кг)},$$

де:  $\rho_{cm}$  – стехіометрична концентрація, визначена вище,  $\rho_{cm} = 0,253 \text{ кг/м}^3$ .

З двох значень маси пилу у стані аерозолі, які було зазначено вище, вибираємо менше:  $m = 31,42 \text{ кг}$ .

Густину повітря за розрахунковою температурою  $t_p$ , кг·м<sup>-3</sup>, визначають за формулою (2):

$$\rho_{нов} = \frac{M}{V_o \cdot (1 + 0,00367 \cdot t_p)},$$

де:  $M$  – молярна маса повітря, 28,98 кг·кмоль<sup>-1</sup>;

$V_o$  – мольний об'єм, що дорівнює 22,413 м<sup>3</sup>·кмоль<sup>-1</sup>;

$t_p$  – розрахункова температура, 37°C;

$$\rho_{нов} = \frac{28,98}{V_o \cdot (1 + 0,0036737)} = 1,138 \text{ (кг/м}^3\text{)}$$

Визначення надлишкового тиску вибуху  $\Delta P$  проводимо за формулою (5):

$$\Delta P = \frac{31,42 \cdot 16,8 \cdot 10^6 \cdot 101,3 \cdot 0,5}{1092,904 \cdot 1,138 \cdot 1,01 \cdot 10^3 \cdot 310 \cdot 3} = 22,8 \text{ (кПа)},$$

де:  $H_m$  – теплота згоряння 16,810<sup>6</sup> Дж·кг<sup>-1</sup>;

$\rho_{нов}$  – густина повітря до вибуху за початкової температури  $T_o$ , кг·м<sup>-3</sup>;

$C_p$  – теплоємність повітря, Дж·(кг<sup>-1</sup>·К<sup>-1</sup>) (дозволено приймати рівною 1,01·10<sup>3</sup> Дж·(кг<sup>-1</sup>·К<sup>-1</sup>);

$T_o$  – початкова температура повітря 310 К.

**Висновок.** Розрахунковий надлишковий тиск вибуху перевищує 5 кПа, приміщення складу відноситься до категорії Б – вибухопожежонебезпечної.

**5.8. Приклади розрахунку надлишкового тиску вибуху у разі аварійного викиду горючих газів, парів легкозаймистих і горючих рідин та визначення категорій приміщень за вибухопожежною та пожежною небезпекою**

**5.8.1. Приміщення з горючими газами**

**Приклад 12.** Визначити, до якої категорії відноситься приміщення станції з перекачки метану розмірами  $12 \times 6 \times 3$  м, у якому знаходиться резервуар об'ємом  $10 \text{ м}^3$ , трубопроводи внутрішнім діаметром 40 мм, довжина до засувки на підвідному трубопроводі 5 м, на відвідному – 3 м. Тиск у системі 5 атм. Кратність повітрообміну 5 за годину. Забезпечено резервування елементів автоматики, що відключають подавання газу. Коефіцієнт вільного об'єму  $K_{\text{вільн}} = 80\%$ . Температура повітря у приміщенні  $20^\circ\text{C}$ .

*Вихідні дані для визначення категорії приміщення*

Назва – приміщення станції по перекачуванню метану.

1. Характеристика виробничого приміщення:

довжина  $l = 12$  м;

ширина  $b = 6$  м;

висота  $h = 3$  м;

коефіцієнт вільного об'єму приміщення  $K_{\text{вільн}} = 80\%$ ;

кратність аварійної вентиляції  $A = \frac{5}{3600} \text{ с}^{-1}$ ;

температура повітря  $t_{\text{нов}} = 20^\circ\text{C}$ .

2. Характеристика речовини:

Назва – метан,  $\text{CH}_4$ ;

молекулярна маса  $M = 16$ .

Число атомів у молекулі горючої речовини:

вуглецю  $n_c = 1$ ;

водню  $n_h = 4$ ;

кисню  $n_o = 0$ ;

галогенів  $n_x = 0$ .

Максимальний тиск вибуху 706 кПа.

Теплота згоряння  $802 \text{ кДж/моль} = \frac{802 \cdot 1000}{16} = 50125 \text{ кДж/кг}$ .

3. Характеристика технологічного блоку:

об'єм апарата,  $V = 10 \text{ м}^3$ ;

робочий тиск у апараті 505 кПа;

температура газу в апараті  $t_{\text{роб}} = 20^\circ\text{C}$ ;

продуктивність (подача) компресора  $q = 0 \text{ кг} \cdot \text{с}^{-1} (\text{м}^3 \cdot \text{с}^{-1})$ .



Підвідний трубопровід:

довжина  $L_1 = 5$  м;

радіус  $r_1 = 0,04$  м.

Відвідний трубопровід:

довжина  $L_2 = 3$  м;

радіус  $r_2 = 0,04$  м.

Тривалість відключення трубопроводів  $\tau_T = 3$  с.

Розв'язок

Надлишковий тиск вибуху визначаємо за формулою (1):

$$\Delta P = (P_{\max} - P_o) \cdot \frac{m \cdot Z}{V_{\text{вільн}} \cdot \rho_{\text{гн}}} \cdot \frac{100}{C_{\text{ст}}} \cdot \frac{1}{K_n},$$

де:  $P_{\max} = 720$  кПа;

$P_o = 101$  кПа;

$Z = 0,5$  (таблиця 2 ДСТУ);

$V_{\text{вільн}} = 12 \cdot 6 \cdot 3 \cdot 0,8 = 172,8$  м<sup>3</sup>

$K_n = 3$

Густина газу визначаємо за формулою (2):

$$\rho_g = \frac{16}{22,413 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 20)} = 0,665 \text{ (кг} \cdot \text{м}^{-3}\text{)}$$

Стехіометричний коефіцієнт кисню у реакції згоряння визначаємо за формулою (4):

$$\beta = n_c + \frac{n_n - n_x}{4} - \frac{n_o}{2} = 1 + \frac{4 - 0}{4} - \frac{0}{2} = 2$$

Стехіометричну концентрацію метану обчислюємо за формулою (3):

$$C_{\text{ст}} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot \beta} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot 2} = 9,36 \%$$

Визначаємо масу газу, що надійшов у приміщення внаслідок аварії, за формулою (7):

$$m = (V_a + V_{\text{г}}) \cdot \rho_g$$

Об'єм газу, що виходить з апарата, визначаємо за формулою (8):

$$V_a = 0,01 \cdot P_p \cdot V = 0,01 \cdot 505 \cdot 10 = 50,5 \text{ (м}^3\text{)}$$

Об'єм газу, що виходить із трубопроводів, розраховуємо за формулою (9):

$$V_T = V_{1T} + V_{2T}$$

Об'єм газу, що виходить із трубопроводів до його відключення, визначаємо за формулою (10):

$$V_{1T} = q \cdot \tau_n$$

Кількість газу, що надходить у приміщення за 1 с, розраховуємо за формулою:

$$q = f \cdot v,$$

де:  $f$  – площа отвору аварійного пошкодження, м<sup>2</sup>;

$v$  – швидкість витікання газу, визначаємо за формулою:

$$v = 1,067 \cdot \sqrt{\frac{8314 \cdot 293}{16}} = 416,3 \text{ м/с}$$

Площу отвору аварійного пошкодження  $f$  обчислюємо за формулою:

$$f = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,04^2}{4} = 0,00126 \text{ (м}^2\text{)}$$

Інтенсивність надходження газу визначається за формулою:

$$q = f \cdot v = 0,00126 \cdot 416,2 = 0,523 \text{ (м}^3\text{/с)}$$

За 3 с (час відключення трубопроводів) до приміщення надійде кількість газу, що вираховується за формулою (10):

$$V_{IT} = q \cdot \tau_n = 0,523 \cdot 3 = 1,57 \text{ (м}^3\text{)}$$

Кількість газу, що надійде до приміщення після відключення, визначається за формулою (11):

$$V_{2T} = 0,01 \cdot \pi \cdot P_p \cdot \frac{d^2}{4} \cdot (L_1 + L_2) = 0,01 \cdot 505 \cdot 3,14 \cdot \frac{0,08^2}{4} \cdot (5 + 3) = 0,2 \text{ (м}^3\text{)};$$

$$V_T = V_{IT} + V_{2T} = 1,57 + 0,2 = 1,77 \text{ (м}^3\text{)}$$

Маса газу, що вийде з блоку в результаті аварії, визначається згідно з формулою (7):

$$m = (V_a + V_T) \cdot \rho_z = (50,5 + 1,77) \cdot 0,665 = 34,76 \text{ (кг)}$$

Визначаємо коефіцієнт  $K$ , що враховує роботу вентиляції, за формулою (6):

$$K = \frac{n}{3600} \cdot \tau + 1 = \frac{5 \cdot 3}{3600} + 1 = 1,0042$$

Визначаємо масу газу, що надійшов у приміщення з врахуванням вентиляції:

$$m^* = \frac{m}{K} = \frac{34,76}{1,0042} = 34,61 \text{ (кг)}$$

Розраховуємо надлишковий тиск вибуху за формулою (1):

$$\Delta P = (706 - 101) \frac{34,61 \cdot 0,5 \cdot 100}{172,8 \cdot 0,665 \cdot 9,36 \cdot 3} = 324,46 \text{ (кПа)}$$

**Висновок.** У приміщенні станції по перекачуванню метану в технологічних апаратах знаходиться горючий газ метан у такій кількості, що у випадку аварії може утворити вибухонебезпечну газоповітряну суміш, у разі займання якої утвориться розрахунковий надлишковий тиск вибуху в приміщенні, який перевищує 5 кПа.

Тому приміщення станції по перекачуванню метану відноситься до вибухонебезпечної категорії А.

**Приклад 13.** Визначити категорію приміщення стиснення етилену розмірами 12×9×12 м, у якому знаходиться апарат з етиленом об'ємом 10 м<sup>3</sup>, до якого підходять трубопроводи внутрішнім діаметром 90 мм, довжина до засувки

на підвідному трубопроводі 0,5 м, на відвідному – 4,5 м.

Тиск у системі 244,42 кПа, продуктивність компресора  $5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$ , кратність аварійної вентиляції  $8 \text{ год}^{-1}$ , відключення ручне, температура повітря у приміщенні  $20^\circ\text{C}$ .

*Вихідні дані для визначення категорії приміщення*

1. Характеристика виробничого (складського) приміщення:

довжина  $l = 12 \text{ м}$ ;

ширина  $b = 9 \text{ м}$ ;

висота  $h = 12 \text{ м}$ ;

коефіцієнт вільного об'єму приміщення,  $K_{\text{вільн}} = 80\%$ ;

кратність повітрообміну,  $A = \frac{8}{3600} \text{ с}^{-1}$ ;

температура повітря,  $t_{\text{пов}} = 20^\circ\text{C}$ .

2. Характеристика речовини:

назва – етилен,  $\text{C}_2\text{H}_4$ ;

молекулярна маса  $M = 28$ .

Число атомів у молекулі горючої речовини:

вуглецю  $n_c = 2$ ;

водню  $n_h = 4$ ;

кисню  $n_o = 0$ ;

галогенів  $n_x = 0$ .

Найнижча теплота згоряння – 47 МДж/кг.

Максимальний тиск вибуху  $P_{\text{max}} = 830 \text{ кПа}$ .

3. Характеристика технологічного блоку:

об'єм апарату  $V = 10 \text{ м}^3$ ;

робочий надлишковий тиск у апараті  $P_p = 244,42 \text{ кПа}$ ;

температура газу в апараті  $t_{\text{роб}} = 160^\circ\text{C}$ ;

продуктивність (подача) компресора  $q = 5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$ .

Підвідний трубопровід:

довжина  $L_1 = 0,5 \text{ м}$ ;

радіус  $r_1 = 0,045 \text{ м}$ .

Відвідний трубопровід:

довжина  $L_2 = 4,5 \text{ м}$ ;

радіус  $r_2 = 0,045 \text{ м}$ .

Тривалість відключення трубопроводів  $\tau_T = 300 \text{ с}$ .

*Розв'язок*

Надлишковий тиск вибуху визначаємо за формулою (1):

$$\Delta P = (P_{\text{max}} - P_o) \cdot \frac{m^* \cdot Z}{V_{\text{вільн}} \cdot \rho_g} \cdot \frac{100}{C_{\text{ст}}} \cdot \frac{1}{K_n},$$

де:  $P_{\text{max}} = 830 \text{ кПа}$ ;

$P_o = 101 \text{ кПа}$ ;

$Z = 0,5$  (таблиця 2 ДСТУ);

$$V_{\text{вільн}} = 12 \cdot 9 \cdot 12 \cdot 0,8 = 1036,8 \text{ м}^3;$$

$$K_n = 3$$

Стехіометричний коефіцієнт кисню у реакції згоряння визначаємо за формулою (4):

$$\beta = n_c + \frac{n_i - n_x}{4} - \frac{n_o}{2} = 2 + \frac{4 - 0}{4} - \frac{0}{2} = 3$$

Стехіометричну концентрацію етилену визначаємо за формулою (3):

$$C_{cm} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot \beta} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot 3} = 6,44 \text{ (\%)}$$

Густину етилену, який надійде у приміщення під час аварії в результаті роботи компресора, визначаємо за формулою (2):

$$\rho_e = \frac{28}{22,413 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 20)} = 1,164 \text{ (кг/м}^3\text{)}$$

Об'єм газу, що вийшов з апарата, визначаємо за формулою (8):

$$V_a = 0,01 \cdot P_p \cdot V = 0,01 \cdot 244,42 \cdot 10 = 24,44 \text{ (м}^3\text{)}$$

Об'єм газу, який вийшов з трубопроводів після їх відключення, визначаємо за формулою (11):

$$V_{2T} = 0,01 \cdot \pi \cdot P_p \cdot \frac{d^2}{4} \cdot (L_1 + L_2) = 0,01 \cdot 244,42 \cdot 3,14 \cdot \frac{0,09^2}{4} \cdot (4,5 + 0,5) = 0,077 \text{ (м}^3\text{)}$$

Об'єм газу, який вийшов з трубопроводів до їх відключення, визначаємо за формулою (10):

$$V_{IT} = q \cdot \tau;$$

$$V_{IT} = 5 \cdot 10^{-3} \cdot 300 = 1,5 \text{ (м}^3\text{)}$$

Об'єм газу, що вийшов з трубопроводів, обчислюємо за формулою (10):

$$V_T = 1,5 + 0,077 = 1,577 \text{ (м}^3\text{)}$$

Об'єм газу, який надійшов в результаті аварії у приміщення, визначаємо за формулою:

$$V_a + V_T = 24,44 + 1,577 = 26,017 \text{ (м}^3\text{)}$$

Визначаємо масу газу, що може надійти у приміщення внаслідок аварії, за формулою (7):

$$m = 26,017 \cdot 1,164 = 30,28 \text{ (кг)}$$

Визначаємо коефіцієнт  $K$ , що враховує роботу вентиляції, за формулою (6):

$$K = \frac{n}{3600} \cdot \tau + 1 = \frac{8 \cdot 300}{3600} + 1 = 1,667$$

Вільний об'єм приміщення становить:

$$V_{\text{вільн}} = 0,8 \cdot 12 \cdot 12 \cdot 9 = 1036,8 \text{ (м}^3\text{)}$$

Визначаємо масу газу, яка залишається у приміщенні, з врахуванням вентиляції:

$$m^* = \frac{m}{K} = \frac{30,28}{1,667} = 18,16 \text{ (кг)}$$

Розраховуємо надлишковий тиск вибуху за формулою (1):

$$\Delta P = (830 - 101) \cdot \frac{18,16 \cdot 0,5 \cdot 100}{1036,8 \cdot 1,164 \cdot 6,44 \cdot 3} = 28,39 \text{ (кПа)}$$

*Висновок.* У приміщенні у технологічному процесі знаходиться горючий газ етилен у такій кількості, що у випадку аварії може утворити вибухонебезпечну газоповітряну суміш, у разі займання якої утвориться розрахунковий надлишковий тиск вибуху в приміщенні, який перевищує 5 кПа.

Тому приміщення стиснення етилену відноситься до вибухонебезпечної категорії А.

*Приклад 14.* Визначити категорію приміщення акумуляторної розмірами  $3 \times 4 \times 3$  м, у якому заряджається акумуляторна батарея (ГОСТ 26881-86 *Акумуляторы свинцовые стационарные. Общие технические условия*) СК-4 з 12-ти акумуляторів та батарея СК-1 з 13-ти акумуляторів. Акумуляторні батареї заряджаються на стелажах. Температура повітря у приміщенні  $20^\circ\text{C}$ . Приміщення акумуляторних згідно з вимогами НД обладнуються аварійною вентиляцією. Для порівняння впливу наявності аварійної вентиляції на визначення категорії приміщення у прикладах 15 та 16 як розрахункову аварійну ситуацію приймають відмову в роботі вентиляції протягом 1 години і наявність аварійної вентиляції.

*Вихідні дані для визначення категорії приміщення*

Назва приміщення – акумуляторна (зарядка акумуляторів).

1. Характеристика виробничого (складського) приміщення:

довжина  $l = 3$  м;

ширина  $b = 4$  м;

висота  $h = 3$  м;

коефіцієнт вільного об'єму приміщення,  $K_{\text{вільн}} = 80\%$ ;

кратність повітрообміну  $A = 0 \text{ с}^{-1}$ , аварійна вентиляція не працює;

температура повітря  $t_{\text{нов}} = 20^\circ\text{C}$ .

2. Характеристика речовини:

Назва – водень,  $\text{H}_2$ ;

молекулярна маса  $M = 2$ .

Число атомів у молекулі горючої речовини:

водню  $n_{\text{н}} = 2$ .

Максимальний тиск вибуху  $P_{\text{max}} = 730$  кПа.

3. Характеристика технологічного блоку:

9 батарей СК-1 із 12-ти акумуляторів кожна;

12 батарей СК-4 із 13-ти акумуляторів кожна.

*Розв'язок*

Надлишковий тиск вибуху визначаємо за формулою (1):

$$\Delta P = (P_{\max} - P_o) \cdot \frac{m \cdot Z}{V_{\text{вільн}} \cdot \rho_z} \cdot \frac{100}{C_{\text{ст}}} \cdot \frac{1}{K_n},$$

де:  $P_{\max} = 730$  кПа;

$P_o = 101$  кПа;

$Z = 1$  (таблиця 2 ДСТУ);

$V_{\text{вільн}} = 0,8 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 3 = 28,8$  (м<sup>3</sup>);

$K_n = 3$

При розрахунку  $\Delta P$  як розрахунковий варіант аварії приймається найбільш небезпечний період, пов'язаний з формуванням і заряджанням повністю розряджених батарей з напругою більше 2,3 В на елемент і найбільшим значенням зарядного струму, який перевищує у 4 рази максимальний зарядний струм.

Тривалість надходження водню до приміщення відповідає кінцевому періоду заряджання при великому газовиділенні та приймається рівним одній годині (3600 с).

Інтенсивність виділення водню в одному елементі за динамічної рівноваги між силою зарядного струму та кількістю газу, що виділяється, складає:

$$\frac{M}{I \cdot T} = \frac{1}{F} \cdot \frac{A}{Z} = \frac{1}{9,65 \cdot 10^4} \cdot \frac{1 \cdot 10^{-3}}{1} = 1,036 \cdot 10^{-8} \text{ (кг} \cdot \text{А}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}\text{)},$$

де:  $F = 9,65 \cdot 10^4$  А·с·моль<sup>-1</sup> – константа Фарадея;

$A$  – атомна маса водню, що дорівнює 1 а.о.м. =  $1 \cdot 10^{-3}$  кг·моль<sup>-1</sup>;

$Z = 1$  – валентність водню;

$I$  – сила зарядного струму, А;

$T$  – розрахунковий час зарядки, с.

Маса водню, який надходить до приміщення при заряджанні кількох батарей, кг, визначається за формулою:

$$m = 1,036 \cdot 10^{-8} \cdot 4 \cdot [I_1 \cdot n_1 + I_2 \cdot n_2 + \dots I_i \cdot n_i] \cdot 3600,$$

де:  $I_i$  – максимальний зарядний струм  $i$ -тої батареї;  $n_i$  – кількість акумуляторів  $i$ -ї батареї; 4 – коефіцієнт, який вказує, що аварійне значення зарядного струму в 4 рази перевищує максимальний зарядний струм.

Максимальне значення зарядного струму наводиться у стандартах або ТУ на акумулятор конкретного типу.

Густина водню за розрахунковою температурою визначаємо за формулою (2):

$$\rho_z = \frac{2}{22,413 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 20)} = 0,0832 \text{ (кг} \cdot \text{м}^{-3}\text{)}$$

Маса водню, що надходить у приміщення при заряджанні батарей, становить:

$$m = 1,036 \cdot 10^{-8} \cdot 4 \cdot [9 \cdot 13 + 36 \cdot 12] \cdot 3600 = 0,082 \text{ (кг)}$$

Стехіометричний коефіцієнт кисню у реакції згоряння визначається за формулою (4):

$$\beta = n_c + \frac{n_i - n_x}{4} - \frac{n_o}{2} = 0 + \frac{2 - 0}{4} - \frac{0}{2} = 0,5$$

Стехіометричну концентрацію водню визначаємо за формулою (3):

$$C_{cm} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot \beta} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot 0,5} = 29,24 (\%)$$

Розраховуємо надлишковий тиск вибуху:

$$\Delta P = (730 - 101) \frac{0,082 \cdot 1 \cdot 100}{28,8 \cdot 0,0832 \cdot 29,24 \cdot 3} = 24,5 \text{ (кПа)}$$

**Висновок.** У приміщенні у технологічному процесі виділяється горючий газ водень у такій кількості, що у випадку відключення вентиляції утворюється вибухонебезпечна газоповітряна суміш, у разі займання якої утворюється розрахунковий надлишковий тиск вибуху у приміщенні, який перевищує 5 кПа.

Тому приміщення заряджання акумуляторів відноситься до вибухонебезпечної категорії А.

**Приклад 15.** Визначити категорію приміщення акумуляторної за вихідними даними з прикладу 14 за наявності вентиляції з кратністю повітрообміну  $A = 7 \text{ год}^{-1}$ .

Визначаємо коефіцієнт  $K$ , що враховує роботу вентиляції за формулою (6):

$$K = \frac{n}{3600} \cdot \tau + 1 = \frac{7 \cdot 3600}{3600} + 1 = 8$$

Визначаємо масу водню, що надходить до приміщення з врахуванням вентиляції:

$$m^* = \frac{m}{K} = \frac{0,082}{8} = 0,01025 \text{ (кг)}$$

Визначаємо надлишковий тиск вибуху:

$$\Delta P = (730 - 101) \frac{0,01025 \cdot 1 \cdot 100}{28,8 \cdot 0,0832 \cdot 29,24 \cdot 3} = 3,06 \text{ (кПа)}$$

**Висновок.** За умови обладнання акумуляторного приміщення аварійною вентиляцією з кратністю повітрообміну  $A = 7 \text{ год}^{-1}$ , яка відповідає вимогам п. 7.2.3 ДСТУ (забезпечено резервування усіх елементів автоматики), ДБН В.2.5-67:2013 *Опалення, вентиляція та кондиціювання* і НПАОП 40.1-1.32-01 *Правила будови електроустановок*, допускається не відносити акумуляторне приміщення до категорії А. Допускається відносити вказане приміщення до категорії В.

### **5.8.2. Приміщення з перегрітими легкозаймистими і горючими рідинами та зрідженими горючими газами**

**Приклад 16.** Визначити категорію приміщення насосної по перекачуванню стіленгліколю.

Розміри приміщення:  $8 \times 6 \times 5 \text{ м}$ , температура повітря у приміщенні  $30 \text{ }^\circ\text{C}$ . Температура рідини  $215 \text{ }^\circ\text{C}$ . Насос продуктивністю  $0,02 \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$ , робочий тиск 2 атм. Довжина трубопроводів до насосу: підвідного 3 м, відвідного (напірного) 3 м, внутрішній радіус – 0,05 м. Тривалість відключення трубопроводів 3 с.

*Вихідні дані для визначення категорії приміщення*

Назва приміщення – насосна.

1. Характеристика виробничого приміщення:

довжина  $l = 8$  м;

ширина  $b = 6$  м;

висота  $h = 5$  м;

коефіцієнт вільного об'єму приміщення  $K_{\text{вільн}} = 80\%$ ;

кратність повітрообміну  $A = 0$  год<sup>-1</sup>;

температура повітря  $t_{\text{пов}} = 30$  °С.

2. Характеристика речовини:

назва – етиленгліколь  $C_2H_6O_2$ ;

молекулярна маса  $M = 62,07$ ;

теплота випаровування  $H_{\text{вип}} = 812,2$  кДж·кг<sup>-1</sup>;

теплоємність  $C_{\text{рід}} = 2,35$  кДж·кг<sup>-1</sup>·К<sup>-1</sup>;

температура спалаху – 111 °С;

густина рідини  $\rho_p \approx 1113,1$  кг/м<sup>3</sup>;

температура кипіння  $t_k = 197,3$  °С.

Число атомів у молекулі горючої речовини:

вуглецю  $n_c = 2$ ;

водню  $n_h = 6$ ;

кисню  $n_o = 2$ ;

галогенів  $n_x = 0$ .

Максимальний тиск вибуху  $P_{\text{max}} = 900$  кПа;

теплота згоряння  $H_T = 19329$  кДж·кг<sup>-1</sup>.

3. Характеристика технологічного блоку:

об'єм апарату  $V = 0$  м<sup>3</sup>;

робочий надлишковий тиск  $P_p = 200$  кПа;

температура рідини  $t_{\text{роб}} = 215$  °С;

продуктивність (подача) насосу  $q_n = 0,02$  м<sup>3</sup>·с<sup>-1</sup>.

Підвідний трубопровід:

довжина  $L_1 = 3,0$  м;

радіус  $r_1 = 0,05$  м.

Відвідний трубопровід:

довжина  $L_2 = 3,0$  м;

радіус  $r_2 = 0,05$  м.

Тривалість відключення (перекривання) трубопроводів  $\tau_T = 3$  с.

Розв'язок

Як розрахунковий варіант аварії приймаємо ситуацію, коли відбулась розгерметизація трубопроводу.

Надлишковий тиск вибуху визначаємо за формулою (1):

$$\Delta P = (P_{\text{max}} - P_o) \cdot \frac{m \cdot Z}{V_{\text{вільн}} \cdot \rho_g} \cdot \frac{100}{C_{\text{ст}}} \cdot \frac{1}{K_n},$$

де:  $P_o = 101$  кПа

$Z = 0,3$  (таблиця 2 ДСТУ);



$$V_{\text{вільн}} = 0,8 \cdot 8 \cdot 6 \cdot 5 = 192 \text{ (м}^3\text{)};$$

$$K_n = 3$$

Об'єм етиленгліколю, який може потрапити у приміщення під час розрахункової аварії, визначаємо за формулою (9):

$$V_T = V_{IT} + V_{2T}$$

Об'єм етиленгліколю, який виходить із трубопроводів до їх відключення, визначається за формулою (10):

$$V_{IT} = q \cdot \tau_T = 0,02 \cdot 3 = 0,06 \text{ (м}^3\text{)}$$

Об'єм етиленгліколю, який виходить із трубопроводів після їх відключення, визначаємо за формулою (11):

$$V_{2T} = \pi \cdot (r_1^2 \cdot L_1 + r_2^2 \cdot L_2) = 3,14 \cdot (0,05^2 \cdot 3 + 0,05^2 \cdot 3) = 0,0471 \text{ (м}^3\text{)}$$

Об'єм етиленгліколю, який може потрапити у приміщення під час розрахункової аварії обчислюємо за формулою:

$$V_T = V_{IT} + V_{2T} = 0,06 + 0,0471 = 0,107 \text{ (м}^3\text{)} \text{ з температурою } 215 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Маса етиленгліколю (рідини), що надходить до приміщення без врахування зменшення об'єму при охолодженні від температури кипіння до  $30 \text{ }^\circ\text{C}$ , вираховуємо за формулою:

$$m = (V_{IT} + V_{2T}) \cdot \rho_p = 0,107 \cdot 1113,1 = 119,21 \text{ (кг)}$$

Масу парів етиленгліколю, яка може утворитись за рахунок теплоти перегрівання, визначаємо за формулою (36):

$$m_{\text{пер.}} = \frac{H_{\text{пер.}}}{H_{\text{вип.}}} = \frac{m_p \cdot C_{\text{pid}} (t_{\text{pid}} - t_k)}{H_{\text{вип.}}} = \frac{119,21 \cdot 2,35 (215 - 197,3)}{812,2} = \frac{4958,5}{812,2} = 6,1 \text{ (кг)}$$

Стехіометричний коефіцієнт кисню у реакції згоряння визначається за формулою (4):

$$\beta = n_c + \frac{n_i - n_x}{4} - \frac{n_o}{2} = 2 + \frac{6 - 0}{4} - \frac{2}{2} = 2,5$$

Стехіометричну концентрацію парів етиленгліколю визначаємо за формулою (3):

$$C_{\text{см}} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot \beta} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot 2,5} = 7,63 \% \text{ (об)}$$

Густину пару етиленгліколю визначаємо за формулою (2):

$$\rho_{\text{етил.}} = \frac{62,07}{22,413(1 + 0,00367 \cdot 30)} = 2,495 \text{ (кг} \cdot \text{м}^{-3}\text{)}$$

Розраховуємо надлишковий тиск вибуху:

$$\Delta P = (900 - 101) \frac{6,1 \cdot 0,3 \cdot 100}{192 \cdot 2,495 \cdot 7,63 \cdot 3} = 13,34 \text{ (кПа)}$$

**Висновок.** У приміщенні знаходиться горюча рідина, яка нагріта вище температури спалаху і вище температури кипіння у такій кількості, що у ви-

падку аварійної ситуації може утворити вибухонебезпечну пароповітряну суміш, у разі займання якої розвинеться розрахунковий надлишковий тиск вибуху, який перевищує 5 кПа.

Тому приміщення насосної по перекачуванню етиленгліколю відноситься до вибухонебезпечної категорії Б.

### **5.8.3. Приміщення, де зберігаються зріджені гази**

*Приклад 17.* Визначити категорію складського приміщення, де зберігаються балони зі зрідженим газом.

Складське приміщення розмірами 15×10×5 м. У приміщенні зберігаються балони з пропаном-бутаном об'ємом 27 л, робочий тиск у балоні 1,6 МПа, маса зрідженого газу в балоні 21,2 кг. Температура у приміщенні 25 °С.

*Вихідні дані для визначення категорії приміщення*

1. Характеристика складського приміщення:

довжина  $l = 15$  м;

ширина  $b = 10$  м;

висота  $h = 5$  м;

коефіцієнт вільного об'єму приміщення  $K_{\text{вільн}} = 80\%$ ;

кратність повітрообміну  $A = 1$  год<sup>-1</sup>;

температура повітря  $t_{\text{пов}} = 25$  °С.

2. Характеристика речовини:

назва – пропан,  $C_3H_8$ ; бутан,  $C_4H_{10}$ ;

молекулярна маса пропану  $M = 44,096$ ;

молекулярна маса бутану  $M = 58,123$ ;

температура кипіння пропану  $t_{\text{к}} = -42,06$  °С;

температура кипіння бутану  $t_{\text{к}} = -0,5$  °С.

Константи рівняння Антуана:

для пропану:  $A = 5,95547$ ;  $B = 813,864$ ;  $C_a = 248,116$  для інтервалу температур від -189 °С до -42 °С;

для бутану:  $A = 6,00525$ ;  $B = 968,098$ ;  $C_a = 242,555$  для інтервалу температур від -138 °С до 0 °С.

Теплота згоряння:

для пропану  $H_T = 2044$  кДж·моль<sup>-1</sup>;

для бутану  $H_T = 2657$  кДж·моль<sup>-1</sup>.

Нижня концентраційна межа займання:

пропану  $C_{\text{нкм}} = 2,3\%$  (об);

бутану  $C_{\text{нкм}} = 1,8\%$  (об).

Максимальний тиск вибуху:

пропану  $P_{\text{max}} = 843$  кПа;

бутану  $P_{\text{max}} = 843$  кПа.

3. Характеристика технологічного блоку:

об'єм балону  $V = 27 \cdot 10^{-3}$  м<sup>3</sup>;

робочий надлишковий тиск у апараті  $P_p = 1616,00$  кПа;

температура газу  $t_{\text{роб}} = 25$  °С;

маса зрідженого газу у апараті  $m = 21,2$  кг.

*Розв'язок*

Як розрахунковий варіант аварії приймаємо ситуацію, коли внаслідок необережного поводження з балоном сталася його розгерметизація.

Оскільки константи Антуана для пропану і для бутану дійсні для мінусового діапазону температур, а також те, що у балонах знаходилася суміш газів, надлишковий тиск вибуху визначаємо за формулою (5):

$$\Delta P = \frac{m \cdot H_T \cdot P_o \cdot Z}{V_{\text{вільн}} \cdot \rho_n \cdot C_p \cdot T_o} \cdot \frac{1}{K_n},$$

Масу газу, що виходить з апарату (балону), приймаємо рівною масі газу в апараті (у балоні)  $m = 21,2$  кг.

За розрахункову температуру приймається температура 25 °С.

Співвідношення між пропаном і бутаном невідомо, тому розрахунки проводимо почергово за кожним із компонентів.

Теплота згоряння бутану в одиницях вимірювання кДж·кг<sup>-1</sup> становить:

$$H_T = \frac{2657 \cdot 1000}{58,123} = 45713,4 \text{ (кДж·кг}^{-1}\text{)}$$

Теплота згоряння пропану в одиницях вимірювання кДж·кг<sup>-1</sup> становить:

$$H_T = \frac{2044 \cdot 1000}{4,096} = 46353,4 \text{ (кДж·кг}^{-1}\text{)}$$

Вільний об'єм приміщення:

$$V_{\text{вільн}} = 15 \cdot 10 \cdot 5 \cdot 0,8 = 600 \text{ м}^3$$

Густина повітря визначаємо за формулою (2):

$$\rho_{g,n} = \frac{M}{22,413(1 + 0,00367 \cdot t_p)}$$
$$\rho_n = \frac{29}{22,413(1 + 0,00367 \cdot 25)} = 1,185 \text{ (кг·м}^{-3}\text{)}$$

Теплоємність повітря  $C_p = 1,01 \cdot 10^3$  Дж·кг<sup>-1</sup>·К<sup>-1</sup>.

Надлишковий тиск вибуху бутану за формулою (5) становить:

$$\Delta P = \frac{21,2 \cdot 4,57134 \cdot 10^7 \cdot 101 \cdot 0,5}{600 \cdot 1,185 \cdot 1010 \cdot 298 \cdot 3} = 76,23 \text{ (кПа)}$$

Надлишковий тиск вибуху пропану за формулою (5) становить:

$$\Delta P = \frac{21,2 \cdot 4,63534 \cdot 10^7 \cdot 101 \cdot 0,5}{600 \cdot 1,185 \cdot 1010 \cdot 298 \cdot 3} = 77,3 \text{ (кПа)}$$

Чисельні значення надлишкового тиску вибуху пропану і бутану практично однакові та значно перевищують 5 кПа.

**Висновок.** У складському приміщенні знаходиться горючий газ у ємностях у такій кількості, що у випадку аварійної ситуації може утворитись газоповітряна вибухонебезпечна суміш, у разі займання якої розвинеться розрахунковий надлишковий тиск вибуху, який перевищує 5 кПа.

Тому приміщення складу для зберігання балонів зі зрідженим газом пропан-бутаном відноситься до вибухонебезпечної категорії А.

#### 5.8.4. Приміщення з легкозаймистими і горючими рідинами

**Приклад 18.** Складське приміщення для зберігання бочок з ацетоном. У приміщенні зберігається 10 бочок з ацетоном, об'єм бочки 84 л = 0,084 м<sup>3</sup>. Розміри приміщення 11×10×6 м, температура у приміщенні 20 °С.

Вихідні дані для визначення категорії приміщення

1. Характеристика виробничого (складського) приміщення:

довжина  $l = 11$  м;

ширина  $b = 10$  м;

висота  $h = 6$  м;

коефіцієнт вільного об'єму приміщення  $K_{\text{вільн}} = 80\%$ ;

кратність повітрообміну  $A = 1$  год<sup>-1</sup>;

температура повітря  $t_{\text{пов}} = 20$  °С.

2. Характеристика речовини:

назва – ацетон  $C_3H_6O$ ;

молекулярна маса ацетону  $M = 58,08$ .

Температура спалаху  $t_{\text{сп}}:$  у відкритому

тиглі = -9 °С, у закритому тиглі = -18 °С.

Константи рівняння Антуана розраховані з використанням тиску ацетону, взятого у кПа:  $A = 6,37551$ ;  $B = 1281,721$ ;  $C_a = 237,088$ .

Густина рідини  $\rho_p = 790,8$  кг·м<sup>-3</sup>.

Число атомів у молекулі горючої рідини:

вуглецю  $n_c = 3$ ;

водню  $n_h = 6$ ;

кисню  $n_o = 1$ ;

галогенів  $n_x = 0$ .

Теплота згоряння за ДСТУ ISO 1928:2006  $H_T = 31360$  кДж·кг<sup>-1</sup>.

Максимальний тиск вибуху  $P_{\text{max}} = 572$  кПа.

3. Характеристика технологічного блоку:

об'єм бочки  $V = 0,084$  м<sup>3</sup>;

ступінь заповнення  $\varepsilon = 0,95$ ;

температура рідини  $t_{\text{роб}} = 20$  °С.

**Розв'язок**

При визначенні надлишкового тиску вибуху у якості розрахункового варіанта аварії приймається розгерметизація однієї бочки і розливання ацетону по підлозі приміщення.

Надлишковий розрахунковий тиск вибуху визначаємо за формулою (1):

$$\Delta P = (P_{\max} - P_0) \cdot \frac{m \cdot Z}{V_{\text{вільн}} \cdot \rho_c} \cdot \frac{100}{C_{\text{ст}}} \cdot \frac{1}{K_n},$$

де:  $P_{\max} = 572$  кПа;

$P_0 = 101$  кПа;

$Z = 0,3$  (таблиця 2 ДСТУ);

$V_{\text{вільн}} = 0,8 \cdot 11 \cdot 10 \cdot 6 = 528$  м<sup>3</sup>;

$K_n = 3$

Стехіометричний коефіцієнт кисню у реакції згоряння визначаємо за формулою (4):

$$\beta = n_c + \frac{n_i - n_x}{4} - \frac{n_o}{2} = 3 + \frac{6 - 0}{4} - \frac{1}{2} = 4$$

Стехіометрична концентрація парів ацетону визначається за формулою (3):

$$C_{\text{ст}} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot \beta} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot 4} = 4,91 (\%)$$

Густину пару ацетону визначаємо за формулою (2):

$$\rho_{z,n} = \frac{58,08}{22,413(1 + 0,00367 \cdot 20)} = 2,414 \text{ (кг} \cdot \text{м}^{-3}\text{)}$$

Об'єм рідини, який може потрапити у приміщення, рівний:

$$V_{\text{вл}} = V \cdot \varepsilon = 0,084 \cdot 0,95 \text{ м}^3 = 80 \text{ (дм}^3\text{)}$$

Така кількість рідини може розлитись на площі 80 м<sup>2</sup>. Фактична площа підлоги 120 м<sup>2</sup>. Для розрахунку приймаємо площу випаровування  $F_g = 80$  м<sup>2</sup>.

Інтенсивність випаровування визначається за формулою (14):

$$W = 10^{-6} \cdot \eta \cdot \sqrt{M} \cdot P_H$$

Коефіцієнт  $\eta$  що приймається за таблицею 1, дорівнює 1.

Тиск насиченої пари визначаємо за формулою (16):

$$P_H = 10^{\frac{A - \frac{B}{C_a + t_p}}{}}$$

$$P_H = 10^{\frac{6,37551 - \frac{1281,721}{237,088 + 20}}{}} = 24,5 \text{ (кПа)}$$

Інтенсивність випаровування становить:

$$W = 10^{-6} \cdot 1 \cdot \sqrt{58,08} \cdot 24,5 = 1,87 \cdot 10^{-4} \text{ (кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}\text{)}$$

Масу ацетону, що вилився, визначаємо за формулою (7):

$$m_{\text{розл.}} = V_{\text{вл.}} \cdot \rho_p = 0,08 \cdot 791 = 63,28 \text{ (кг)}$$

Тривалість повного випаровування обчислюємо за формулою (13):

$$\tau_g = \frac{m_{\text{розл.}}}{W \cdot F_g} = \frac{63,28}{1,87 \cdot 10^{-4} \cdot 80} = 4230 \text{ (с)}$$

Приймаємо розрахункову тривалість випаровування згідно з п. 7.1.2 ДСТУ – 3600 с.

Масу пару ацетону, що випаровується за розрахунковий час, визначаємо за формулою (15):

$$m = W \cdot F_g \cdot \tau_{\text{вип.}} = 1,87 \cdot 10^{-4} \cdot 80 \cdot 3600 = 53,86 \text{ (кг)}$$

Надлишковий тиск вибуху розраховуємо за формулою (1):

$$\Delta P = (572 - 101) \frac{53,86 \cdot 0,3 \cdot 100}{528 \cdot 2,414 \cdot 4,91 \cdot 3} = 40,45 \text{ (кПа)}$$

*Висновок.* У приміщенні знаходиться легкозаймиста рідина з температурою спалаху нижче 28 °С у такій кількості, що у результаті розрахункової аварії може утворитись пароповітряна суміш, при займанні якої розвивається розрахунковий надлишковий тиск вибуху у приміщенні, що перевищує 5 кПа.

Тому приміщення складу для зберігання ацетону відноситься до вибухонебезпечної категорії А.

*Приклад 19.* Визначити категорію приміщення пресової ділянки. Розміри приміщення 12×6×5 м. Тиск масла у системі 20 кг·см<sup>-2</sup>. Внутрішній діаметр трубок 10 мм.

Робоча рідина – олива АМГ-300Т, густина оливи 970 кг·м<sup>-3</sup>, температура спалаху оливи 170 °С, теплота згоряння за ДСТУ ISO 1928:2006 становить 40224 кДж·кг<sup>-1</sup>. Температура повітря  $t_{\text{ов}} = 20$  °С. Коефіцієнт вільного об'єму 70%.

*Вихідні дані для визначення категорії приміщення*

1. Характеристика виробничого приміщення:

довжина  $l = 12$  м;

ширина  $b = 6$  м;

висота  $h = 5$  м;

коефіцієнт вільного об'єму приміщення  $K_{\text{вільн}} = 70\%$ ;

кратність повітрообміну  $A = 0$  год<sup>-1</sup>;

температура повітря  $t_{\text{нов}} = 20$  °С.

2. Характеристика речовини:

назва – олива АМГ-300Т;

молекулярна маса  $M$  – невідома;

густина рідини  $\rho_p = 970$  кг·м<sup>-3</sup>;

теплота згоряння за ДСТУ ISO 1928:2006  $H_T = 40224$  кДж·кг<sup>-1</sup>;

температура спалаху  $t_{\text{сп}} = 170$  °С.

3. Характеристика технологічного блоку:

тиск оливи у системі 2020 кПа;

внутрішній радіус трубок  $r = 0,005$  м.

*Розв'язок*

За аварійну ситуацію приймаємо ситуацію, коли відбувається відривання трубки гідросистеми і, як наслідок, виливання оливи у приміщення під тиском з утворенням аерозолі.

Надлишковий тиск вибуху аерозолі визначаємо за формулою (5):

$$\Delta P = \frac{m \cdot H_T \cdot P_o \cdot Z}{V_{\text{вільн}} \cdot \rho_n \cdot C_p \cdot T_o} \cdot \frac{1}{K_n},$$

де:  $P_o = 101$  кПа;

$Z = 0,3$  (таблиця 2 ДСТУ);

$C_p = 1,01$  кДж·кг<sup>-1</sup>·К<sup>-1</sup>;

$K_n = 3$

Теплота згоряння  $H_T = 40224$  кДж·кг<sup>-1</sup>.

Густину повітря визначаємо за формулою (2):

$$\rho_n = \frac{29}{22,413(1 + 0,00367 \cdot 20)} = 1,205 \text{ (кг·м}^{-3}\text{)}$$

Масу рідини, яка переходить у стан аерозолі під час аварії (кг) при аварійному витіканні під тиском із отвору обчислюємо за формулою:

$$m_{\text{аер.}} = \pi \cdot r^2 \cdot U_p \cdot \tau_{\text{аер.}} \cdot \rho_p$$

де:  $U_p$  – швидкість витікання рідини із аварійного отвору під тиском, м/с;

$\tau_{\text{аер.}}$  – час знаходження рідини у вигляді аерозолі, с;

$\rho_p$  – густина рідини, кг/м<sup>3</sup>.

Швидкість витікання рідини з аварійного отвору (м/с) визначаємо за формулою:

$$U_p = \mu \sqrt{0,2 \cdot P_p \cdot g_e}$$

де:  $\mu$  – коефіцієнт витрати;

$P_p$  – робочий тиск в апараті, трубопроводі, кПа;

$g_e$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>.

Час витання крапель приймаємо 5 с.

$$U_p = 0,6 \sqrt{0,2 \cdot 2020 \cdot 9,8} = 37,75 \text{ (м/с)}$$

Вільний об'єм приміщення визначаємо за формулою:

$$V_{\text{вільн}} = l \cdot b \cdot h \cdot 0,7 = 12 \cdot 6 \cdot 5 \cdot 0,7 = 252 \text{ (м}^3\text{)}$$

$$m_{\text{аер}} = 3,14 \cdot 0,005^2 \cdot 37,75 \cdot 5 \cdot 970 = 14,3 \text{ (кг)}$$

$$\Delta P = \frac{14,3 \cdot 40224 \cdot 101 \cdot 0,3}{252 \cdot 1,205 \cdot 1,01 \cdot 293 \cdot 3} = 64,8 \text{ (кПа)}$$

**Висновок.** У приміщенні знаходиться горюча рідина, нагріта нижче температури спалаху, за наявності можливості утворення аерозолі. При займанні аерозолі розвивається розрахунковий надлишковий тиск вибуху, що перевищує 5 кПа. Тому приміщення пресової ділянки відноситься до вибухопожежонебезпечної категорії Б.

**Приклад 20.** Визначити категорію приміщення фарбувального відділення за вибухопожежною та пожежною небезпекою, що знаходиться у м. Одеса.

У приміщенні розмірами 35×21×7 м проводиться фарбування трьох виробів

загальною площею поверхні  $90 \text{ м}^2$  кожний, розміщено 3 бака ємністю  $60 \text{ л}$  кожний, які живлять насоси з ручним відключенням та продуктивністю  $1,4 \text{ л} \cdot \text{хв}^{-1}$  кожен. Дві фарбувальні камери  $5 \times 4 \times 6 \text{ м}$  та одна решітка площею  $36 \text{ м}^2$ . Найбільша довжина трубопроводу від бака до засувки  $36 \text{ м}$ , внутрішній радіус трубопроводу  $21 \text{ мм}$ . Розчинник – ацетон, доля якого у фарбі складає  $0,65$ . Ступінь заповнення баків –  $0,9$ . Температура повітря у приміщенні становить  $22 \text{ }^\circ\text{C}$ . Витрата фарби на  $1 \text{ м}^2$  –  $200 \text{ г}$ .

1. Характеристика виробничого (складського) приміщення:

довжина  $l = 35 \text{ м}$ ;

ширина  $b = 21 \text{ м}$ ;

висота  $h = 7 \text{ м}$ ;

коефіцієнт вільного об'єму приміщення  $K_{\text{вільн}} = 80\%$ ;

швидкість повітряного потоку  $0,1 \text{ м/с}$ ;

температура повітря  $t_{\text{нов}} = 22 \text{ }^\circ\text{C}$ .

2. Характеристика речовини:

назва – ацетон,  $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$ ;

молекулярна маса ацетону  $M = 58,08$ .

Константи рівняння Антуана розраховані з використанням тиску ацетону, взятого у кПа:  $A = 6,37551$ ;  $B = 1281,721$ ;  $C_a = 237,088$ ;

густина рідини  $\rho_p = 790,8 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$ .

Число атомів у молекулі горючої рідини:

вуглецю  $n_c = 3$ ;

водню  $n_h = 6$ ;

кисню  $n_o = 1$ ;

галогенів  $n_x = 0$ .

Теплота згоряння за ДСТУ ISO 1928:2006  $H_T = 31360 \text{ кДж} \cdot \text{кг}^{-1}$ .

Максимальний тиск вибуху  $P_{\text{max}} = 572 \text{ кПа}$ ;

нижня концентраційна межа поширення полум'я –  $2,7\%$ (об).

3. Характеристика технологічного блоку:

об'єм бака  $V = 0,06 \text{ м}^3$ ;

ступінь заповнення  $\varepsilon = 0,9$ ;

температура рідини  $22 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

надлишковий тиск у баку  $P_p = 0 \text{ кПа}$ ;

кількість баків – 3;

кількість виробів площею  $90 \text{ м}^2$  – 3;

кількість решіток – 1;

площа решітки  $36 \text{ м}^2$ ;

продуктивність насосу  $q = 1,4 \text{ л/хв} = 0,023 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$ .

Підвідний трубопровід:

довжина  $L_1 = 36 \text{ м}$ ;

внутрішній радіус  $r_1 = 0,021 \text{ м}$ .

Відвідний трубопровід:

довжина  $L_2 = 0 \text{ м}$ ;



внутрішній радіус  $r_2 = 0$  м;  
час відключення трубопроводів  $\tau_m = 300$  с.

Додаткові джерела випаровувань:

площа поверхонь відкритих баків –  $0$  м<sup>2</sup>;

витрати фарби на  $1$  м<sup>2</sup> –  $0,2$  кг.

*Розв'язок.* Як розрахунковий варіант аварії приймаємо ситуацію, коли відбулася розгерметизація одного з баків, наповненого фарбою. Розрахунок категорії приміщення проводимо за найбільш небезпечним компонентом фарби – ацетоном.

Надлишковий розрахунковий тиск вибуху визначаємо за формулою (1):

$$\Delta P = (P_{\max} - P_o) \cdot \frac{m \cdot Z}{V_{\text{вільн}} \cdot \rho_z} \cdot \frac{100}{C_{\text{ст}}} \cdot \frac{1}{K_n},$$

де:  $P_{\max} = 572$  кПа;

$P_o = 101$  кПа;

$Z = 0,3$  (таблиця 2 ДСТУ);

$V_{\text{вільн}} = 0,8 \cdot 35 \cdot 21 \cdot 7 = 4116$  м<sup>3</sup>;

$K_n = 3$

Стехіометричний коефіцієнт кисню у реакції згоряння визначається за формулою (4):

$$\beta = n_c + \frac{n_i - n_x}{4} - \frac{n_o}{2} = 3 + \frac{6 - 0}{4} - \frac{1}{2} = 4$$

Стехіометричну концентрацію парів ацетону визначаємо за формулою (3):

$$C_{\text{ст}} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot \beta} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot 4} = 4,91 (\%)$$

Густину пару ацетону обчислюємо за формулою (2):

$$\rho_{z,n} = \frac{58,08}{22,413(1 + 0,00367 \cdot 37)} = 2,28 \text{ (кг} \cdot \text{м}^{-3}\text{)}$$

Об'єм рідини, яка може потрапити у приміщення з бака, дорівнює:

$$Va = V \cdot \varepsilon = 0,06 \cdot 0,9 \text{ м}^3 = 0,054 \text{ м}^3 = 54 \text{ (л)}$$

Така кількість рідини може розлитись на площі  $27$  м<sup>2</sup>.

Визначаємо площу свіжопофарбованих поверхонь:

$$F'_{\text{св.}} = F_{\text{реш.}} + F_{\text{камер}} + F_{\text{вироб}} = 36 \text{ м}^2 + 2 \cdot [2 \cdot (6 \text{ м} \times 5 \text{ м}) + 2 \cdot (6 \text{ м} \times 4 \text{ м})] + 3 \cdot 90 \text{ м}^2 = 522 \text{ (м}^2\text{)}$$

Інтенсивність випаровування вираховуємо за формулою (14):

$$W = 10^{-6} \cdot \eta \cdot \sqrt{M} \cdot P_n$$

Коефіцієнт  $\eta$ , що приймається за таблицею 3 ДСТУ, за температури  $37$  °С дорівнює  $1,6$ .

Тиск насиченої пари визначаємо за формулою (16):

$$P_H = 10^{\frac{A - B}{C_a + t_p}};$$

$$P_H = 10^{\frac{6,37551 - \frac{1281,721}{237,088 + 37}}{}} = 50,03 \text{ (кПа)}$$

Інтенсивність випаровування:

$$W = 10^{-6} \cdot 1,6 \cdot \sqrt{58,08} \cdot 50,03 = 6,1 \cdot 10^{-4} \text{ (кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}\text{)}$$

Об'єм рідини, яка виходить із трубопроводів до їх відключення, визначається за формулою (10):

$$V_{IT} = q \cdot \tau_T = 0,000023 \cdot 300 = 0,0069 \text{ (м}^3\text{)}$$

Об'єм рідини, яка виходить із трубопроводу після його відключення, визначаємо за формулою (11):

$$V_{2T} = \pi \cdot (r_1^2 \cdot L_1 + r_2^2 \cdot L_2) = 3,14 \cdot (0,021^2 \cdot 36) = 0,049 \text{ (м}^3\text{)}$$

Об'єм рідини, яка може потрапити у приміщення з трубопроводу під час розрахункової аварії, обчислюємо за формулою:

$$V_T = V_{IT} + V_{2T} = 0,0069 + 0,049 = 0,0559 \text{ (м}^3\text{)}$$

Об'єм рідини, що надходить у приміщення при розрахунковій аварії, вираховуємо за формулою:

$$V_{\text{бл.}} = V_a + V_T = 0,0559 + 0,054 = 0,11 \text{ (м}^3\text{)} = 110 \text{ (л)}$$

Така кількість рідини згідно з ДСТУ може розлитися на площу:

$$F_g = 0,5 \cdot 110 = 55 \text{ (м}^2\text{)}$$

Масу ацетону, враховуючи його долю у фарбі, що вилилася, визначаємо за формулою (7):

$$m_{\text{розл.}} = \varphi \cdot V_{\text{бл.}} \cdot \rho_P = 0,65 \cdot 0,11 \cdot 791 = 56,55 \text{ (кг)}$$

Тривалість повного випаровування розлитого ацетону обчислюємо за формулою (13):

$$\tau_a = \frac{m_{\text{розл.}}}{W \cdot F_g} = \frac{56,55}{6,1 \cdot 10^{-4} \cdot 55} = 1685,4 \text{ (с)}$$

Увесь ацетон випаровується за розрахунковий час з поверхні розливу і маса парів ацетону становить 56,55 кг.

Маса парів, що випаровувалася з свіжопофарбованих поверхонь, обчислюється за формулою:

$$m_{\text{св}} = W \cdot F_{\text{св}} \cdot \tau_{\text{авт}} = 6,1 \cdot 10^{-4} \cdot 522 \cdot 3600 = 1146,3 \text{ (кг)}$$

Фактична маса ацетону зі свіжопофарбованих поверхонь з урахуванням, що на 1 м<sup>2</sup> витрачають 0,2 кг фарби, становить:

$$m_{\text{св.}} = 0,2 \cdot 522 \cdot 0,65 = 67,86 \text{ (кг)}$$

Приймаємо для подальшого розрахунку  $m_{\text{св}} = 67,86$  кг.

Таким чином, маса парів ацетону, що потрапила у приміщення внаслідок розрахункової аварії протягом розрахункового часу, становить:

$$m = 67,86 + 56,55 = 124,41 \text{ (кг)}$$

Враховуємо роботу аварійної вентиляції з кратністю повітрообміну 2; масу парів ацетону, що потрапила у приміщення, ділимо на коефіцієнт  $K$ , який визначаємо за формулою:

$$K = A \cdot \tau + 1,$$

де  $A$  – кратність повітрообміну,  $\text{с}^{-1}$ ;  
 $\tau$  – тривалість потрапляння ГГ і/або парів ЛЗР і ГР до об'єму приміщення,  $\text{с}$   
(приймається за п. 7.1.2).

$$K = \frac{2 \cdot 3600}{3600} + 1 = 3;$$

$$m = 124,41 / 3 = 41,47 \text{ (кг)}$$

Надлишковий тиск вибуху визначаємо за формулою (1):

$$\Delta P = (572 - 101) \frac{41,47 \cdot 0,3 \cdot 100}{4116 \cdot 2,4 \cdot 4,91 \cdot 3} = 4,02 \text{ (кПа)}$$

*Висновок.* У приміщенні знаходиться легкозаймиста рідина з температурою спалаху, що не перевищує  $28^\circ\text{C}$  у такій кількості, що в результаті розрахункової аварії може утворитись пароповітряна суміш, при займанні якої за наявності аварійної вентиляції розвивається розрахунковий надлишковий тиск вибуху в приміщенні, значення якого не перевищує  $5 \text{ кПа}$ .

Отже, приміщення відноситься до пожежонебезпечної категорії В.

*Приклад 21.* Визначити категорію приміщення фарбоприготувального відділення малярного цеху за вибухопожежною та пожежною небезпекою. У технологічному процесі обертається розчинник – ксилол. Для обмеження розтікання ксилолу з технологічного блоку в результаті аварії у приміщенні використані бортики. Площа навколо технологічного блоку, обмежена бортиками, становить  $15 \text{ м}^2$ .

*Вихідні дані для визначення категорії приміщення*

1. Характеристика приміщення:

довжина  $l = 20 \text{ м}$ ;

ширина  $b = 6 \text{ м}$ ;

відношення довжини до ширини приміщення  $l/b = 3,33$ ;

висота  $h = 5,2 \text{ м}$ ;

площа  $S_n = 120 \text{ м}^2$ ;

об'єм вільний  $V_{\text{вільн}} = 500 \text{ м}^3 (0,8 \cdot 120 \cdot 5,2)$ ;

розрахункова температура повітря –  $37^\circ\text{C}$ .

2. Характеристика технологічного блоку:

Об'єм мірника  $V_{\text{мір}} = 0,075 \text{ м}^3$ ;

Ступінь заповнення,  $\varepsilon = 0,9$ .

Напірний трубопровід:

довжина  $L_1 = 10 \text{ м}$ ;

діаметр  $d_1 = 25 \text{ мм}$ .

Відвідний трубопровід:

довжина,  $L_2 = 10 \text{ м}$ ;

діаметр  $d_2 = 40 \text{ мм}$ ;

продуктивність насоса  $q_n = 6,5 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$ ;

час відключення насоса  $\tau_3 = 300 \text{ с}$ .

### 3. Характеристика речовини:

найменування – ксилол. Хімічна формула (суміш ізомерів) –  $C_8H_{10}$ ;

густина рідини  $\rho_p = 855 \text{ кг/м}^3$ ;

молекулярна маса  $M = 106,17 \text{ кг/моль}$ .

Константи рівняння Антуана розраховані з використанням тиску ксилолу, взятого у кПа:  $A = 6,17972$ ;  $B = 1478,16$ ;  $C_A = 220,535$ .

Температура спалаху –  $29^\circ\text{C}$ .

Теплота згоряння за ДСТУ ISO 1928:2006  $H_m = 5609 \text{ кДж/моль} = 52,83 \text{ МДж}\cdot\text{кг}^{-1}$ .

Нижня концентраційна межа поширення полум'я  $C_{нкмл} = 1,1\%$  (об).

#### Розв'язок

Як розрахунковий варіант приймається розгерметизація ємності, а також напірного трубопроводу і трубопроводу для відведення з наступним розливом найбільш небезпечного з речовин у даному приміщенні за можливими наслідками вибуху – ксилолу. Розрахункова температура за вихідними даними перевищує температуру спалаху ксилолу ( $29^\circ\text{C}$ ).

Розрахунок маси ЛЗР, що потрапила у приміщення, становить:

$$m_p = [0,9 \cdot 0,075 + \pi/4 \cdot (10 \cdot 0,025^2 + 10 \cdot 0,04^2) + 6,5 \cdot 10^{-5} \cdot 300] \cdot 855 \approx 89 \text{ (кг)}$$

Розрахунок маси рідини ЛЗР, що випаровувалася

За вихідними даними площа розливу, обмежена бортиками, становить  $15 \text{ м}^2$ .

Тиск насиченої пари вираховується за формулою (16):

$$P_n = 10^{(6,17972 - \frac{1478,16}{220,535 + 37})} = 2,75 \text{ (кПа)}$$

Інтенсивність випаровування за формулою (14):

$$W = 10^{-6} \cdot \eta \cdot \sqrt{M} \cdot P_n ;$$

$$W = 10^{-6} \cdot 1 \cdot (106,17)^{1/2} \cdot 2,75 = 27,82 \cdot 10^{-6} \text{ (кг}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{с}^{-1})$$

Час повного випаровування розлитої ЛЗР визначаємо за формулою (13):

$$\tau_e = \frac{m_p}{W \cdot F_p} = \frac{89}{27,82 \cdot 10^{-6} \cdot 15} = 2,15 \cdot 10^5 \text{ (с)}$$

За ДСТУ розрахунковий час випаровування не перевищує 3600 с. Далі у розрахунках цей час становить 3600 с.

Маса парів, що випаруються з поверхні розливу, за формулою (13) становить:

$$m = W \cdot F_p \cdot \tau_{\text{вип.}} ;$$

$$m = 27,82 \cdot 10^{-6} \cdot 15 \cdot 3600 = 1,5 \text{ (кг)}$$

Розрахунок густини пару за формулою (2):

$$\rho_{z,n} = \frac{M}{22,413(1 + 0,00367 \cdot t_p)}$$
$$\rho_{z,n} = \frac{106}{22,4 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 37)} = 4,166 \text{ (кг/м}^3\text{)}$$

Значення коефіцієнта  $Z$  участі парів ЛЗР у вибусі допускається приймати за таблицею 2 ДСТУ, тобто  $Z = 0,3$ .

Стехіометричний коефіцієнт кисню у реакції горіння становить згідно з формулою (4):

$$\beta = 8 - \frac{10 - 0}{4} - \frac{0}{2} = 5,5$$

Стехіометричну концентрацію парів ЛЗР знаходимо за формулою (3):

$$C_{\text{ст}} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot 5,5} = 3,62\% \text{ (об)}$$

Надлишковий тиск за формулою (1) становить:

$$\Delta P = (900 - 101) \cdot \frac{1,5 \cdot 0,3 \cdot 100 \cdot 1}{500 \cdot 4,164 \cdot 3,62 \cdot 3} = 1,5 \text{ (кПа)}$$

Розрахунковий надлишковий тиск вибуху не перевищує 5 кПа. Згідно з таблицею 6 приміщення фарбоприготувального відділення малярного цеху не відноситься до категорії А і Б. Для віднесення даного приміщення до іншої категорії визначаємо пожежну навантагу у приміщенні. Площа розливу, обмежена бортиками, які вміщують 89 кг, за вихідними даними становить 15 м<sup>2</sup>. Теплота згорання ксилолу за ДСТУ ISO 1928:2006 дорівнює 52,83 МДж·кг<sup>-1</sup>.

Пожежна навантага на цій ділянці становить  $Q = 89 \cdot 52,83 = 4701,87$  МДж; питома пожежна навантага становить  $g = \frac{4701}{15} = 313,4$  МДж·м<sup>-2</sup>.

**Висновок.** Розрахунковий надлишковий тиск вибуху не перевищує 5 кПа. Відповідно до ДСТУ приміщення не відноситься до вибухонебезпечної категорії. Оскільки за розрахунком питома пожежна навантага перевищує 180 МДж·м<sup>-2</sup>, приміщення фарбоприготувального відділення малярного цеху слід віднести до категорії В.

**Приклад 22.** Визначити категорію приміщення приготування лаків за вибухопожежною та пожежною небезпекою. У лаці використовується суміш розчинників етилацетату та бутилового спирту (бутанол), співвідношення яких невідоме. У приміщенні знаходиться дві ємності з сумішшю розчинників.

*Вихідні дані для визначення категорії приміщення*

1. Характеристика приміщення:

довжина  $l = 30$  м;

ширина  $b = 6$  м;

відношення довжини до ширини приміщення,  $l/b = 5$ ;

висота  $h = 7$  м;

площа  $F = 180$  м<sup>2</sup>;

об'єм вільний  $V_{\text{вільн}} = 1008$  м<sup>3</sup>;

розрахункова температура повітря – 37 °С;

швидкість повітряного потоку – 0,1 м/с.

2. Характеристика технологічного блоку:

об'єм ємності  $V_{\text{емн}} = 0,1 \text{ м}^3$ ;

ступінь заповнення,  $\varepsilon = 0,9$ .

3. Характеристика речовини:

найменування – етилацетат;

хімічна формула –  $C_4H_8O_2$ ;

густина рідини  $\rho_p = 900,3 \text{ кг/м}^3$ ;

молекулярна маса  $M = 88,10 \text{ кг/моль}$ .

Константи рівняння Антуана розраховані з використанням тиску парів етилацетату, взятого у кПа:  $A = 6,22672$ ;  $B = 1244,951$ ;  $C_A = 217,881$ ;

нижня концентраційна межа поширення полум'я  $C_{\text{нкмт}} = 2\% \text{ (об)}$ ;

теплота згоряння –  $2078 \text{ кДж/моль} = 23,58 \text{ МДж/кг}$ .

Найменування – бутанол;

хімічна формула –  $C_4H_{10}O$ ;

густина рідини  $\rho_p = 805,5 \text{ кг/м}^3$ ;

молекулярна маса  $M = 74,12 \text{ кг/моль}$ .

Константи рівняння Антуана розраховані з використанням тиску толуолу, взятого у кПа:  $A = 8,72232$ ;  $B = 2664,684$ ;  $C_A = 279,638$ ;

максимальний тиск вибуху –  $716 \text{ кПа}$ .

Нижня концентраційна межа поширення полум'я  $C_{\text{нкмт}} = 1,8\% \text{ (об)}$ .

Теплота згоряння –  $2728 \text{ кДж/моль} = 36,8 \text{ МДж/кг}$ .

*Розв'язок*

Для визначення надлишкового тиску вибуху як розрахунковий варіант приймається розгерметизація однієї ємності з наступним розливом.

Спочатку виконуємо розрахунок за варіантом аварії – розливом етилацетату. Розрахункова температура за вихідними даними перевищує температуру спалаху етилацетату ( $-3 \text{ }^\circ\text{C}$ ) та становить  $37 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Розрахунок маси ЛЗР, що потрапила до приміщення, становить:

$$m_p = (0,9 \cdot 0,1) \cdot 900,3 = 81,027 \text{ (кг)}$$

Визначаємо масу парів рідини ЛЗР.

За ДСТУ для сумішей, які містять розчинники за кількістю більшою  $70\%$ , площа розливу визначається, виходячи з того, що  $1 \text{ л}$  розчинників розливається на площі  $1 \text{ м}^2$ .

$$F_p = 1000 \cdot \frac{81,027}{900,3} = 90 \text{ (м}^2\text{)}$$

Тиск насиченого пару знаходимо за формулою (16):

$$P_n = 10^{(6,22672 - \frac{1244,951}{217,881 + 37})} = 22,18 \text{ (кПа)}$$

Інтенсивність випаровування за формулою (14):

$$W = 10^{-6} \cdot 1,6 \cdot (88,10)^{1/2} \cdot 22,18 = 3,33 \cdot 10^{-4} \text{ (кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}\text{)}$$

Коефіцієнт  $\eta$  за швидкості повітряного потоку  $0,1 \text{ м/с}$  і температурі повітря  $37 \text{ }^\circ\text{C}$  становить  $1,6$ .

Час повного випаровування розлитої ЛЗР визначаємо за формулою (13):

$$\tau_v = \frac{m_p}{W \cdot F_p} = \frac{81,027}{3,33 \cdot 10^{-4} \cdot 90} = 2703 \text{ (с)}$$

За ДСТУ розрахунковий час випаровування не перевищує 3600 с, за цей час випаровується 81,027 кг ЛЗР.

Розрахунок густини пару здійснюється за формулою (2):

$$\rho_{cm} = \frac{88,10}{22,4 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 37)} = 3,46 \text{ (кг/м}^3\text{)}$$

Визначаємо середню концентрацію парів етилацетату в приміщенні.

Стехіометричний коефіцієнт кисню у реакції згоряння розраховуємо за формулою (4):

$$\beta = n_c + \frac{n_l - n_x}{4} - \frac{n_o}{2} = 4 + \frac{8 - 0}{4} - \frac{2}{2} = 5$$

Стехіометричну концентрацію парів етилацетату визначаємо за формулою (3):

$$C_{cm} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot \beta} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot 5} = 3,97 \%$$

Розрахунок надлишкового тиску здійснюється за формулою (1):

$$\Delta P = (900 - 101) \cdot \frac{81,027 \cdot 0,3 \cdot 100 \cdot 1}{1008 \cdot 3,46 \cdot 3,97 \cdot 3} = 44,93 \text{ (кПа)}$$

Розрахунковий надлишковий тиск вибуху перевищує 5 кПа. Згідно з таблицею 1 ДСТУ вказане приміщення відноситься до категорії А.

Далі розрахунок проводимо за варіантом аварії – розливом бутанолу.

*Розв'язок*

Розрахунок маси ЛЗР, що потрапила у приміщення становить:

$$m_p = (0,9 \cdot 0,1) \cdot 805,5 = 72,495 \text{ (кг)}$$

Визначаємо масу парів рідини ЛЗР.

За ДСТУ для сумішей, які містять розчинники за кількістю більшою 70%, площа розливу визначається, виходячи з того, що 1 л розчинників розливається на площі 1 м<sup>2</sup>.

$$F_p = 1000 \cdot \frac{72,495}{805,5} = 90 \text{ (м}^2\text{)}$$

Тиск насиченої пари визначається за формулою (16):

$$P_{\kappa} = 10^{(8,72232 - \frac{2664,684}{279,638 + 37})} = 2,03 \text{ (кПа)}$$

Інтенсивність випаровування обчислюємо за формулою (14):

$$W = 10^{-6} \cdot 1,6 \cdot (74,12)^{1/2} \cdot 2,03 = 27,96 \cdot 10^{-6} \text{ (кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}\text{)}$$

Час повного випаровування розлитої ЛЗР визначаємо за формулою (13):

$$\tau_s = \frac{m_p}{W \cdot F_p} = \frac{72,495}{27,96 \cdot 10^{-6} \cdot 90} = 28809 \text{ (с)}$$

За ДСТУ розрахунковий час випаровування не перевищує 3600 с. Далі у розрахунках цей час становить 3600 с.

Маса парів, що випаровуються з поверхні розливу, за формулою (13) становить:

$$m = 27,96 \cdot 10^{-6} \cdot 90 \cdot 3600 = 9,05 \text{ (кг)}$$

Розрахунок густини пару за формулою (2):

$$\rho_{zn} = \frac{74,12}{22,4 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 37)} = 2,91 \text{ (кг/м}^3\text{)}$$

Визначаємо середню концентрацію парів бутанолу в приміщенні.

За вихідними даними приміщення у формі прямокутного паралелепіпеда з відношенням довжини до ширини не більш 5. Середня концентрація парів бутанолу визначається за формулою:

$$C_{сер} = \frac{100 \cdot m}{\rho_{zn} \cdot V_{вільн}} = \frac{100 \cdot 9,05}{2,91 \cdot 1008} = 0,309 < 0,5 \cdot C_{нкмл}$$

Значення середньої концентрації парів ЛЗР в об'ємі приміщення не перевищує 50% від нижньої концентраційної межі займання бутанолу, тому значення коефіцієнта  $Z$  участі парів ЛЗР у вибусі слід визначати згідно з додатком до ДСТУ.

Концентрація насичених парів бутанолу за формулою (68) становить:

$$C_n = 100 \cdot \frac{2,027}{101,3} = 2,0\% \text{ (об)}$$

Стехіометричний коефіцієнт кисню у реакції згоряння визначаємо за формулою (4):

$$\beta = n_c + \frac{n_n - n_x}{4} - \frac{n_o}{2} = 4 + \frac{10 - 0}{4} - \frac{1}{2} = 6$$

Стехіометричну концентрацію парів толуолу вираховуємо за формулою (3):

$$C_{ст} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot \beta} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot 6} = 3,33 \%$$

Визначаємо величину  $C^*$  за формулою (70):

$$C^* = \varphi \cdot C_{ст} = 1,9 \cdot 3,33 = 6,33,$$

де:  $\varphi$  – ефективний коефіцієнт надлишку горючої речовини, який приймається рівним 1,9;

$C_{ст}$  – стехіометрична концентрація, яка дорівнює 3,33.

Значення коефіцієнта  $Z$  визначаємо за графіком на рисунку 1, наведеному



у додатку А ДСТУ. Для цього перевіряємо виконання умов:

$$X = \begin{cases} C_H / C^*, & \text{якщо } C_H \leq C^* \\ 1, & \text{якщо } C_H > C^* \end{cases}$$

$$\text{У нашому випадку } X = \frac{C_H}{C^*} = \frac{2,0}{6,3} = 0,316$$

За графіком на вказаному рисунку такому значенню  $X$  відповідає  $Z = 0$ .

Розрахунок надлишкового тиску здійснюється за формулою (1):

$$\Delta P = (634 - 101) \cdot \frac{21,27 \cdot 0 \cdot 100 \cdot 1}{1008 \cdot 3,62 \cdot 2,24 \cdot 3} = 0 \text{ (кПа)}$$

Розрахунковий надлишковий тиск вибуху дорівнює 0 кПа, тому приміщення не відноситься до вибухонебезпечної категорії А.

**Висновок.** Оскільки розрахунковий надлишковий тиск вибуху перевищує 5 кПа у випадку розрахунку за етилацетатом, а в разі розрахунку за бутаном розрахунковий надлишковий тиск вибуху дорівнює 0 кПа, категорію приміщення встановлюємо за більш небезпечним компонентом, тому вказане приміщення відноситься до вибухонебезпечної категорії А.

### **5.9. Приклади розрахунку надлишкового тиску вибуху в разі аварійного викиду горючого пилу і визначення категорій приміщень за вибухопожежною та пожежною небезпекою**

Розрахунок надлишкового тиску вибуху в разі аварійного викиду горючого пилу  $\Delta P$ , кПа, проводять за п.п. 7.3.1-7.3.7 ДСТУ.

За умови відсутності даних про масу горючих пилу і/або волокон, що виділяються до об'єму приміщення між прибираннями, про масу пилу, що осідає на важкодоступних для прибирання поверхнях, і, як наслідок, неможливість виконання розрахунків, приймати категорію приміщення Б.

**Приклад 23.** Визначити категорію приміщення шліфувального відділення меблевого виробництва за вибухопожежною і пожежною небезпекою.

Приміщення шліфувального відділення меблевого виробництва розміром 30×20×5 м, в якому встановлено 5 шліфувальних верстатів. Продуктивність одного верстату за годину – 4 вироби з берези розміром 1,8×2 м. У процесі шліфування знімається шар деревини товщиною 0,5 мм з оброблюваної поверхні виробу. Витяжна місцева система вентиляції виводить 75% пилу, що виділяється у процесі шліфування. 70% пилу, що потрапляє до приміщення, осідає у важкодоступних місцях. Циклон для збирання пилу знаходиться за межами будівлі. Керування вентиляційною системою ручне. Шліфувальне відділення працює в одну 8-годинну зміну 5 днів на тиждень. Прибирання

приміщення – ручне, сухе, 1 раз на добу. Генеральне прибирання – 1 раз на місяць. Температура у приміщенні 20 °С.

*Вихідні дані для визначення категорії приміщення*

1. Характеристика виробничого (складського) приміщення:

довжина  $l = 30$  м;

ширина  $b = 20$  м;

висота  $h = 5$  м;

коефіцієнт вільного об'єму 80%;

температура повітря  $t_{нов} = 20$  °С;

кратність повітрообміну – 5 год<sup>-1</sup>.

2. Характеристика речовини:

назва – березовий пил;

густина пилу 640 кг · м<sup>-3</sup>;

дисперсність: частинок менше 350 мкм 100%;

теплота згоряння за ДСТУ ISO 1928:2006 становить  $1,67 \cdot 10^7$  Дж·кг<sup>-1</sup>.

3. Характеристика технологічного блоку:

маса горючого пилу у технологічному апараті  $M_a = 0$  кг;

кількість верстатів  $N = 5$ ;

продуктивність верстату  $n = 4$  вироби год<sup>-1</sup>;

об'єм деревини, що знімається з одного виробу,  $V_d = 1,8 \times 2 \times 0,0005$  м<sup>3</sup>;

коефіцієнт ефективності пилоприбирання  $K_{np} = 0,6$ ;

частка пилу, що видаляється з приміщення витяжною вентиляцією  $a = 0,75$ ;

частка пилу, що осідає на важкодоступних місцях  $\beta_2 = 0,7$ ;

частка пилу, що осідає на легкодоступних місцях  $\beta_1 = 0,3$ ;

частка горючого пилу у масі відкладеного пилу  $K_2 = 1,0$ ;

частка відкладеного у приміщенні пилу, що може перейти у аерозольний стан у результаті аварії  $K_{3в} = 0,9$ .

*Розв'язок*

За розрахунковий варіант аварії приймається вибух пилу, що накопичується у приміщенні за 1 місяць.

Надлишковий тиск вибуху визначаємо за формулою (5):

$$\Delta P = \frac{m \cdot H_T \cdot P_o \cdot Z}{V_{вільн} \cdot \rho_n \cdot C_{нов} \cdot T_o \cdot K_n}$$

де:  $H_m = 1,67 \cdot 10^7$  Дж·кг<sup>-1</sup>;

$P_o = 101$  кПа;

$Z = 0,5$ ;

$T_o = 293$  °К;

$K_n = 3$

Густину повітря визначаємо за формулою (2):

$$\rho_{нов} = \frac{29}{22,413 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 20)} = 1,206 \text{ (кг} \cdot \text{м}^{-3}\text{)}$$

Теплоємність повітря приймаємо  $C_p = 1,01 \cdot 10^3$  Дж·кг<sup>-1</sup>·К<sup>-1</sup>.

Вільний об'єм приміщення становить  $V_{\text{вільн}} = 0,8 \cdot 30 \cdot 20 \cdot 5 = 2400 \text{ (м}^3\text{)}$ .

Маса пилу, що виділяється одним верстатом за 1 годину:

$$M_0 = n \cdot V_{\text{д}} \cdot \rho_{\text{д}} = 4 \cdot 1,8 \cdot 2 \cdot 0,0005 \cdot 640 = 4,608 \text{ (кг)}$$

Маса пилу, що виділяється верстатами за проміжок часу між поточними прибираннями (за одну зміну) вираховуємо за формулою:

$$M_1 = M_0 \cdot N \cdot \tau_1 = 4,608 \cdot 5 \cdot 8 = 184,32 \text{ (кг)}$$

Маса пилу, що виділяється верстатами за проміжок часу між генеральними прибираннями, обчислюється за формулою:

$$M_2 = M_1 \cdot N_{\text{змін}} = 184,32 \cdot 22 = 4055,04 \text{ (кг)}$$

Маса пилу  $m_1$  та  $m_2$ , що осідає, відповідно, на легкодоступних та важкодоступних місцях за міжприбиральний період, визначається за формулами:

$$m_1 = M_1 \cdot (1 - \alpha) \cdot \beta_1;$$

$$m_2 = M_2 \cdot (1 - \alpha) \cdot \beta_2;$$

$$m_1 = 184,32 \cdot (1 - 0,75) \cdot 0,3 = 13,824 \text{ кг}$$

$$m_2 = 4055,04 \cdot (1 - 0,75) \cdot 0,7 = 709,635 \text{ кг}$$

Масу відкладеного у приміщенні пилу до аварії знаходимо за формулою:

$$m_n = K_2 \cdot (1 - K_y) \cdot (m_1 + m_2) = 1 \cdot (1 - 0,6) \cdot (13,824 + 709,635) = 289,38 \text{ (кг)}$$

Масу відкладеного пилу, що перейде у стан аерозолі під час аварії, обчислюємо за формулою:

$$m_{\text{аер}} = K_{\text{аер}} \cdot m_n = 0,9 \cdot 289,38 = 260,45 \text{ кг}$$

Визначаємо продуктивність,  $\text{кг} \cdot \text{с}^{-1}$ , з якою продовжується надходження пилу в приміщення від 5 верстатів:

$$q_n = \frac{M_0 \cdot N}{3600} \cdot (1 - \alpha) = \frac{4,608 \cdot 5}{3600} \cdot (1 - 0,75) = 0,0016 \text{ (кг} \cdot \text{с}^{-1}\text{)}$$

За 5 хв (300 с) у приміщення надійде пилу в результаті роботи верстатів:

$$M_{\text{ав}} = 0,0016 \cdot 300 \cdot 0,25 = 0,12 \text{ (кг)}$$

Визначаємо загальну масу пилу у стані аерозолі (розпиленого) у приміщенні:

$$m = m_{\text{аер}} + m_{\text{ав}} = 260,45 + 0,12 = 260,57 \text{ (кг)}$$

Враховуємо роботу вентиляції з кратністю повітрообміну  $5 \text{ год}^{-1}$ . Отриману масу пилу ділимо на коефіцієнт  $K$ :

$$K = \frac{5 \cdot 300}{3600} + 1 = 1,42;$$

$$m = 260,57 / 1,42 = 183,5 \text{ кг}$$

Розрахунковий надлишковий тиск вибуху  $\Delta P$  для горючих пилів визначається за формулою (5), де під величиною  $Z$  розуміють долю участі пилу у завислому стані у вибусі. За відсутності даних щодо масової частки частинок пилу розміром менше критичного, з перевищенням якого аерозоль стає вибухобезпечним, допускається приймати  $Z = 0,5$  (п. 7.3.1. ДСТУ). Визначаємо надлишковий тиск вибуху за формулою (5):

$$\Delta P = \frac{183,5 \cdot 1,67 \cdot 10^7 \cdot 101 \cdot 0,5}{2400 \cdot 1,206 \cdot 1010 \cdot 293 \cdot 3} = 60,2 \text{ (кПа)}$$

**Висновок.** Надлишковий тиск вибуху більший 5 кПа. Приміщення шліфувального відділення меблевого виробництва відноситься до вибухопожежо-небезпечної категорії Б.

**5.10. Приклади розрахунку надлишкового тиску вибуху для речовин і матеріалів, які здатні вибухати та горіти під час взаємодії з водою, киснем повітря або один з одним, та визначення категорій приміщень за вибухопожежною і пожежною небезпекою**

Розрахунковий надлишковий тиск вибуху  $\Delta P$  для речовин і/або матеріалів, які здатні вибухати і горіти під час взаємодії з водою, киснем повітря і/або один з одним, визначають за формулою (5), приймаючи, що  $Z = 1$ , і розуміючи під величиною  $H_T$  енергію, яка виділяється під час взаємодії вищезазначених речовин (з урахуванням того, що процес їх взаємодії проходить до кінця, тобто до утворення кінцевих продуктів), або експериментально під час натурних випробувань. Якщо визначити величину  $\Delta P$  неможливо, слід приймати її більшою за 5 кПа.

**Приклад 24.** Визначити категорію приміщення складу зберігання лужних металів у контейнерах. Назва металу – натрій, кількість у контейнері – 3 кг. Температура повітря у приміщенні – 20 °С.

1. Характеристика виробничого (складського) приміщення:

вільний об'єм приміщень – 120 м<sup>3</sup>;

температура повітря  $t_{\text{пов}} = 20$  °С;

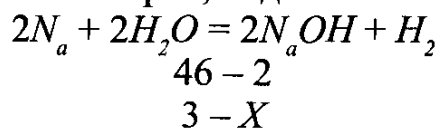
кратність повітрообміну – 0 год<sup>-1</sup>.

2. Характеристика речовин:

густина водню – 0,0831 кг/м<sup>3</sup>;

максимальний тиск вибуху – 730 кПа.

**Розв'язок.** Як варіант аварії розглянемо ситуацію, коли контейнер з натрієм розгерметизувався. Відомо, що значні кількості  $N_a$  реагують з водою з вибухом. У результаті хімічної реакції натрію з водою, що проходить з виділенням значної кількості теплової енергії, виділяється водень.



$$X = \frac{3 \cdot 2}{46} = 0,13 \text{ кг}$$

У результаті хімічної реакції 3 кг натрію з водою виділяється 0,13 кг водню, який з киснем повітря утворює вибухонебезпечну суміш:



Стехіометричний коефіцієнт водню у реакції згоряння становить:

$$\beta = n_c + \frac{n_i - n_x}{4} - \frac{n_o}{2} = 0 + \frac{2 - 0}{4} - \frac{0}{2} = 0,5$$

Стехіометрична концентрація водню становить:

$$C_{cm} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot \beta} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot 0,5} = 29,24 \% (\text{об})$$

Надлишковий тиск вибуху визначаємо за формулою (1):

$$\Delta P = (P_{max} - P_0) \cdot \frac{m \cdot Z}{V_{вільн} \cdot \rho_{zn}} \cdot \frac{100}{C_{cm}} \cdot \frac{1}{K_H}$$

$$\Delta P = (730 - 101) \frac{0,13 \cdot 1 \cdot 100}{120 \cdot 0,0831 \cdot 29,24 \cdot 3} = 9,3 \text{ (кПа)}$$

**Висновок.** У приміщенні знаходиться речовина, яка здатна вибухати і горіти при взаємодії з водою. Розрахунковий надлишковий тиск вибуху в приміщенні перевищує 5 кПа.

Відтак, приміщення складу лужних металів відноситься до вибухопожежо-небезпечної категорії А.

### **5.11. Приклади розрахунку надлишкового тиску вибуху для вибухонебезпечних сумішей, які містять ГГ, пари і пил**

Розрахунок надлишкового тиску вибуху для вибухонебезпечних сумішей, які містять ГГ, пари і пил, проводиться за п. 7.5.1 ДСТУ.

Розрахунковий надлишковий тиск вибуху  $\Delta P$  для складних вибухонебезпечних сумішей, які містять ГГ, пари ЛЗР та ГР і/або горючий пил, визначають за формулою:

$$\Delta P = \Delta P_1 + \Delta P_2$$

де:  $\Delta P_1$  – тиск вибуху, що обчислений для ГГ, парів ЛЗР та ГР відповідно до п.п. 7.2.1, 7.2.2 ДСТУ;

$\Delta P_2$  – тиск вибуху, що обчислений для горючого пилу відповідно до п.п. 7.3.1-7.3.8.ДСТУ.

**Приклад 25.** Визначити категорію приміщення з горючими газами, легкозаймистими рідинами, горючими рідинами, пилом, твердими речовинами і матеріалами.

*Вихідні дані для визначення категорії приміщення*

Приміщення малярно-здавального цеху тракторно-складального корпусу. У приміщенні цеху здійснюється фарбування і сушіння пофарбованих тракторів. У сушильних камерах як паливо використовується природний газ. Вимкнення газу на випадок аварії ручне. Надлишок фарби з фарбувальних

камер змивається водою в коагуляційний басейн, з якого після відділення води від фарби видаляється по трубопроводу за межі приміщення для подальшої її утилізації.

1. Характеристика виробничого приміщення:

об'єм приміщення фарбувальної ділянки малярно-здавального цеху

$$V_n = 112266,07 \text{ м}^3;$$

коефіцієнт вільного об'єму 80%;

температура повітря  $t_{\text{пов}} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

кратність повітрообміну –  $2 \text{ год}^{-1}$ .

2. Характеристика речовин і матеріалів:

Молярна маса,  $\text{кг} \cdot \text{кмоль}^{-1}$ :

- метан  $M_{\text{CH}_4} = 16,04$ ;

- сольвент  $M_{\text{C}_8,5 \text{ H}_{11}} = 113,2$ .

Температура спалаху,  $^\circ\text{C}$ :

- сольвент  $t_{\text{сп}} = 21$ .

Нижня концентраційна межа поширення полум'я (НКМП), % (об):

- метан  $C_{\text{НКМП CH}_4} = 5,28$ ;

- сольвент  $C_{\text{НКМП C}_8,5 \text{ H}_{11}} = 1,0$ .

Стехіометрична концентрація, % (об):

- метан  $C_{\text{ст CH}_4} = 9,36$ ;

- сольвент  $C_{\text{ст C}_8,5 \text{ H}_{11}} = 1,80$ .

3. Характеристика технологічного блоку:

- газ метан надходить по підвідному трубопроводу діаметром  $d = 0,219 \text{ м}$ , загальною довжиною ділянок трубопроводів  $L = 1152 \text{ м}$  під тиском  $178,4 \text{ кПа}$ ;

- вільна поверхня басейна коагуляції  $F = 226,84 \text{ м}^2$ ;

- маса розчинника сольвенту, що випаровується з пофарбованих виробів при працюючому конвеєрі за  $3600 \text{ с}$ , з врахуванням повітрообміну, становить  $74,836 \text{ кг}$  ( $m_{\text{св}}$ );

- маса газу метану, що надходить з трубопроводів при його розгерметизації за  $300 \text{ с}$ , з врахуванням повітрообміну, становить  $107,97 \text{ кг}$  ( $m_{\text{метан}}$ );

- маса розчинника сольвенту, що випаровується з вільної поверхні басейна коагуляції за час  $3600 \text{ с}$ , з врахуванням повітрообміну, становить  $26,0658 \text{ кг}$  ( $m_{\text{бас}}$ ).

Розрахункова температура  $t_p$ ,  $^\circ\text{C}$ :

- у приміщенні  $t_n = 39$ ;

- у сушильній камері  $t_k = 80$ .

Розв'язок

Для визначення надлишкового тиску вибуху як розрахунковий варіант приймається розгерметизація трубопроводу, по якому транспортують природний газ до теплогенераторів при працюючому конвеєрі й випаровування сольвенту із коагуляційного басейна та свіжопофарбованих поверхонь.

Визначаємо густину метану та парів сольвенту:

$$\rho_{\text{зн}} = \frac{M}{22,413 \cdot (1 + 0,00367 \cdot t_p)}$$

$$\text{- метану } p_{\text{CH}_4}^{39^\circ \text{C}} = \frac{16,04}{22,413 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 39)} = 0,6260;$$

$$\text{- сольвенту } p_{\text{C}_8\text{H}_{11}}^{39^\circ \text{C}} = \frac{113,2}{22,413 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 39)} = 4,4182;$$

$$p_{\text{C}_8\text{H}_{11}}^{80^\circ \text{C}} = \frac{113,2}{22,413 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 80)} = 3,9043$$

Вільний об'єм приміщення фарбувальної ділянки малярно-здавального цеху:

$$V_{\text{вільн}} = 0,8 \cdot V_n = 0,8 \cdot 112266,07 = 89812,86 \text{ м}^3 \approx 89813 \text{ м}^3$$

Розрахунковий надлишковий тиск вибуху визначаємо за формулою:

$$\begin{aligned} \Delta P &= \frac{(P_{\text{max}} - P_0) \cdot 100}{V_{\text{вільн}} \cdot K_H} \cdot \frac{m_{\text{CH}_4} \cdot Z_{\text{газ}}}{\rho_{\text{CH}_4} \cdot C_{\text{ст,CH}_4}} + \frac{(P_{\text{max}} - P_0) \cdot 100}{V_{\text{вільн}} \cdot K_H} \cdot \left( \frac{m_{\text{бас}} \cdot Z_n}{\rho_{\text{сол}}^{39^\circ \text{C}} \cdot C_{\text{ст,сол}}} + \frac{m_{\text{св.}} \cdot Z_n}{\rho_{\text{сол}}^{80^\circ \text{C}} \cdot C_{\text{ст,сол}}} \right) \\ &= \frac{605 \cdot 100}{89813 \cdot 3} \times \frac{107,97 \cdot 0,5}{0,626 \cdot 9,36} + \frac{799 \cdot 100}{89813 \cdot 3} \left( \frac{26,0658 \cdot 0,3}{4,4182 \cdot 1,8} + \frac{74,836 \cdot 0,3}{3,9043 \cdot 1,8} \right) = 3,3 \text{ (кПа)} \end{aligned}$$

**Висновок.** У приміщенні у технологічному процесі обертаються горючий газ метан і пари горючої рідини сольвенту в такій кількості, що у випадку аварії може утворитись вибухонебезпечна газоповітряна суміш, у разі займання і вибусі якої розрахунковий надлишковий тиск вибуху не перевищує 5 кПа. Вказане приміщення не відноситься до вибухопожежонебезпечних категорій А і Б.

## 6. ОСОБЛИВОСТІ РОЗРАХУНКУ КАТЕГОРІЇ ПРИМІЩЕНЬ ЗА ПОЖЕЖНОЮ НЕБЕЗПЕКОЮ

### 6.1. Особливості розрахунку категорії приміщень

До пожежонебезпечної категорії В відносяться приміщення, які не відносяться до категорій А або Б, і питома пожежна навантага для твердих і рідких легкозаймистих, горючих та важкогорючих речовин і/або матеріалів на окремих ділянках площею не менше 10 м<sup>2</sup> кожна перевищує 180 МДж • м<sup>-2</sup>.

Під час визначення категорії приміщення за пожежною небезпекою вибирають такий варіант, коли за технологічним процесом у приміщенні знаходиться (обертається) така кількість, зазначених вище речовин і/або матеріалів, якому відповідає найбільше значення питомої пожежної навантаги.

Пожежну навантагу  $Q$ , МДж, складові якої є тверді й рідкі легкозаймисті, горючі та важкогорючі речовини і/або матеріали у межах пожежонебезпечної ділянки, визначають за формулою (29).

Теплоту згоряння знаходять за довідниковими даними.

Питому пожежну навантагу  $g_T$ , МДж • м<sup>-2</sup>, визначають за формулою (30). Площа розміщення складових пожежної навантаги приймається не менше ніж 10 м<sup>2</sup>.

Варто підкреслити, що у разі якщо фактична площа розміщення пожежної навантаги менше  $10 \text{ м}^2$ , розрахункова площа під час визначення питомої пожежної навантаги приймається рівною  $10 \text{ м}^2$ .

У разі, якщо питома пожежна навантага менше  $180 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2}$ , для віднесення приміщення до категорії В або Д необхідно перевірити виконання вимог, що викладені в пункті 7.6.1 ДСТУ Б В.1.1-36:2016, і наведені нижче.

Для приміщень категорії Д ( $g \leq 180 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2}$ ) потрібно враховувати мінімальну відстань від поверхні пожежної навантаги до нижнього пояса ферм перекриття (покриття) або перекриття ( $H$ ), яка впливає на мінімальну граничну відстань між окремими ділянками, граничну площу окремої ділянки та зазначена у п.п. 7.6.5; 7.6.8 ДСТУ.

Якщо величина пожежної навантаги  $Q$ , МДж, що складається з матеріалів, зазначених у п. 7.6.3 ДСТУ, на окремій ділянці відповідає нерівності (28), то приміщення відноситься до категорії В. У протилежному випадку приміщення відноситься до категорії Д. У розрахунку величина приймається рівною  $180 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2}$ .

Максимальна гранична площа окремої ділянки  $S_{\text{гр}}$ ,  $\text{м}^2$ , у приміщеннях категорії Д, на якій дозволяється розміщення пожежної навантаги, що складається з речовин і/або матеріалів, зазначених у тексті, наведеному вище та п. 7.6.3 ДСТУ, визначається за формулою  $S_{\text{гр}} = 0,64 \cdot H^2$ , де  $H$  – висота від пожежної навантаги до плит перекриття.

Крім того, у приміщеннях категорії Д відстані між ділянками, що містять складові пожежної навантаги (тверді горючі й важкогорючі матеріали), мають бути не меншими за мінімальні граничні значення  $l_{\text{гр1}}$  та  $l_{\text{гр2}}$ , які наведені у таблиці 4 та п.п. 7.6.5, 7.6.7 ДСТУ відповідно.

Таблиця 4 – Значення мінімальних граничних відстаней,  $l_{\text{гр1}}$ , залежно від величини критичної поверхневої густини падаючих променистих потоків  $q_{\text{кр}}$

$q_{\text{кр}}, \text{кВт} \cdot \text{м}^{-2}$	5	10	15	20	25	30	40	50
$l_{\text{гр1}}, \text{м}$	12	8	6	5	4	3,8	3,2	2,8

Критична поверхнева густина променистого потоку  $q_{\text{кр}}$ ,  $\text{кВт} \cdot \text{м}^{-2}$ , – мінімальне значення густини теплового потоку, за якого виникає стійке полум'яне горіння матеріалів, на які падає променистий потік.

Значення  $l_{\text{гр1}}$  приймаються за умови якщо  $H \geq 11 \text{ м}$ ; якщо  $H < 11 \text{ м}$ , то мінімальну граничну відстань визначають як  $l_{\text{гр2}} = l_{\text{гр1}} + (11 - H)$ , де  $l_{\text{гр1}}$  приймають із таблиці 4,  $H$  – мінімальна відстань від поверхні пожежної навантаги, що складається із твердих горючих і важкогорючих матеріалів, до нижнього пояса ферм перекриття (покриття) або перекриття, м.

Значення  $q_{\text{кр}}$  (за тривалості опромінення 15 хв) для деяких матеріалів пожежної навантаги наведені у таблиці 5.



Таблиця 5 – Значення  $q_{кр}$  для деяких матеріалів пожежної навантаги

Матеріал	$q_{кр}$ , кВт·м <sup>-2</sup>
Деревина (сосна вологістю 12%)	13,9
Деревостружкові плити (питома вага 417 кг·м <sup>-3</sup> )	8,3
Торфобрикет	13,2
Торф шматковий	9,8
Бавовна-волокно	7,5
Шаруватий пластик	15,4
Склопластик	17,4
Пергамін	17,4
Гума	14,8
Вугілля	35,0
Рулонна покрівля	17,4
Сіно, солома (при мінімальній вологості до 8%)	7,0

Якщо пожежна навантага під час розрахункової аварії складається з різних матеріалів, то значення  $q_{кр}$  визначають за матеріалом з мінімальним значенням  $q_{кр}$ .

Для матеріалів пожежної навантаги з невідомими значеннями  $q_{кр}$  приймають  $l_{гр1} \geq 12$  м.

Якщо пожежна навантага складається з ЛЗР та ГР, мінімальну граничну відстань  $l_{гр3}$  між сусідніми ділянками розміщення (розливу) складових пожежної навантаги у приміщеннях категорії Д визначають за формулами:

$$\begin{aligned} l_{гр3} &\geq 15 \text{ м,} && \text{якщо } H \geq 11 \text{ м;} \\ l_{гр3} &\geq 26 - H, && \text{якщо } H < 11 \text{ м.} \end{aligned}$$

*Примітка.* Значення мінімальних граничних відстаней  $l_{гр1}$ ,  $l_{гр2}$  та  $l_{гр3}$  можуть бути зменшені за умов застосування конструктивних рішень, спрямованих на створення перешкод поширенню пожежі між ділянками, що містять складові пожежної навантаги, та погодження з органами державного пожежного нагляду

## 6.2. Приклади розрахунку категорії приміщень за пожежною небезпекою

### 6.2.1. Приміщення з горючими рідинами

*Приклад 26.* Визначити категорію приміщення проміжного паливного баку резервної дизельної електростанції. У приміщенні знаходиться паливний бак з дизельним паливом марки «З» (ДСТУ 3868-99 *Паливо дизельне. Технічні умови*) об'ємом 6,3 м<sup>3</sup>, ступінь заповнення бака наливом 0,9.

*Вихідні дані для визначення категорії приміщення*

Розміри приміщення 4×4×3,6 м. Загальна довжина підвідного та відвідного трубопроводів – 10 м (5+5).

Внутрішній радіус 0,05 м. Витрата дизельного палива у трубопроводах 1,5 л·с<sup>-1</sup> = 0,0015 м<sup>3</sup>·с<sup>-1</sup>.

1. Характеристика виробничого (складського) приміщення:

довжина  $l = 4$  м;

ширина  $b = 4$  м;

висота  $h = 3,6$  м;

коефіцієнт вільного об'єму приміщення  $K_{\text{вільн}} = 80\%$ ;

швидкість повітряного потоку  $0,1$  м/с;

температура повітря  $t_{\text{пов}} = 25$  °С.

2. Характеристика речовини:

назва – дизельне паливо марки «З»,  $C_{12,343}H_{23,889}$ ;

температура спалаху  $t_{\text{сп}} = 48$  °С;

молекулярна маса  $M = 172,3$  кг·кмоль<sup>-1</sup>.

Константи рівняння Антуана розраховані з використанням тиску парів дизельного палива, взятого у мм.рт.ст.:  $A = 5,98338$ ;  $B = 1255,73$ ;  $C_a = 199,523$ .

Густина рідини при 25 °С  $\rho_p = 804$  кг·м<sup>-3</sup>;

нижня концентраційна межа поширення полум'я – 0,6% (об).

Число атомів у молекулі горючої рідини:

вуглецю  $n_c = 12,343$ ;

водню  $n_h = 23,999$ ;

кисню  $n_o = 0$ ;

галогенів  $n_x = 0$ .

Теплота згоряння за ДСТУ ISO 1928:2006  $H_T = 43590$  кДж·кг<sup>-1</sup>;

максимальний тиск вибуху  $P_{\text{max}} = 900$  кПа.

3. Характеристика технологічного блоку:

об'єм блоку  $V = 6,3$  м<sup>3</sup>;

ступінь заповнення  $\varepsilon = 0,9$ ;

робочий надлишковий тиск в апараті  $P_p = 0$  кПа;

температура рідини  $t_{\text{роб}} = 25$  °С;

продуктивність насоса  $q_n = 0,0015$  (м<sup>3</sup>·с<sup>-1</sup>).

Підвідний трубопровід:

довжина  $L_1 = 5$  м;

радіус  $r_1 = 0,05$  м.

Відвідний трубопровід:

довжина  $L_2 = 5$  м;

радіус  $r_2 = 0,05$  м.

Тривалість відключення трубопроводів ручне  $\tau_m = 300$  с.

*Розв'язок*

При визначенні надлишкового тиску вибуху в якості розрахункового варіанта аварії приймається розгерметизація паливного бака і вихід із нього та підвідного й відвідного трубопроводів дизельного пального в об'єм приміщення. За розрахункову приймаємо максимальну температуру в даному районі  $t_p = 35$  °С.

Надлишковий тиск вибуху визначаємо за формулою (1):

$$\Delta P = (P_{\text{max}} - P_0) \cdot \frac{m \cdot Z}{V_{\text{вільн}} \cdot \rho_{\text{га}}} \cdot \frac{100}{C_{\text{ст}}} \cdot \frac{1}{K_n},$$

де:  $P_{max} = 900$  кПа;

$P = 101$  кПа;

$V_{вільн}^o = 0,8 \cdot 4 \cdot 4 \cdot 3,6 = 46,08$  м<sup>3</sup>;

$K_n = 3$

Густину пару визначаємо за формулою (2):

$$\rho_{z,n} = \frac{172,3}{22,413(1 + 0,00367 \cdot 35)} = 6,81 \text{ (кг} \cdot \text{м}^{-3}\text{)}$$

Об'єм дизельного палива, яке виходить із трубопроводів до їх відключення, визначаємо за формулою (10):

$$V_{IT} = q \cdot \tau_T = 0,0015 \cdot 300 = 0,45 \text{ (м}^3\text{)}$$

Об'єм дизельного палива, яке виходить із трубопроводів після їх відключення, визначаємо за формулою (11):

$$V_{2T} = 3,14 \cdot 0,0025 \cdot 10 = 0,0785 \text{ (м}^3\text{)}$$

Об'єм рідини, яка виходить із трубопроводів, знаходимо за формулою (9):

$$V_T = V_{IT} + V_{2T} = 0,0015 \cdot 300 + 3,14 \cdot 0,0025 \cdot 10 = 0,528 \text{ (м}^3\text{)}$$

Об'єм рідини, що надходить у приміщення з паливного баку, вираховуємо за формулою:

$$V_a = 0,9 \cdot 6,3 = 5,67 \text{ (м}^3\text{)}$$

Об'єм рідини, що надходить у приміщення при розрахунковій аварії, обчислюємо за формулою:

$$V_{ба} = 6,3 \cdot 0,9 + 0,0015 \cdot 300 + 3,14 \cdot 0,0025 \cdot 10 = 6,2 \text{ (м}^3\text{)} = 6200 \text{ (л)}$$

Площа випаровування  $F_a = 1,0 \cdot 6200 = 6200$  (м<sup>2</sup>).

Оскільки площа приміщення  $F = 16$  м<sup>2</sup> менше розрахункової площі випаровування дизельного палива, то приймаємо площу випаровування 16 м<sup>2</sup>.

Тиск насиченої пари визначаємо за формулою (15):

$$P_H = 0,133 \cdot 10^{\frac{5,95338 - \frac{1255,73}{199,523+35}}{}} = 0,133 \cdot 10^{0,5989} = 0,528 \text{ (кПа)}$$

Значення коефіцієнта  $\eta$  в умовах, коли швидкість повітряного потоку дорівнює 0,1, становить 1,6. Інтенсивність випаровування визначаємо за формулою (14):

$$W = 10^{-6} \cdot \eta \cdot \sqrt{M} \cdot P_H = 10^{-6} \cdot 1,6 \cdot \sqrt{172,3} \cdot 0,528 = 1,1 \cdot 10^{-5} \text{ (кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}\text{)}$$

Визначаємо масу пари дизельного палива, що надійде у приміщення внаслідок аварії за одну годину (3600 с), за формулою (13):

$$m = W \cdot F_a \cdot \tau_{вип.} = 1,1 \cdot 10^{-5} \cdot 16 \cdot 3600 = 0,633 \text{ (кг)}$$

Стехіометричний коефіцієнт кисню у реакції згоряння визначаємо за формулою (4):

$$\beta = n_c + \frac{n_n - n_x}{4} - \frac{n_o}{2} = 12,343 + \frac{23,889}{4} = 18,32$$

Стехіометричну концентрацію пари дизельного палива обчислюємо за формулою (3):

$$C_{cm} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot \beta} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot 18,32} = 1,12 \% \text{ (об)}$$

$$\text{Середня концентрація } C_{\text{сер}} = \frac{100 \cdot 0,399}{6,81 \cdot 46,08} = 0,127 \% (\text{об})$$

Перевіримо виконання нерівності  $100 \cdot m/(\rho_{\text{zn}} V_{\text{св}}) < 0,5 \cdot C_{\text{нкрп}}$ :  $0,127 < 0,5 \cdot 0,6 = 0,3$ . Виконання нерівності дозволяє скористатись п. 2 у додатку до ДСТУ для визначення коефіцієнта  $Z$ .

Концентрація насичених парів за формулою (68) становить:

$$C_{\text{н}} = 100 \cdot \frac{P_{\text{н}}}{P_{\text{о}}} = 100 \cdot \frac{0,528}{101,3} = 0,521 \% (\text{об})$$

Значення параметра  $C^*$  за формулою (70) становить:

$$C^* = \varphi \cdot C_{\text{ст}} = 1,9 \cdot 1,12 = 2,128$$

Значення коефіцієнта  $Z$  визначаємо за графіком на рисунку, наведеному в додатку ДСТУ. Для цього перевіряємо виконання умов:

$$X = \begin{cases} C_{\text{н}} / C^*, \text{ якщо } C_{\text{н}} \leq C^* \\ 1, \text{ якщо } C_{\text{н}} > C^* \end{cases}$$

$$\text{У нашому випадку } X = \frac{C_{\text{н}}}{C^*} = 0,245.$$

За графіком на вказаному рисунку такому значенню  $X$  відповідає  $Z = 0$ .

Надлишковий розрахунковий тиск вибуху суміші парів дизельного палива з повітрям:

$$\Delta P = (900 - 101) \frac{0,399 \cdot 0 \cdot 100}{46,08 \cdot 6,81 \cdot 1,12 \cdot 3} = 0 \text{ (кПа)}$$

Розрахунковий надлишковий тиск вибуху менше 5 кПа. Приміщення проміжного паливного баку резервної дизельної електростанції не відноситься до вибухонебезпечної категорії.

Згідно з таблицею 6 проводимо перевірку належності приміщення до категорії В.

Визначаємо пожежну навантагу згідно з формулою (29):

$$G = V_{\text{р}} \cdot \rho_{\text{р}} = 6,2 \cdot 804 = 4984,8 \text{ (кг)}$$

$$Q = G \cdot Q^{\text{р}} = 4984,8 \text{ кг} \cdot 43,59 \text{ МДж} \cdot \text{кг}^{-1} = 217287,43 \text{ (МДж)}$$

Площа приміщення 16 м<sup>2</sup>.

Питому пожежну навантагу визначаємо за формулою (30):

$$q_{\text{т}} = \frac{Q}{F} = \frac{217287}{16} = 13580,46 \text{ (МДж} \cdot \text{м}^{-2}\text{)}$$

**Висновок.** Розрахунковий надлишковий тиск вибуху менше 5 кПа. Приміщення проміжного паливного баку резервної дизельної електростанції не відноситься до вибухонебезпечної категорії.

Питома пожежна навантага перевищує  $180 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2}$ . Приміщення проміжного паливного баку резервної дизельної електростанції згідно з таблицею 6 відноситься до категорії В.

### 6.2.2. Приміщення з твердими горючими матеріалами

*Приклад 27.* Складське приміщення являє собою багатостележний склад, у якому передбачено зберігання на металевих стелажах негорючих матеріалів у картонних коробках. У кожному із десяти рядів стелажів міститься 10 ярусів, у кожному ярусі – 16 відсіків, у кожному з відсіків зберігається по 3 картонні коробки, маса картону у яких по 1 кг. Верхня відмітка зберігання картонних коробок на стелажах складає 5 м, висота приміщення від підлоги до перекриття – 7,2 м. Довжина стелажа – 48 м, ширина – 1,2 м, віддаль між рядами стелажів – 2,8 м. Відстань від верхньої відмітки пожежної навантаги (від коробок верхнього ярусу) до плит перекриття становить  $7,2 \text{ м} - 5 \text{ м} = 2,2 \text{ м}$ .

Площа розміщення пожежної навантаги в одному ряду стелажів (площа ділянки) складає:  $48 \times 1,2 \text{ м} = 57,6 \text{ м}^2$ . У складському приміщенні знаходиться 10 ділянок площею по  $57,6 \text{ м}^2$  кожна, відстань між якими – 2,8 м.

Маса картону, що знаходиться у одному ряду стелажів, складає:

$10 \text{ ярусів} \times 16 \text{ відсіків} \times 3 \text{ коробки} \times 1 \text{ кг} = 480 \text{ (кг)}$ .

Найнижча теплота згоряння картону дорівнює  $13,4 \text{ МДж} \cdot \text{кг}^{-1}$ .

Пожежна навантага в одному ряду стелажів становить:

$$Q = 480 \cdot 13,4 = 6432 \text{ (МДж)}$$

Питома пожежа навантага в одному ряду стелажів вираховується за формулою:

$$g = \frac{Q}{S} = \frac{6432}{57,6} = 111,7 \text{ (МДж} \cdot \text{м}^{-2}\text{)}$$

Згідно з таблицею 1 ДСТУ така величина пожежної навантаги відповідає приміщенню категорії Д. Однак, у приміщенні складу таких ділянок є 10 і площа кожної з них перевищує  $10 \text{ м}^2$ . Максимальна площа ділянки для приміщення категорії Д за висоти від пожежної навантаги до перекриття рівної  $2,2 \text{ м}$  становить:  $S_{\text{гр}} = 0,64 \cdot H^2 = 0,64 \cdot 2,2^2 = 3,1 \text{ м}^2$ . У цьому випадку площа ділянки дорівнює  $57,6 \text{ м}^2$ .

Тому до категорії Д таке приміщення віднести не можна, а його необхідно віднести до категорії В за умови, що спосіб розміщення пожежної навантаги відповідає відповідним вимогам, які викладені у п. 7.6 ДСТУ.

У даному складському приміщенні мінімальна віддаль від поверхні пожежної навантаги до перекриття (Н) складає  $2,2 \text{ м}$  ( $7,2 \text{ м} - 5 \text{ м} = 2,2 \text{ м}$ ).

Визначаємо, чи виконується умова нерівності:

$$Q \geq 0,64 \cdot g \cdot H^2$$
$$0,64 \cdot 180 \cdot 2,2^2 = 557,7 \text{ (МДж)}$$

*Висновок.* Оскільки  $Q = 6432 \text{ МДж}$  і умова  $Q = 6432 \text{ МДж} \geq 557,7 \text{ (МДж)}$  виконується, приміщення складу відноситься до категорії В.

*Приклад 28.* Визначити категорію приміщення виробничої лабораторії.

*Вихідні дані для визначення категорії приміщення*

У приміщенні лабораторії розміщені: шафа витяжна хімічна, стіл для аналітичних вагів, 2 стільці. У лабораторії можна виділити одну ділянку площею  $10 \text{ м}^2$ , на якій розміщені дерев'яний стіл і 2 дерев'яні стільці. Загальна маса дерева на цій ділянці становить 47 кг. Інших горючих матеріалів на цій ділянці немає. Інші ділянки з пожежною навантагою у лабораторії відсутні.

*Розв'язок*

Найнижча теплота згоряння для деревини за ДСТУ ISO 1928:2006 становить  $13,8 \text{ МДж кг}^{-1}$ .

Пожежна навантага на ділянці за формулою (29) становить:

$$Q = 13,8 \cdot 47 = 648,6 \text{ (МДж} \cdot \text{м}^{-2}\text{)}$$

Питома пожежна навантага на ділянці за формулою (30) становить:

$$g = \frac{Q}{S} = \frac{648,6}{10} = 64,9 \text{ (МДж} \cdot \text{м}^{-2}\text{)}$$

Згідно з таблицею 6 приміщення з такою пожежною навантагою необхідно віднести до категорії Д.

*Висновок.* Оскільки у приміщенні лабораторії немає інших ділянок з пожежною навантагою, приміщення лабораторії відноситься до категорії Д.

*Приклад 29.* Визначити категорію приміщення лабораторії за вибухопожежною і пожежною небезпекою.

Вихідні дані для визначення категорії приміщення

1. Характеристика приміщення:

довжина  $l = 6,5 \text{ м}$ ;

ширина  $b = 6,0 \text{ м}$ ;

висота  $h = 2,7 \text{ м}$ ;

вільний об'єм приміщення  $94,0 \text{ м}^3$ ;

аварійна вентиляція відсутня;

розрахункова температура повітря  $t_{pn} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ .

2. Характеристика речовин:

найменування – ацетон;

температура спалаху  $t_{cn} = 18 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

молекулярна маса – 58,08;

густина  $\rho_p = 790 \text{ кг/м}^3$ ;

теплота згоряння за ДСТУ ISO 1928:2006 становить  $31360 \text{ кДж/кг}$ .

Константи Антуана визначаються для тиску насичених парів, взятих у кПа:

$A = 6,37551$ ,  $B = 1281,721$ ,  $C_a = 237,088$ .

Число атомів у молекулі:

вуглецю  $n_c = 3$ ;

водню  $n_h = 6$ ;

кисню  $n_o = 1$ ;

максимальний тиск вибуху –  $572 \text{ кПа}$ .

3. Характеристика технологічного блоку:

найменування – апарат «Сокслета»;

кількість ацетону в апараті  $0,002 \text{ м}^3$  ( $m = 0,002 \cdot 790 = 1,58 \text{ кг}$ );

температура рідини в апараті  $t_a = 20^\circ\text{C}$ ;

площа, яку займає технологічний блок (піддон) –  $0,75 \text{ м}^2$ .

*Розв'язок*

*Вибір та обґрунтування розрахункового варіанта аварії*

Згідно з ДСТУ як розрахунковий варіант прийнято найбільш несприятливий варіант аварії в частині наслідків у приміщенні лабораторії, при якому у вибусі бере участь найбільша кількість парів ЛЗР.

У приміщенні лабораторії під час проведення роботи був зруйнований апарат «Сокслета». Увесь уміст апарата вилився на підлогу приміщення.

У подальшому відбувалося випаровування з поверхні розлитої ЛЗР. Площа випаровування визначається за ДСТУ, виходячи з розрахунку, що  $1,0 \text{ л}$  ЛЗР розливається на площі  $1,0 \text{ м}^2$  підлоги. За вихідними даними площа випаровування визначається площею, яку займає технологічний блок (піддон).

Накопичені у приміщенні пари ЛЗР створюють з повітрям вибухонебезпечну суміш, у разі займання якої розвивається надлишковий тиск вибуху в приміщенні.

Надлишковий тиск вибуху  $\Delta P$  для індивідуальних горючих речовин, що складаються з атомів С, Н, N, О, Cl, Br, I, F, визначається за формулою (1):

$$\Delta P = (P_{\max} - P_0) \cdot \frac{m \cdot Z}{V_{\text{вільн}} \cdot \rho_{\text{ст}}} \cdot \frac{100}{C_{\text{ст}}} \cdot \frac{1}{K_n}$$

Стехіометричний коефіцієнт кисню у реакції згоряння визначаємо за формулою (4):

$$\beta = 3 + \frac{6 - 0}{4} - \frac{1}{2} = 4$$

Стехіометричну концентрацію парів ацетону, % (об) визначаємо за формулою 3:

$$C_{\text{ст}} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot \beta} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot 4} = 4,91\% \text{ (об)}$$

Тиск насичених парів,  $P_n$ , кПа, обчислюємо за формулою (16):

$$P_n = 10^{\left(6,37551 - \frac{1281,721}{237,008 + 20}\right)} = 24,46 \text{ (кПа)}$$

Коефіцієнт  $\eta$ , що враховує вплив швидкості й температури повітряного потоку над розлитою рідиною на інтенсивність випаровування, визначаємо згідно з таблицею 1. У разі відсутності аварійної вентиляції  $\eta$  дорівнює 1,0.

Інтенсивність випаровування  $W$ ,  $\text{кг}/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$ , визначаємо за формулою (14):

$$W = 10^{-6} \cdot \eta \cdot (M) 0,5 \cdot P_n;$$

$$W = 10^{-6} \cdot 1,0 \cdot (58,08)^{0,5} \cdot 24,46 = 1,86 \cdot 10^{-4} \text{ кг}/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$$

Час повного випаровування розлитої рідини, с, вираховується за формулою (13):

$$\tau_8 = 1,58 / (1,86 \cdot 10^{-4} \cdot 0,75) = 11326 \text{ (с)}$$

Приймаємо час випаровування згідно з ДСТУ – 3600 с.

Масу, кг, рідини, що випаровувалася, визначаємо за формулою (13):

$$m = 1,86 \cdot 10^{-4} \cdot 0,75 \cdot 3600 = 0,5 \text{ (кг)}$$

Значення коефіцієнта участі парів ЛЗР у вибусі, Z, приймаємо за таблицею 2 ДСТУ.

Густина парів ацетону при розрахунковій температури  $t_p$ , кг/м<sup>3</sup>, знаходимо за формулою (2):

$$\rho_{g,n} = \frac{58,08}{22,413 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 20)} = 2,41 \text{ (кг/м}^3\text{)}$$

Надлишковий тиск вибуху в приміщенні лабораторії:

$$\Delta P = (572 - 101) \frac{0,5 \cdot 0,3}{94 \cdot 2,41} \cdot \frac{100}{4,91} \cdot \frac{1}{3} = 2,12 \text{ (кПа)}$$

У приміщенні з наявністю ЛЗР з температурою спалаху в закритому тиглі – 18 °С надлишковий тиск не перевищує 5 кПа. Перевіряємо належність приміщення до категорії В.

Відповідно до ДСТУ визначаємо пожежну навантагу Q, МДж, за формулою (29):

$$Q = 1,58 \cdot 31,36 = 43,28 \text{ (МДж)}$$

Враховуємо, що площа розміщення пожежної навантаги, F, м<sup>2</sup>, за ДСТУ не менше 10 м<sup>2</sup>.

Питому пожежну навантагу  $g_T$ , МДж/м<sup>2</sup>, визначаємо відповідно до ДСТУ за формулою (30):

$$g_T = 43,28 / 10,0 = 4,328 \text{ (МДж/м}^2\text{)}$$

Проводимо перевірку виконання умови за формулою (33):

$$Q \geq 0,64 \cdot g_T \cdot H^2$$

У нашому випадку мінімальна відстань від поверхні пожежної навантаги до перекриття 2,7 м.

$$\text{Таким чином, } 0,64 \cdot g_T \cdot H^2 = 0,64 \cdot 180 \cdot 2,7^2 = 839,8 \text{ (МДж)}$$

Максимальна гранична площа розміщення пожежної навантаги у приміщенні категорії Д, на якій дозволяється розміщення пожежної навантаги, визначається за формулою (34):

$$S_{sp} = 0,64 \cdot H^2$$
$$S_{sp} = 0,64 \cdot 2,7^2 = 4,66 \text{ (м}^2\text{)}$$

Реальна пожежна навантага Q = 43,28 МДж. Розрахункова пожежна навантага становить 839,8 МДж. Максимальна гранична площа розміщення пожежної навантаги у цьому приміщенні дорівнює 4,66 м<sup>2</sup>.

Інших ділянок з наявністю пожежної навантаги у приміщенні нема.

**Висновок.** У приміщенні обертається ЛЗР з температурою спалаху, що не перевищує 28 °С. При аварійній ситуації розрахунковий надлишковий тиск вибуху в приміщенні не перевищує 5 кПа. Приміщення не відноситься до



вибухонебезпечної категорії А. Оскільки реальна пожежна навантага не перевищує розрахункову – умова за формулою (33), площа розміщення технологічного апарата не перевищує максимальну граничну площу розміщення пожежної навантаги у цьому приміщенні – умова за формулою (34) та інших ділянок у цьому приміщенні нема, допускається відносити вказане приміщення до категорії Д.

### 6.2.3. Задачі для приміщень розмірами менше 10 м<sup>2</sup>

Приклад 30. Визначити категорію складського підсобного приміщення розмірами 2,5×3,5×2,5 м. У приміщенні зберігаються тверді горючі та негорючі речовини і матеріали: 10 відер поліетиленових масою 0,6 кг кожне, ляне полотно (мішковина) масою 5 кг, полотно бавовняне масою 5 кг, віники дерев'яні масою 10 кг, поліетиленові швабри загальною масою 4 кг, металевий посуд, металеві драбини.

*Вихідні дані для визначення категорії приміщення*

Площа приміщення становить  $2,5 \cdot 3,5 = 8,75$  (м<sup>2</sup>).

Найнижча теплота згоряння поліетилену становить 47,14 МДж кг<sup>-1</sup>, льону розрихленого 15,7 МДж кг<sup>-1</sup>, бавовни розрихленої – 15,7 МДж кг<sup>-1</sup>, дерева – 14,0 МДж кг<sup>-1</sup>.

Сумарна пожежна навантага усіх горючих речовин у приміщенні становить:  $Q = 47,14 \cdot 10 + 15,7 \cdot 5 + 15,7 \cdot 5 + 14,0 \cdot 10 = 471,4 + 157 + 140 = 768,4$  (МДж).

Питома пожежна навантага становить  $g_T = \frac{Q}{S} = \frac{768,4}{8,75} = 87,8$  (МДж/м<sup>2</sup>).

Якщо величина пожежної навантаги  $Q$ , МДж, на окремій ділянці відповідає нерівності  $Q \geq 0,64 \cdot g_T \cdot H^2$ , то приміщення відноситься до категорії В.

Визначаємо, чи виконується умова щодо величини пожежної навантаги у вигляді нерівності:

$$Q \geq 0,64 \cdot g_T \cdot H^2$$

Якщо  $g_T < 180$  МДж·м<sup>-2</sup>, то для розрахунку величина  $g_T$  приймається рівною 180 МДж·м<sup>-2</sup>.

$$Q \geq 0,64 \cdot 180 \cdot 6,25 = 720$$

У цьому випадку сумарна пожежна навантага  $Q = 768,4$  МДж, вона більша граничної величини 720 МДж для даної висоти приміщення 2,5 м і тому складське приміщення відноситься до категорії В.

**Висновок.** Питома пожежна навантага не перевищує 180 МДж м<sup>-2</sup>. Складське приміщення згідно з приміткою 2 до таблиці 1 ДСТУ відноситься до категорії В.

Приклад 31. Визначити категорію складського підсобного приміщення станції метрополітену розмірами 2,5×3,5×3,0 м. У приміщенні зберігаються тверді горючі та негорючі речовини і матеріали: 10 відер поліетиленових масою 0,6 кг кожне, ляне полотно (мішковина) масою 5 кг, полотно бавовняне масою 5 кг, віники дерев'яні масою 10 кг, металевий посуд, металеві драбини.

*Вихідні дані для визначення категорії приміщення*

Площа приміщення становить  $2,5 \cdot 3,5 = 8,75 \text{ (м}^2\text{)}$ .

Найнижча теплота згоряння поліетилену становить  $47,14 \text{ МДж кг}^{-1}$ , льону розрихленого –  $15,7 \text{ МДж кг}^{-1}$ , бавовни розрихленої –  $15,7 \text{ МДж кг}^{-1}$ , дерева –  $14,0 \text{ МДж кг}^{-1}$ .

Сумарна пожежна навантага усіх горючих речовин у приміщенні становить:  $Q = 47,14 \cdot 6 + 15,7 \cdot 5 + 15,7 \cdot 5 + 14,0 \cdot 10 = 471,4 + 157 + 140 = 768,4 \text{ (МДж)}$ .

Питома пожежна навантага становить  $g_T = \frac{768,44}{8,75} = 87,8 \text{ (МДж/м}^2\text{)}$ .

Визначаємо, чи виконується умова щодо величини пожежної навантаги у вигляді нерівності:

$$Q \geq 0,64 \cdot g_T \cdot H^2$$

Якщо  $g_T < 180 \text{ МДж м}^{-2}$ , то для розрахунку величина  $g_T$  приймається рівною  $180 \text{ МДж м}^{-2}$ .

$$Q \geq 0,64 \cdot 180 \cdot 3^2 = 1036,8$$

де:  $g_T$  – питома пожежна навантага,  $\text{МДж м}^{-2}$ ;

$H$  – мінімальна відстань від пожежної навантаги (окрім кабельних ліній) до нижнього пояса незахищених металевих ферм або перекриття (покриття).

Оскільки пожежна навантага у приміщенні менше  $1036,8 \text{ МДж}$ , а саме – становить  $768,4 \text{ МДж}$ , то складське приміщення відноситься до категорії Д.

*Приклад 32.* Визначити категорію складського приміщення розмірами  $2,5 \times 3,5 \times 2,5 \text{ м}$ . У приміщенні зберігаються тверді горючі й негорючі речовини і матеріали та горюча рідина: 10 відер поліетиленових масою  $0,6 \text{ кг}$  кожне, лляне полотно (мішковина) масою  $5 \text{ кг}$ , полотно бавовняне масою  $5 \text{ кг}$ , віники дерев'яні масою  $10 \text{ кг}$ ,  $20 \text{ кг}$  трансформаторної оливи за ГОСТ 982-80 у металевій бочці, поліетиленові швабри загальною масою  $4 \text{ кг}$ , металевий посуд, металеві драбини.

*Вихідні дані для визначення категорії приміщення*

Площа приміщення становить  $2,5 \cdot 3,5 = 8,75 \text{ (м}^2\text{)}$ .

Найнижча теплота згоряння поліетилену становить  $47,14 \text{ МДж кг}^{-1}$ , льону розрихленого –  $15,7 \text{ МДж кг}^{-1}$ , бавовни розрихленої –  $15,7 \text{ МДж кг}^{-1}$ , дерева –  $14,0 \text{ МДж кг}^{-1}$ , трансформаторної оливи –  $43,11 \text{ МДж кг}^{-1}$ .

Сумарна пожежна навантага усіх горючих речовин у приміщенні становить:  $Q = 47,14 \cdot 10 + 15,7 \cdot 5 + 15,7 \cdot 5 + 14,0 \cdot 10 + 43,11 \cdot 20 = 471,4 + 157 + 140 + 862,2 = 1630,6 \text{ МДж}$ .

Питома пожежна навантага становить  $g_T = \frac{Q}{S} = \frac{1630,6}{8,75} = 186,35 \text{ (МДж/м}^2\text{)}$ .

*Висновок.* Питома пожежна навантага перевищує  $180 \text{ МДж м}^{-2}$ . Тому складське приміщення згідно з приміткою 2 до таблиці 1 ДСТУ відноситься до категорії В.

*Приклад 33.* Визначити категорію складського приміщення розмірами

2,5×3,5×2,5 м. У приміщенні зберігаються тверді горючі й негорючі речовини і матеріали та горючі рідини: відра поліетиленові об'ємом 10 л, масою 0,6 кг кожне, лляне полотно (мішковина) масою 5 кг, полотно бавовняне масою 5 кг, віники дерев'яні масою 10 кг, 20 кг трансформаторної оливи за ГОСТ 982-80 у металевій бочці, 10 кг вайт-спіриту за ГОСТ 3134-78 в металевій каністрі, поліетиленові швабри загальною масою 4 кг, металевий посуд, металеві.

*Вихідні дані для визначення категорії приміщення*

Площа приміщення становить  $2,5 \cdot 3,5 = 8,75 \text{ (м}^2\text{)}$ .

Найнижча теплота згоряння поліетилену становить  $47,14 \text{ МДж кг}^{-1}$ , льону розрихленого –  $15,7 \text{ МДж кг}^{-1}$ , бавовни розрихленої –  $15,7 \text{ МДж кг}^{-1}$ , дерева –  $14,0 \text{ МДж кг}^{-1}$ , трансформаторної оливи –  $43,11 \text{ МДж кг}^{-1}$ , вайт-спіриту –  $43,97 \text{ МДж кг}^{-1}$ .

Сумарна пожежна навантага усіх горючих речовин у приміщенні становить:  $Q = 47,14 \cdot 10 + 15,7 \cdot 5 + 15,7 \cdot 5 + 14,0 \cdot 10 + 43,11 \cdot 20 = 471,4 + 157 + 140 + 862,2 + 439,7 = 2070,3 \text{ МДж}$ .

Питома пожежна навантага становить  $g_T \frac{Q}{S} = \frac{2070,3}{8,75} = 236,6 \text{ (МДж/м}^2\text{)}$ .

Питома пожежна навантага перевищує  $180 \text{ МДж м}^{-2}$  і складське приміщення згідно з приміткою 2 до таблиці 1 ДСТУ відноситься до категорії В. Але у приміщенні зберігається легкозаймиста рідина – вайт-спірит, тому необхідно визначати розрахунковий надлишковий тиск вибуху і за його величиною прийняти рішення щодо віднесення приміщення до категорії Б чи В.

1. Характеристика складського приміщення:

довжина  $l = 3,5 \text{ м}$ ;

ширина  $b = 2,5 \text{ м}$ ;

висота  $h = 2,5 \text{ м}$ ;

коефіцієнт вільного об'єму приміщення  $K_{\text{вільн}} = 95\%$ ;

кратність повітрообміну  $A = 0 \text{ год}^{-1}$ ;

температура повітря максимально можлива  $t_{\text{пов}} = 37 \text{ }^\circ\text{C}$ .

2. Характеристика речовини:

назва – вайт-спірит,  $C_{10,5}H_{21}O$ ;

молекулярна маса  $M = 147$ .

Константи рівняння Антуана розраховані з використанням тиску ацетону, взятого у кПа:  $A = 7,16623$ ;  $B = 2218,3$ ;  $C_a = 275,15$ ;

густина рідини  $\rho_p = 760 - 790 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$ .

Число атомів у молекулі горючої рідини:

вуглецю  $n_c = 10,5$ ;

водню  $n_h = 21$ ;

кисню  $n_o = 0$ ;

галогенів  $n_x = 0$ .

Теплота згоряння за ДСТУ ISO 1928:2006  $H_T = 43966 \text{ кДж} \cdot \text{кг}^{-1}$ .

Максимальний тиск вибуху  $P_{\text{max}} = 900 \text{ кПа}$ .

Нижня концентраційна межа поширення полум'я – 0,7% (об).

Температура спалаху 43 °С (в.т.).

3. Характеристика технологічного блоку:

об'єм каністри  $V = 0,02 \text{ м}^3$ ;

температура рідини 22 °С.

*Розв'язок.* Як розрахунковий варіант аварії приймаємо ситуацію, коли відбулося руйнування (проржавіла) каністри з вайт-спіритом і вайт-спірит розлився по підлозі приміщення.

Надлишковий розрахунковий тиск вибуху визначаємо за формулою (1):

$$\Delta P = (P_{\max} - P_o) \cdot \frac{m \cdot Z}{V_{\text{вільн}} \cdot \rho_{\text{ст}}} \cdot \frac{100}{C_{\text{ст}}} \cdot \frac{1}{K_n},$$

де:  $P_{\max} = 900 \text{ кПа}$ ;

$P_o = 101 \text{ кПа}$ ;

$Z = 0,3$  (таблиця 2 ДСТУ);

$V_{\text{вільн}} = 0,8 \cdot 3,5 \cdot 2,5 \cdot 2,5 = 17,5 \text{ м}^3$ ;

$K_n = 3$

Стехіометричний коефіцієнт кисню у реакції згоряння визначаємо за формулою (4):

$$\beta = n_c + \frac{n_f - n_x}{4} - \frac{n_o}{2} = 10,5 + \frac{21 - 0}{4} - \frac{0}{2} = 15,75$$

Стехіометричну концентрацію парів вайт-спіриту обчислюємо за формулою (3):

$$C_{\text{ст}} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot 15,75} = 1,295 \%$$

Густину пару вайт-спіриту визначаємо за формулою (2):

$$\rho_{\text{ст}} = \frac{147}{22,413 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 37)} = 5,777 \text{ (кг} \cdot \text{м}^{-3}\text{)}$$

Об'єм рідини, який може потрапити у приміщення з бака, дорівнює:

$$V_a = m/\rho = 10 \text{ кг}/790 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3} = 0,0127 \text{ м}^3 = 12,7 \text{ (л)}$$

Така кількість рідини може розлитися на площі 12,7 м<sup>2</sup>.

Інтенсивність випаровування визначаємо за формулою (14):

$$W = 10^{-6} \cdot \eta \cdot \sqrt{M} \cdot P_H$$

Коефіцієнт  $\eta$ , що приймається за таблицю 2, дорівнює 1.

Тиск насиченої пари визначаємо за формулою (16):

$$P_H = 10^{\frac{A - \frac{B}{C_a + t_p}}{}}$$

$$P_H = 10^{\frac{7,13623 - \frac{2218,3}{273,15 + 37}}{}} = 10^{7,13623 - 7,1523} = 10^{-0,016} = \frac{1}{10^{0,016}} = \frac{1}{1,0375} = 0,96 \text{ (кПа)}$$

Інтенсивність випаровування:

$$W = 10^{-6} \cdot 1 \cdot \sqrt{147} \cdot 0,96 = 1,16 \cdot 10^{-7} \text{ (кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}\text{)}$$

Приймаємо розрахункову тривалість випаровування згідно з п. 7.1.2 ДСТУ – 3600 с.

Масу пару вайт-спіриту, що випаровується за розрахунковий час з поверхні розливу, визначаємо за формулою (13):

$$m_p = W \cdot F_v \cdot \tau_{\text{вип.}} = 1,16 \cdot 10^{-7} \cdot 8,5 \cdot 3600 = 3,55 \cdot 10^{-3} \text{ (кг)}$$

Надлишковий тиск вибуху обчислюємо за формулою (1):

$$\Delta P = (900 - 101) \frac{3,55 \cdot 10^{-3} \cdot 0,3 \cdot 100}{17,5 \cdot 5,755 \cdot 1,295 \cdot 3} = 0,217 \text{ (кПа)}$$

**Висновок.** У приміщенні знаходиться легкозаймиста рідина з температурою спалаху, що перевищує 28 °С у такій кількості, що у результаті розрахункової аварії може утворитись пароповітряна суміш, при займанні якої розвивається розрахунковий надлишковий тиск вибуху в приміщенні, значення якого не перевищує 5 кПа. Приміщення не відноситься до вибухонебезпечної категорії Б.

Питома пожежна навантага перевищує 180 МДж м<sup>2</sup>. Складське приміщення згідно з приміткою 2 до таблиці 1 ДСТУ відноситься до категорії В.

#### **6.2.4. Задачі для приміщень з важкогорючими речовинами і для приміщень із наявністю важкогорючих та горючих речовин**

**Приклад 34.** Визначити категорію складського приміщення розмірами 3×3×3 м, у якому знаходяться 50 кг 1,5-нафталіндисульфокислоти у двох мішках по 25 кг, 10 скляних бутлів по 10 л у кожному трихлоретилену, 5 бутлів по 10 л у кожному трихлороцтової кислоти, 5 мішків по 20 кг 2,4,6-трихлорфенілгідразину.

Пожежонебезпечні властивості речовин, які зберігаються на складі.

**1,5-нафталіндисульфокислота**,  $C_{10}H_8O_6S_2$ , важкогорючий кристалічний порошок  $t_{\text{плав}} = 185 \text{ °С}$ ;  $t_{\text{сзайм}}$  відсутня до 600 °С; Снкмз відсутня до концентрації 500 г/м<sup>3</sup>.

**Трихлоретилен**,  $C_2HCl_3$ , важкогорюча рідина. Мол. маса 131,4; густина 1474 кг/м<sup>3</sup>;  $t_{\text{кипін}} = 87,3 \text{ °С}$ ,  $t_{\text{сзайм}} = 380 \text{ °С}$ , у воді нерозчинний.

**Трихлороцтова кислота**,  $C_2HO_2Cl_3$ , важкогорюча рідина. Густина 1565 кг/м<sup>3</sup>,  $t_{\text{кипін}} = 162 \text{ °С}$ ;  $t_{\text{сзайм}} = 711 \text{ °С}$ .

**2,4,6-трихлорфенілгідразин**,  $C_6H_5N_2Cl_3$ , важкогорючий порошок. Вміст основної речовини 99% (мас).  $t_{\text{плав}} = 141 \text{ °С}$ . Дисперсність зразка менше 100 мкм.  $t_{\text{сзайм аерозолу}} = 765 \text{ °С}$ ;  $t_{\text{паління}} = 222 \text{ °С}$ ;  $C_{\text{нкмз}}$  відсутня до концентрації 500 г/м<sup>3</sup>.

**Висновок.** Пожежонебезпечні властивості речовин, які зберігаються на складі, вказують, що вони є важкогорючими. Горючих речовин на складі немає.

Відповідно до примітки 3 таблиці 1 ДСТУ приміщення складу відноситься до категорії Д.

**Приклад 35.** Визначити категорію складського приміщення розмірами

3×3×3 м, у якому знаходяться 5 ящиків з 5 двохлітровими пляшками в кожному ундецилового альдегіду, 5 скляних бутлів по 10 л у кожному 1,2,4-триетилбензолу, 5 бутлів по 10 л у кожному трихлоретилену.

Пожежонебезпечні властивості речовин, які зберігаються на складі.

*1,2,4-триетилбензол*,  $C_{12}H_{18}$ , горюча рідина. Мол. маса 162,28; густина 873,8 кг/м<sup>3</sup> при 20 °C;  $t_{\text{кипін}} = 217$  °C;  $t_{\text{снел}} = 83$  °C; теплота згоряння 6840 кДж/моль.

*Трихлоретилен*,  $C_2HCl_3$ , важкогорюча рідина. Мол. маса 131,4; густина 1474 кг/м<sup>3</sup>;  $t_{\text{кипін}} = 87,3$  °C,  $t_{\text{снел}} = 380$  °C, у воді нерозчинний, теплота згоряння 925 кДж/моль.

*Ундециловий альдегід*,  $C_{11}H_{22}O$ , горюча рідина. Мол. маса 170,3; густина 830 кг/м<sup>3</sup>;  $t_{\text{плавл}} = -4$  °C;  $t_{\text{кипін}} = 117$  °C при 2,4 кПа;  $t_{\text{снел}} = 113$  °C; теплота згоряння 2072,7 кДж/моль.

На складі зберігаються разом горючі й важкогорючі речовини. Відповідно до примітки 3 таблиці 1 ДСТУ в даному випадку для визначення категорії складського приміщення враховуються горючі й важкогорючі речовини.

Перерахуємо теплоту згоряння із кДж/моль в кДж/кг:

$$\text{1,2,4-триетилбензол } H = \frac{6840 \cdot 1000}{162,28} = 42149 \text{ кДж/кг} = 42,149 \text{ (МДж/кг)}$$

$$\text{Трихлоретилен } H = \frac{925 \cdot 1000}{131,4} = 7040 \text{ кДж/кг} = 7,04 \text{ (МДж/кг)}$$

$$\text{Ундециловий альдегід } H = \frac{2072,7 \cdot 1000}{170,3} = 12171 \text{ кДж/кг} = 12,171 \text{ (МДж/кг)}$$

*Пожежна навантага, яку створює 1,2,4-триетилбензол*

Маса 1,2,4-триетилбензолу становить: 50 л × 873,8 кг/м<sup>3</sup> = 0,05 м<sup>3</sup> × 873,8 кг/м<sup>3</sup> = 43,69 (кг).

Теплота згоряння (пожежна навантага) 43,69 кг 1,2,4-триетилбензолу становить:

$$43,69 \text{ кг} \times 42,149 \text{ МДж/кг} = 1841,5 \text{ (МДж)}$$

*Пожежна навантага, яку створює трихлоретилен*

Маса трихлоретилену становить: 50 л × 1474 кг/м<sup>3</sup> = 0,05 м<sup>3</sup> × 1474 кг/м<sup>3</sup> = 73,7 (кг).

Теплота згоряння (пожежна навантага) 73,7 кг триетилбензолу становить:

$$73,7 \text{ кг} \times 7,04 \text{ МДж/кг} = 518,85 \text{ (МДж)}$$

*Пожежна навантага, яку створює ундециловий альдегід*

Маса ундецилового альдегіду становить: 50 л × 830 кг/м<sup>3</sup> = 0,05 м<sup>3</sup> × 830 кг/м<sup>3</sup> = 41,5 (кг).

Теплота згоряння (пожежна навантага) 20,75 кг ундецилового альдегіду становить:

$$41,5 \text{ кг} \times 12,171 \text{ МДж/кг} = 505,1 \text{ (МДж)}$$

Сумарна пожежна навантага горючих і важкогорючих речовин складає:

$$H = 1841,5 + 518,85 + 505,1 = 2865,45 \text{ (МДж)}$$

Питома пожежна навантага становить:  $g_T = \frac{Q}{S} = \frac{2865,45}{9} = 318,38 \text{ (МДж/м}^2\text{)}.$

*Висновок.* На складі зберігаються горючі й важкогорючі речовини. Питома пожежна навантага перевищує значення 180 МДж/кг.

Відповідно до таблиці 1 ДСТУ приміщення складу відноситься до категорії В.

## **7. ОСОБЛИВОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ КАТЕГОРІЇ ВИРОБНИЧИХ БУДИНКІВ ТА ОКРЕМИХ ПРОТИПОЖЕЖНИХ ВІДСІКІВ ЗА ВИБУХОПОЖЕЖНОЮ І ПОЖЕЖНОЮ НЕБЕЗПЕКОЮ**

### **7.1. Особливості визначення категорії виробничих будинків та окремих протипожежних відсіків**

В окремих випадках за вибухопожежною та пожежною небезпекою категорують не увесь будинок, а протипожежні відсіки, які є частинами будинку відповідно до ДБН В.1.1-7, та які відокремлені протипожежною стіною 1-го типу відповідно до ДБН В.1.1-7.

Будинок або протипожежний відсік відноситься до категорії А, якщо в ньому сумарний об'єм приміщень категорії А перевищує 5% загального об'єму будинку або протипожежного відсіку.

Будинок або протипожежний відсік відноситься до категорії Б, якщо одночасно виконуються дві умови:

будинок або протипожежний відсік не відноситься до категорії А;

сумарний об'єм приміщень категорій А і Б перевищує 5% загального об'єму будинку або протипожежного відсіку.

Будинок або протипожежний відсік відноситься до категорії В, якщо одночасно виконуються дві умови:

будинок або протипожежний відсік не відноситься до категорії А або Б;

сумарний об'єм приміщень категорій А, Б і В перевищує 5% (10%, якщо в будинку або протипожежному відсіку відсутні приміщення категорій А і Б) загального об'єму будинку або протипожежного відсіку.

Будинок або протипожежний відсік відноситься до категорії Г, якщо одночасно виконуються 2 умови:

будинок або протипожежний відсік не відноситься до категорій А, Б або В;

сумарний об'єм приміщень категорій А, Б, В і Г перевищує 5% загального об'єму будинку або протипожежного відсіку.

Будинок або протипожежний відсік відноситься до категорії Д, якщо він не відноситься до категорій А, Б, В або Г.

## **7.2. Приклади розрахунку категорій виробничих будинків та окремих протипожежних відсіків за вибухопожежною і пожежною небезпекою**

**Приклад 36.** Визначити категорію виробничого будинку.

**Вихідні дані для визначення категорії будинку**

Промисловий двоповерховий будинок. Загальна площа приміщень будинку  $F = 15000 \text{ м}^2$ . Висота поверху – 4 м. Загальний об'єм будинку –  $60000 \text{ м}^3$ . У будинку відсутні приміщення категорій А і Б. Об'єм приміщень категорії В становить  $32000 \text{ м}^3$ .

**Розв'язок**

Сумарний об'єм приміщень категорій В становить 53,3%, що значно перевищує 10%.

**Висновок.** Згідно з ДСТУ будинок або протипожежний відсік відноситься до категорії В, якщо одночасно виконуються дві умови:

будинок або протипожежний відсік не відносять до категорій А або Б;

сумарний об'єм приміщень категорій В перевищує 10% (якщо в будинку відсутні приміщення категорій А і Б) загального об'єму будинку або протипожежного відсіку.

**Висновок.** Зважаючи на вищенаведене, будинок відноситься до категорії В.

**Приклад 37.** Визначити категорію виробничого будинку.

**Вихідні дані для визначення категорії будинку**

Виробничий двоповерховий будинок. Загальна площа приміщень будинку  $F = 20000 \text{ м}^2$ . Загальний об'єм приміщень становить  $80000 \text{ м}^3$ . Об'єм приміщень категорій А і Б становить  $3600 \text{ м}^3$ , категорії В –  $16000 \text{ м}^3$ . Сумарний об'єм приміщень категорій А, Б і В становить  $19600 \text{ м}^3$ .

**Розв'язок**

Сумарний об'єм приміщень категорій А і Б становить  $3600 \text{ м}^3$  або у відсотках 4,5% від загального об'єму приміщень, що не перевищує 5%. Зважаючи на це, за ДСТУ будинок не відноситься до категорій А чи Б.

Сумарний об'єм приміщень категорій А, Б і В становить  $19600 \text{ м}^3$ , що складає 24,5% і перевищує 5% від загального об'єму.

**Висновок.** Зважаючи на це, за ДСТУ будинок відноситься до категорії В.

**Приклад 38.** Визначити категорію виробничого будинку.

**Вихідні дані для визначення категорії будинку**

Виробничий двоповерховий будинок. Загальний об'єм приміщень будинку становить  $60000 \text{ м}^3$ . Об'єм приміщень категорії А складає  $3200 \text{ м}^3$ , категорії Б –  $2400 \text{ м}^3$ . Загальний об'єм приміщень будинку категорій А і Б становить  $5600 \text{ м}^3$ .

**Розв'язок**

Об'єм приміщень категорії А становить  $3200 \text{ м}^3$ , що складає 5,33% від загального об'єму приміщень у будинку.

**Висновок.** Об'єм приміщень категорії А становить 5,33%, що перевищує 5% за ДСТУ. Зважаючи на це, будинок відноситься до категорії А.



## **8. ОСНОВНІ ПІДХОДИ ДО РОЗРАХУНКУ КАТЕГОРІЇ ЗОВНІШНІХ УСТАНОВОК ЗА ВИБУХОПОЖЕЖНОЮ ТА ПОЖЕЖНОЮ НЕБЕЗПЕКОЮ**

### **8.1. Основні підходи до питання про визначення категорій зовнішніх установок за вибухопожежною і пожежною небезпекою**

За вибухопожежною та пожежною небезпекою зовнішні установки поділяють на категорії  $A_z$ ,  $B_z$ ,  $V_z$ ,  $G_z$  та  $D_z$ .

Під час розрахунку значень критеріїв за вибухопожежною та пожежною небезпекою зовнішніх установок як розрахунковий слід вибирати найнесприятливіший варіант аварії або період нормальної роботи апаратів, за якого у вибусі і/або горінні бере участь найбільша кількість речовин і/або матеріалів, найнебезпечніших щодо наслідків такого вибуху і/або горіння.

Кількість речовин, які потрапили до навколишнього простору і які можуть утворювати вибухонебезпечні газо-, пароповітряні суміші, визначаються, виходячи з таких передумов:

а) відбувається розрахункова аварія одного з апаратів відповідно до вищенаведеного;

б) увесь вміст апарата потрапляє до навколишнього простору;

в) відбувається одночасно витікання речовин із трубопроводів, які живлять апарат за прямим і зворотним потоками протягом проміжку часу, який необхідний для перекривання трубопроводів.

Розрахунковий час перекривання трубопроводів визначається у кожному конкретному випадку, виходячи з реальної обстановки, і має бути мінімальним з урахуванням паспортних даних на запірні пристрої, характеру технологічного процесу та виду розрахункової аварії.

Розрахунковий час перекривання трубопроводів слід приймати таким, що дорівнює:

– часу спрацювання (приведення в дію) системи автоматики відключення (перекривання) трубопроводів згідно з паспортними даними установки, якщо ймовірність відмови системи автоматики не перевищує  $10^{-6}$  на рік або забезпечується резервування її елементів;

– 120 с, якщо ймовірність відмови системи автоматики перевищує  $10^{-6}$  на рік та у системі автоматики не забезпечується резервування її елементів;

– 300 с, у разі ручного перекривання.

Не допускається використання технічних засобів для перекривання трубопроводів, для яких час перекривання перевищує наведені вище значення.

Швидкодіючі клапани-відсікачі мають автоматично перекривати подавання газу (рідини) у разі порушення електропостачання або спрацювання автоматичної пожежної сигналізації;

г) відбувається випаровування з поверхні рідини, що розлилася із зовнішньої установки; площа випаровування у разі розливу на горизонтальну поверх-

ню визначається (за відсутності довідникових або експериментальних даних), виходячи з розрахунку, що 1 л сумішей та розчинів, які містять 70% і менше (за масою) розчинників, розливається на площі 0,1 м<sup>2</sup>, а інших рідин – на 0,15 м<sup>2</sup>;

д) тривалість випаровування рідини приймається рівною часу її повного випаровування, але не більше 3600 с.

Категорії зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою приймають відповідно до таблиці 14.

Визначення категорій зовнішніх установок слід здійснювати шляхом послідовної перевірки їхньої належності до категорій, які наведені у таблиці 14, від найбільш вибухопожежонебезпечної категорії Аз до найменш небезпечної категорії Дз. У таблиці 14 критеріями, за якими зовнішня установка відноситься до певної категорії, є горизонтальний розмір зони (відстань від апарата (установки) до краю зони), що обмежує газо-, пароповітряні суміші з концентрацією горючої речовини вище нижньої концентраційної межі поширення полум'я ( $C_{нкмл}$ ), розрахунковий надлишковий тиск, що розвивається у разі займання газо-, паро- або пилоповітряних сумішей, та інтенсивність теплового випромінювання від вогнища пожежі.

Таблиця 14 – Категорії зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою

Категорія зовнішньої установки	Критерії віднесення зовнішньої установки до тієї або іншої категорії за вибухопожежною та пожежною небезпекою
1	2
А <sub>з</sub> Вибухопожежонебезпечна	Установка відноситься до категорії А <sub>з</sub> , якщо в ній знаходяться (обертаються) горючі гази; легкозаймисті рідини з температурою спалаху не вище 28 °С; речовини і/або матеріали, які здатні вибухати і горіти під час взаємодії з водою, киснем повітря і/або один з одним. При цьому горизонтальний розмір зони, що обмежує газо-, пароповітряні суміші із концентрацією горючої речовини вище нижньої концентраційної межі поширення полум'я ( $C_{нкмл}$ ), перевищує 30 м (даний критерій застосовується тільки для горючих газів і парів) і/або розрахунковий надлишковий тиск вибуху, що розвивається в разі займання газо-, пароповітряних сумішей, і/або під час вибуху речовин і/або матеріалів, які здатні вибухати і горіти під час взаємодії з водою, киснем повітря і/або один з одним, перевищує 5 кПа на відстані 30 м від зовнішньої установки
Б <sub>з</sub> Вибухопожежонебезпечна	Установка відноситься до категорії Б <sub>з</sub> , якщо в ній знаходяться (обертаються) горючі пил і/або волокна; легкозаймисті рідини з температурою спалаху вище 28 °С; горючі рідини. При цьому горизонтальний розмір зони, що обмежує пароповітряні суміші із концентрацією горючої речовини вище нижньої концентраційної межі поширення полум'я ( $C_{нкмл}$ ), перевищує 30 м (даний критерій застосовується тільки

1	2
	для горючих парів) і/або розрахунковий надлишковий тиск вибуху, що розвивається у разі займання пило-, пароповітряних сумішей, перевищує 5 кПа на відстані 30 м від зовнішньої установки
$B_3$ Пожежоне- безпечна	Установка відноситься до категорії $B_3$ , якщо в ній знаходяться (обертаються) горючі гази, легкозаймисті, горючі і/або важкогорючі рідини, тверді горючі і/або важкогорючі речовини і/або матеріали (включно з горючими пилом і/або волокнами), а також речовини і/або матеріали, які здатні вибухати і горіти або тільки горіти під час взаємодії з водою, киснем повітря і/або один з одним, за умови, що установка не відноситься до категорії $A_3$ або $B_3$ . При цьому інтенсивність теплового випромінювання від вогнища пожежі перевищує $4 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2}$ на відстані 30 м від зовнішньої установки
$\Gamma_3$	Установка відноситься до категорії $\Gamma_3$ , якщо в ній знаходяться (обертаються) негорючі речовини і/або матеріали у гарячому, розпеченому і/або розплавленому стані, процес обробки яких супроводжується виділенням променистого тепла, утворенням іскор і/або полум'я, а також горючі гази, рідини і/або тверді речовини, які спалюються або утилізуються як паливо
$D_3$	Установка відноситься до категорії $D_3$ , якщо вона не відноситься до категорій $A_3$ , $B_3$ , $V_3$ або $\Gamma_3$ .

## 8.2. Приклади розрахунку категорії зовнішніх установок за вибухопожежною і пожежною небезпекою для горючих газів та парів легкозаймистих рідин

**Приклад 39.** Визначити категорію зовнішньої установки для зберігання зрідженого газу (пропан-бутан) на АЗС.

Об'єм зовнішньої установки (резервуару)  $10 \text{ м}^3$ . В установці зберігається й використовується для заправлення автотранспорту зріджених пропан-бутан. Співвідношення між пропаном і бутаном залежить від пори року та може коливатись у певних межах. Для розрахунків візьмемо два варіанти: зимова суміш із вмістом 80% (мас) пропану і 20% (мас) бутану та літня суміш із вмістом 40% (мас) пропану і 60% (мас) бутану. Максимальне заповнення зрідженим газом об'єму резервуару становить 90%.

*Вихідні дані для визначення категорії зовнішньої установки*

1. Характеристика речовини:

назва – пропан,  $C_3H_8$ ; бутан,  $C_4H_{10}$ ;

молекулярна маса пропану  $M = 44,096$ ;

молекулярна маса бутану  $M = 58,123$ .

Теплота згоряння:

для пропану  $H_T = 2044 \text{ кДж} \cdot \text{моль}^{-1}$ ;

для бутану  $H_T = 2657 \text{ кДж} \cdot \text{моль}^{-1}$ .

Нижня концентраційна межа займання:

пропану  $C_{\text{нжм}} = 2,3\% \text{ (об)}$ ;

бутану  $C_{\text{нжм}} = 1,8\% \text{ (об)}$ .

Густину зрідженої літньої і зимньої суміші газів приймаємо  $560 \text{ кг/м}^3$ .

2. Характеристика технологічного блоку:

об'єм резервуару  $V = 10 \text{ м}^3$ ;

температура газу  $t_{\text{роб}} = 37^\circ\text{C}$ ;

маса зрідженого газу в резервуарі,  $m = 10 \cdot 0,9 \cdot 560 = 5040 \text{ кг}$ .

### Розв'язок

Для визначення надлишкового тиску вибуху в якості розрахункового варіанта аварії приймається розгерметизація резервуару з пропан-бутаном з наступним виходом газу із резервуару й утворенням газоповітряної вибухо-небезпечної суміші.

Величину розрахункового надлишкового тиску  $\Delta P$ , кПа, що розвивається у разі займання газоповітряної суміші, визначаємо за формулою:

$$\Delta = P_o \left( \frac{0,8m_{\text{np}}^{0,33}}{r_3} + \frac{3m_{\text{np}}^{0,66}}{r_3^2} + \frac{5m_{\text{np}}}{r_3^3} \right)$$

Приведену масу горючого газу обчислюємо за формулою :

$$m_{\text{np}} = \left( \frac{H_T}{H_o} \right) \cdot m \cdot Z_1,$$

де:  $Z_1$  приймаємо рівним 0,1.

Маса горючого газу  $m$ , кг, що потрапив до навколишнього простору під час розрахункової аварії, дорівнює максимально можливій масі газу в резервуарі та становить  $5040 \text{ кг}$

Теплота згоряння для пропану і бутану різна, різне й співвідношення пропану і бутану в літній та зимовій суміші газів. Тому розрахуємо сумарну теплоту згоряння для літньої і зимової суміші газів.

Перерахуємо теплоту згоряння із кДж/моль в кДж/кг.

$$\text{Пропан: } H_T = \frac{2044 \cdot 1000}{44,096} = 46,353 \cdot 10^3 \text{ (кДж/кг)}$$

$$\text{Бутан: } H_T = \frac{2657 \cdot 1000}{58,123} = 45,713 \cdot 10^3 \text{ (кДж/кг)}$$

Визначаємо масу пропану і бутану в літній і зимовій суміші газів:

$$m_{\text{проп. літ.}} = 0,4 \cdot 5040 = 2016 \text{ кг};$$

$$m_{\text{бут. літ.}} = 0,6 \cdot 5040 = 3024 \text{ кг}$$

$$m_{\text{проп. зим.}} = 0,8 \cdot 5040 = 4032 \text{ (кг)};$$

$$m_{\text{бут. зим.}} = 0,2 \cdot 5040 = 1008 \text{ (кг)}$$

Визначаємо приведену масу пропану і бутану у літній і зимовій сумішах газів:

$$m_{\text{пр. проп. літня}} = \frac{46353}{4520} \cdot 2016 \cdot 0,1 = 2067,426$$

$$m_{\text{пр. бут. літня}} = \frac{45713}{4520} \cdot 3024 \cdot 0,1 = 3058,321$$

$$m_{\text{пр. проп. зимня}} = \frac{46353}{4520} \cdot 4032 \cdot 0,1 = 4134,852$$

$$m_{\text{пр. бут. зимня}} = \frac{45713}{4520} \cdot 1008 \cdot 0,1 = 1019,440$$

Визначаємо приведену масу для літньої суміші газів як суму мас, приведених пропану і бутану в літній суміші:

$$m_{\text{пр. літ.}} = 2067,426 + 3058,321 = 5125,747 = 5125,7$$

Визначаємо приведену масу для зимової суміші газів як суму мас, приведених пропану і бутану у зимовій суміші:

$$m_{\text{пр. зим.}} = 4134,852 + 1019,440 = 5154,292 = 5154,3$$

Розрахунковий надлишковий тиск вибуху літньої суміші газу на віддалі 30 м від установки:

$$\Delta P = 101 \cdot \left( \frac{0,8 \cdot 5125,7^{0,33}}{30} + \frac{3 \cdot 5125,7^{0,66}}{30^2} + \frac{5 \cdot 5125,7}{30^3} \right) = 235,2 \text{ (кПа)}$$

Розрахунковий надлишковий тиск вибуху зимової суміші газу на віддалі 30 м від установки:

$$\Delta P = 101 \cdot \left( \frac{0,8 \cdot 5154,3^{0,33}}{30} + \frac{3 \cdot 5154,3^{0,66}}{30^2} + \frac{5 \cdot 5154,3}{30^3} \right) = 236,5 \text{ (кПа)}$$

Значення нижньої концентраційної межі займання для суміші пропану й бутану приймаємо як середньоарифметичне для пропану і бутану:

$$C_{\text{нкмт суміші}} = \frac{2,3 + 1,8}{2} = 2,05\% \text{ (об)}$$

Густина газу визначаємо за формулою:

$$\rho_i = \frac{M}{22,413 \cdot (1 + 0,00367 \cdot t)} \text{ (кг/м}^3\text{)}$$

Температуру приймаємо максимально можливу для Києва – 37 °С.

Розраховуємо густину пропану:

$$\rho_{\text{проп.}} = \frac{44,096}{22,413(1 + 0,00367 \cdot 37)} = 1,732 \text{ (кг/м}^3\text{)}$$

Розраховуємо густину бутану:

$$\rho_{\text{бут.}} = \frac{58,123}{22,413 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 37)} = 2,283 \text{ (кг/м}^3\text{)}$$

Розраховуємо густину літньої суміші газів:

$$\rho_{\text{суміш}} = 1,732 \cdot 0,4 + 2,238 \cdot 0,6 = 2,063 \text{ (кг/м}^3\text{)}$$

Розраховуємо густину зимової суміші газів:

$$\rho_{\text{суміш}} = 1,732 \cdot 0,8 + 2,238 \cdot 0,2 = 1,833 \text{ (кг/м}^3\text{)}$$

Горизонтальний розмір зони  $R_{\text{нкмт}}$ , м, який обмежує область концентрацій, що перевищують нижню концентраційну межу займання  $C_{\text{нкмт}}$  для літньої суміші газів, обчислюють за формулою:

$$R_{\text{нкмт}} = 14,5632 \cdot \left( \frac{m_2}{\rho_2 \cdot C_{\text{нкмт}}} \right)^{0,333} = 14,5632 \cdot \left( \frac{5040}{2,063 \cdot 2,05} \right)^{0,333} = 142,07 \text{ (м)}$$

Горизонтальний розмір зони  $R_{\text{нкмт}}$ , м, який обмежує область концентрацій, що перевищують нижню концентраційну межу займання  $C_{\text{нкмт}}$  для зимової суміші газів, розраховують за формулою:

$$R_{\text{нкмт}} = 14,5632 \cdot \left( \frac{m_2}{\rho_2 \cdot C_{\text{нкмт}}} \right)^{0,333} = 14,5632 \cdot \left( \frac{5040}{1,833 \cdot 2,05} \right)^{0,333} = 160,22 \text{ (м)}$$

Імпульс хвилі тиску  $i$ , Па·с, на відстані 30 м від установки для літньої суміші газів, обчислюємо за формулою:

$$i = 123 \cdot \frac{m_{\text{пр}}^{0,66}}{r} = 123 \cdot 5125,7^{0,66} / 30 = 1151,4 \text{ (Па} \cdot \text{с)}$$

Імпульс хвилі тиску  $i$ , Па·с, на відстані 30 м від установки для зимової суміші газів, вираховуємо за формулою:

$$i = 123 \cdot \frac{m_{\text{пр}}^{0,66}}{r} = 123 \cdot 5154,3^{0,66} / 30 = 1155,6 \text{ (Па} \cdot \text{с)}$$

**Висновок.** Зовнішня установка для зберігання суміші газів пропану і бутану, які використовуються для заправки автомобілів, об'ємом 10 м<sup>3</sup> за показниками надлишкового тиску вибуху і горизонтальним розміром зони  $R_{\text{нкмт}}$ , м, який обмежує область концентрацій, що перевищують нижню концентраційну межу займання  $C_{\text{нкмт}}$ , відноситься до категорії А<sub>3</sub>.

**Приклад 40.** Визначити категорію зовнішньої установки, у якій знаходиться резервуар з метаном об'ємом 20 м<sup>3</sup> з підвідним трубопроводом внутрішнім діаметром 80 мм, довжиною до засувки 5 м, відвідним трубопроводом з внутрішнім діаметром 80 мм, довжиною до засувки 3 м. Тиск у системі 7 атм. Продуктивність компресора  $q = 0,2 \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$ . Температура повітря і газу 30 °С. Відключення трубопроводів автоматичне, забезпечено резервування елементів автоматики.

*Вихідні дані для визначення категорії зовнішньої установки*

1. Характеристика речовини:

Назва – метан;

молекулярна маса  $M = 16$ .

Число атомів у молекулі горючої речовини:

вуглецю  $n_c = 1$ ;

водню  $n_h = 4$ ;

кисню  $n_o = 0$ ;

галонів  $n_x = 0$ .

Нижня концентраційна межа поширення полум'я у повітрі  $C_{\text{нхст}} = 5,28\%$  (об).

Максимальний тиск вибуху  $P_{\text{max}} = 720$  кПа.

Теплота згоряння за ДСТУ ISO 1928:2006  $H_m = 50125$  кДж·кг<sup>-1</sup>.

2. Характеристика технологічного блоку:

Об'єм апарату  $V = 20$  м<sup>3</sup>;

робочий тиск у апараті  $P_p = 707$  кПа;

температура газу в апараті  $t_{\text{роб}} = 30$  °С;

продуктивність (подача) компресора  $q = 0,2$  м<sup>3</sup>·с<sup>-1</sup>.

Підвідний трубопровід:

довжина  $L_1 = 5$  м;

радіус  $r_1 = 0,04$  м.

Відвідний трубопровід:

довжина  $L_2 = 3$  м;

радіус  $r_2 = 0,04$  м.

Тривалість відключення трубопроводів  $\tau_T = 3$  с.

*Розв'язок*

Для визначення надлишкового тиску вибуху в якості розрахункового варіанта аварії приймається розгерметизація резервуару з метаном з наступним виходом газу із резервуару і трубопроводів та утворенням газоповітряної вибухонебезпечної суміші.

Величину розрахункового надлишкового тиску  $\Delta P$ , кПа, що розвивається у разі займання газоповітряної суміші, визначаємо за формулою (40):

$$\Delta P = P_o \left( \frac{0,8m_{np}^{0,33}}{r_3} + \frac{3m_{np}^{0,66}}{r_3^2} + \frac{5m_{np}}{r_3^3} \right)$$

Приведену масу горючого газу визначаємо за формулою (41):

$$m_{np} = (Q_{32}/Q_0) \cdot m \cdot Z,$$

де:  $Z$  приймаємо рівним 0,1.

Масу горючого газу  $m$ , кг, що потрапив до навколишнього простору під час розрахункової аварії, обчислюємо за формулою (7):

$$m = V_{6a} \cdot \rho_z = (V_a + V_T) \cdot \rho_z.$$

Об'єм газу, що виходить з апарату, визначаємо за формулою (8):

$$V_a = 0,01 \cdot P_p \cdot V = 0,01 \cdot 707 \cdot 20 = 141,4 \text{ (м}^3\text{)}$$

Об'єм газу, що виходить із трубопроводів, розраховуємо за формулою (9):

$$V = V_{IT} + V_{2T}$$

Об'єм газу, що виходить із трубопроводу до його відключення, визначаємо за формулою (10):

$$V_{IT} = q \cdot \tau_n$$

За 3 с (час відключення трубопроводів) у навколишній простір надійде газу:

$$V_{IT} = q \cdot \tau_n = 0,2 \cdot 3 = 0,6 \text{ м}^3$$

Об'єм газу, що надійде у приміщення після відключення трубопроводів:

$$V_{2T} = 0,01 \cdot \pi \cdot P_p \cdot r^2 (L_1 + L_2) = 0,01 \cdot 3,14 \cdot 707 \cdot 0,04^2 \cdot (5 + 3) = 0,284 \text{ м}^3$$

$$V_T = V_{IT} + V_{2T} = 0,6 + 0,284 = 0,884 \text{ м}^3$$

Густина газу визначаємо за формулою (2):

$$\rho_z = \frac{16}{22,413(1 + 0,00367 \cdot 30)} = 0,643 \text{ кг/м}^3$$

Масу газу, що вийде з блоку в результаті аварії, вираховуємо за формулою (7):

$$m = (V_a + V_T) \cdot \rho_z = (141,4 + 0,884) \cdot 0,643 = 91,9 \text{ кг}$$

Приведена маса горючого газу:

$$m_{np} = \frac{50125}{4520} \cdot 91,5 \cdot 0,1 = 101,9 \text{ кг}$$

Розрахунковий надлишковий тиск вибуху на віддалі 30 м від установки:

$$\Delta P = 101 \cdot \left( \frac{0,8 \cdot 101,9^{0,33}}{30} + \frac{3 \cdot 101,9^{0,66}}{30^2} + \frac{5 \cdot 101,9}{30^3} \right) = 21,3 \text{ (кПа)}$$

Горизонтальний розмір зони  $R_{нкмп}$ , м, який обмежує область концентрацій, що перевищують нижню концентраційну межу займання  $C_{нкмп}$ , обчислюють за формулою (38):

$$R_{нкмп} = 14,5632 \cdot \left( \frac{m_z}{\rho_z \cdot C_{нкмп}} \right)^{0,333} = 14,5632 \cdot \left( \frac{91,5}{0,643 \cdot 5,28} \right)^{0,333} = 43,6 \text{ м}$$

Імпульс хвилі тиску  $i$ , Па·с, на відстані 30 м від установки обчислюємо за формулою:

$$i = 123 \cdot \frac{m_{np}^{0,66}}{r} = 123 \cdot 101,9^{0,66} / 30 = 86,7 \text{ (Па} \cdot \text{с)}$$

**Висновок.** Горизонтальний розмір зони, що обмежує область газоповітряної суміші з концентрацією горючої речовини вище нижньої концентраційної межі займання ( $C_{нкмп}$ ), перевищує 30 м; розрахунковий надлишковий тиск вибуху газоповітряної суміші на віддалі 30 м від зовнішньої установки перевищує 5 кПа. Тому установка відноситься до вибухопожежонебезпечної категорії Аз.

**Приклад 41.** Визначити, до якої категорії відноситься зовнішня установка, яка складається з резервуару з бензолом, об'ємом 3 м<sup>3</sup>. Ступінь заповнення 0,85. Крім того, до складу установки входять насос, вхідний (напірний) і вихідний трубопроводи. Температура рідини 25 °С.

*Вихідні дані для визначення категорії зовнішньої установки*



### 1. Характеристика речовини:

Назва – бензол,  $C_6H_6$ ;

молекулярна маса  $M = 78,11$  кг·кмоль<sup>-1</sup>;

нижня концентраційна межа поширення  $C_{нкмт} = 1,4\%$  (об);

максимальний тиск вибуху  $P_{max} = 882$  кПа;

густина рідини  $\rho_p = 873,68$  кг·м<sup>-3</sup>.

Константи Антуана визначаються з використанням тиску парів рідин, за різних температур, взятого в кПа:  $A = 5,61391$ ;  $B = 902,275$ ;  $C_a = 178,099$ .

Число атомів у молекулі горючої рідини:

$n_c = 6, n_n = 6, n_o = 0, n_x = 0$ .

Теплота згоряння за ДСТУ ISO 1928:2006  $H_m = 40576$  кДж·кг<sup>-1</sup>.

Температура рідини  $t_{op} = 25^\circ\text{C}$ .

Температура повітря  $t_{on} = 25^\circ\text{C}$ .

### Розв'язок

Для визначення надлишкового тиску вибуху в якості розрахункового варіанта приймається розгерметизація резервуару з бензолом, виливання бензолу на майданчик і наступне його випаровування. Об'єм бензолу, що може витекти з трубопроводів, у розрахунку не береться (не враховується).

Величину розрахункового надлишкового тиску  $\Delta P$ , кПа, що розвивається у разі займання пароповітряної суміші, розраховуємо за формулою (40):

$$\Delta P = P_o \left( \frac{0,8m_{np}^{0,33}}{r} + \frac{3m_{np}^{0,66}}{r^2} + \frac{5m_{np}}{r^3} \right)$$

Приведену масу пари бензолу визначаємо за формулою (41):

$$m_{np} = (Q_{32}/Q_0) \cdot m \cdot Z,$$

де:  $Z$  приймаємо рівним 0,1.

Масу пари бензолу, що випарується до навколишнього простору, обчислюємо за формулою (13):

$$m = W \cdot F_g \cdot \tau_g.$$

Об'єм бензолу, що знаходиться у резервуарі та виливається у результаті аварії на технологічний майданчик установки, становить:

$$V_6 = V_a \cdot \varepsilon = 3 \cdot 0,85 = 2,55 \text{ м}^3 = 2550 \text{ л.}$$

Згідно з ДСТУ 1 л рідини розливається на площі 0,15 м<sup>2</sup>. Площа розливу (випаровування) становить:

$$F_g = 2550 \cdot 0,15 = 382,5 \text{ м}^2.$$

Тиск насиченої пари визначаємо за формулою (16):

$$P_n = 10^{A - \frac{B}{C_a + t_p}} = 10^{5,61391 - \frac{902,275}{178,099 + 25}} = 15,04 \text{ (кПа)}$$

Інтенсивність випаровування вираховуємо за формулою (14):

$$W = 10^{-6} \cdot \sqrt{M} \cdot P_n \cdot \text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}.$$

$$W = 10^{-6} \cdot \sqrt{78,11 \cdot 15,04} = 1,329 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}.$$

Тривалість випаровування приймаємо 3600 с.

Маса пари бензолу, що утворилася при випаровуванні бензолу, за формулою (13) становить:

$$m = W \cdot F_g \cdot \tau_g = 1,329 \cdot 10^{-4} \cdot 382,5 \cdot 3600 = 183 \text{ (кг.)}$$

Приведена маса бензолу за формулою (41):

$$m_{пр} = (Q_{32}/Q_0) \cdot m \cdot Z = \frac{40576}{4520} \cdot 183 \cdot 0,1 = 164,286 \text{ (кг.)}$$

Величина розрахункового надлишкового тиску на віддалі 30 м від установки:

$$\Delta P = 101 \left( \frac{0,8 \cdot 164,286^{0,33}}{30} + \frac{3 \cdot 164,286^{0,66}}{30^2} + \frac{5 \cdot 164,286}{30^3} \right) = 27,34 \text{ (кПа)}$$

Густина пару бензолу при температурі 25°C:

$$\rho_{z,n} = \frac{78,11}{22,413(1 + 0,00367 \cdot 25)} = 3,166$$

Горизонтальний розмір зони, що обмежує область газоповітряної суміш із концентрацією горючої речовини вище нижньої концентраційної межі займання ( $C_{нкмл}$ ), не нагрітої вище температури навколишнього середовища обчислюємо за формулою (39):

$$R_{нкмл} = 3,1501 \cdot \sqrt{K_g} \left( \frac{P_n}{C_{нкмл}} \right)^{0,813} \cdot \left( \frac{m}{\rho_n \cdot P_n} \right)^{0,333} = 3,1501 \cdot 1 \cdot \left( \frac{15,04}{1,43} \right)^{0,813} \cdot \left( \frac{183}{3,166 \cdot 15,04} \right)^{0,333} = 33,4 \text{ (м)}$$

**Висновок.** Надлишковий тиск вибуху на відстані 30 м від установки перевищує 5 кПа. Зовнішня установка відноситься до вибухопожежонебезпечної категорії  $A_3$ .

**Приклад 42.** Визначити, до якої категорії відноситься спиртосховище відкритого типу, що розташовано у прямку площею  $4 \times 5$  м. Об'єм резервуару зі спиртом  $2,1 \text{ м}^3$ . У спиртосховищі знаходиться етиловий технічний спирт, вироблений з нафтопродуктів в результаті кислотного гідролізу. Ступінь заповнення резервуару 95%. Температура рідини  $35^\circ\text{C}$  (середня максимальна температура в літній період). Проектом прийнято площу огороження резервуару  $20 \text{ м}^2$ . Тривалість випаровування рідини приймається рівною часу її повного випаровування, але не більше 3600 с.

#### Розв'язок

Для визначення надлишкового тиску вибуху в якості розрахункового варіанта приймається розгерметизація резервуару зі спиртом, виливання спирту на майданчик і наступне його випаровування. З урахуванням прийнятого проектного рішення: обмежено площу розтікання спирту, площа випаровування складає  $F_g = 20 \text{ м}^2$ .

Вихідні дані для визначення категорії зовнішньої установки

1. Характеристика речовини:

Назва – спирт етиловий,  $C_2H_5OH$ ;

молекулярна маса  $M = 46,07$  кг/кмоль;

нижня концентраційна межа поширення полум'я  $C_{нкмл} = 3,6\%$  (об).

Константи Антуана взяті для розрахунку тиску насичених парів у кПа:

$A = 7,81$ ;  $B = 1918,51$ ;  $C = 252,12$ .

Теплота згоряння  $H_m = 30,56 \cdot 10^6$  Дж/кг.

Температура рідини  $t_p^o = 35^\circ C$ .

Величину розрахункового надлишкового тиску  $\Delta P$ , кПа, що розвивається у разі займання пароповітряної суміші, визначаємо за формулою (40):

$$\Delta P = P_o \left( \frac{0,8m_{np}^{0,33}}{r} + \frac{3m_{np}^{0,66}}{r^2} + \frac{5m_{np}}{r^3} \right)$$

Приведену масу пари спирту обчислюємо за формулою (41):

$$m_{np} = (Q_{зг}/Q_0) \cdot m \cdot Z,$$

де:  $Z$  приймаємо рівним 0,1.

Масу пари спирту, що випарується до навколишнього простору, розраховуємо за формулою (13):

$$m = W \cdot F_g \cdot \tau_g$$

Площа розливу (випаровування) згідно з умовами проектування становить:

$$F_g = 20 \text{ м}^2$$

Інтенсивність випаровування визначаємо за формулою (14):

$$W = 10^{-6} \cdot \sqrt{M} \cdot P_H$$

Тиск насиченої пари обчислюємо за формулою (16):

$$P_H = 10^{\frac{7,81 - \frac{1918,51}{252,12 + 35}}{1}} = 13,46 \text{ (кПа)}$$

Інтенсивність випаровування складає:

$$W = 10^{-6} \cdot \sqrt{46,07} \cdot 13,46 = 91,26 \cdot 10^{-6} \text{ кг/(с} \cdot \text{м}^2\text{)}$$

Тривалість випаровування приймаємо 3600 с.

Маса парів спирту, що утворилася при випаровуванні спирту:

$$m_n = 91,26 \cdot 10^{-6} \cdot 20 \cdot 3600 = 6,57 \text{ (кг)}$$

Приведена маса парів спирту становить:

$$m_{np} = \left( \frac{30,56 \cdot 10^6}{4,52 \cdot 10^6} \right) \cdot 6,57 \cdot 0,1 = 4,4 \text{ (кг)}$$

Величина розрахункового надлишкового тиску на віддалі 30 м від установки:

$$\Delta P = 101 \cdot \left( \frac{0,8 \cdot 4,4^{0,33}}{30} + \frac{3 \cdot 4,4^{0,66}}{30^2} + \frac{5 \cdot 4,4}{30^3} \right) = 5,39 \text{ (кПа)}$$

Густина парів спирту за температури  $35^\circ C$ :

$$\rho_n = \frac{46,07}{22,413 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 35)} = 1,82 \text{ (кг/м}^3\text{)}$$

Горизонтальний розмір зони, яка обмежує область концентрацій, що перевищують нижню концентраційну межу поширення полум'я  $C_{нкмл}$ , визначаємо за формулою (39):

$$R_{нкмл} = 3,1501 \cdot \sqrt{K_s} \cdot \left( \frac{P_n}{C_{нкмл}} \right)^{0,813} \cdot \left( \frac{m}{\rho_n \cdot P_n} \right)^{0,333}$$

$$R_{нкмл} = 3,1501 \cdot \sqrt{\frac{3600}{3600}} \cdot \left( \frac{13,46}{3,6} \right)^{0,813} \cdot \left( \frac{6,57}{1,82 \cdot 13,46} \right)^{0,333} = 5,9 \text{ (м)}$$

Імпульс хвилі тиску  $i$ , Па·с, на відстані 30 м від установки обчислюємо за формулою:

$$i = 123 \cdot \frac{4,4^{0,66}}{30} = 10,9 \text{ (Па·с)}$$

**Висновок.** Надлишковий тиск вибуху на відстані 30 м від установки перевищує 5 кПа. За ДСТУ вказаний об'єкт відноситься до вибухопожежонебезпечної категорії. Спиртосховище відкритого типу відноситься до категорії  $A_3$ .

### **8.3. Приклади розрахунку категорії зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпечністю для горючого пилу**

**Приклад 43.** Визначити, до якої категорії відноситься зовнішня установка, яка складається з циклону для вловлювання борошна об'ємом 5 м<sup>3</sup>.

*Вихідні дані для визначення категорії зовнішньої установки*

1. Характеристика речовини:

Назва – борошно пшеничне.

Нижня концентраційна межа поширення полум'я у повітрі  $C_{нкмл} = 10 - 35 \text{ г/м}^3$ .

Максимальний тиск вибуху  $P_{max} = 520 \text{ кПа}$ .

Густина – 650 кг/м<sup>3</sup>.

Теплота згоряння за ДСТУ ISO 1928:2006  $H_m = 18000 \text{ кДж·кг}^{-1}$ .

2. Характеристика технологічного блоку:

Ступінь заповнення  $\varepsilon = 0,8$ ;

об'єм апарату  $V = 5 \text{ м}^3$ ;

робочий тиск у апараті  $P = 0 \text{ кПа}$ ;

температура повітря  $t_p = 20 \text{ °C}$ ;

$q_n$  – витрата, з якою борошно викидається через витратний отвір до моменту його перекривання – 5,6 кг · с<sup>-1</sup>;

радіус витратного отвору  $r = 0,15 \text{ м}$ .

*Розв'язок*

Для визначення надлишкового тиску вибуху в якості розрахункового варіан-

та аварії приймається аварійний викид пилу з викидного отвору циклону на висоті 3 м від поверхні ґрунту внаслідок несправності перекривного витратного клапану з утворенням пилоповітряної вибухонебезпечної суміші.

Величину розрахункового надлишкового тиску  $\Delta P$ , кПа, що розвивається у разі займання пилоповітряної суміші, визначаємо за формулою (40):

$$\Delta P = P_o \left( \frac{0,8 m_{np}^{0,33}}{r} + \frac{3 m_{np}^{0,66}}{r^2} + \frac{5 m_{np}}{r^3} \right)$$

Приведену масу горючого пилу обчислюємо за формулою (41):

$$m_{np} = (Q_{ze}/Q_o) \cdot m \cdot Z,$$

де:  $Z$  приймаємо рівним 0,1.

$Q_o$  – константа, яка приймається рівною  $4,52 \cdot 10^6$  Дж · кг<sup>-1</sup>.

Величина  $m$  визначається за формулою:

$$m = q_n \cdot \tau \cdot K_n,$$

де:  $m$  – маса горючого пилу, що потрапляє з об'єму циклону до навколишнього простору в разі несправності перекривного витратного клапану, кг;

$q_n$  – витрата, з якою відбувається надходження пилоподібних речовин у навколишній простір до моменту перекривання, кг · с<sup>-1</sup>;

$\tau$  – розрахунковий час перекривання, с, який визначається у кожному конкретному випадку, виходячи з реальної обстановки. У даному випадку в разі ручного перекривання час перекривання становить 300 с;

$K_n$  – коефіцієнт пилення, який являє собою відношення маси пилу в стані аерозолі до всієї маси пилу, який вийшов з апарата. Значення  $K_n$  допускається приймати: 1,0 – для пилу з дисперсністю менше 350 мкм.

$$m = 5,6 \cdot 300 \cdot 1 = 1680 \text{ (кг)}$$

Теплота згоряння 18000 кДж/кг.

Приведена маса горючого пилу:

$$m_{np} = \frac{18000}{4520} \cdot 1680 \cdot 0,1 = 669 \text{ (кг)}$$

Розрахунковий надлишковий тиск вибуху на відстані 30 м від установки:

$$\Delta P = 101 \cdot \left( \frac{0,8 \cdot 669^{0,33}}{30} + \frac{3 \cdot 669^{0,66}}{30^2} + \frac{5 \cdot 669}{30^3} \right) = 60,18 \text{ (кПа)}$$

**Висновок.** Розрахунковий надлишковий тиск вибуху пилоповітряної суміші на віддалі 30 м від зовнішньої установки перевищує 5 кПа. Тому установка відноситься до вибухопожежонебезпечної категорії Б<sub>3</sub>.

## 9. ПРИКЛАДИ РОЗРАХУНКУ ІНТЕНСИВНОСТІ ТЕПЛОВОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ПІД ЧАС ПОЖЕЖІ У ТЕХНОЛОГІЧНІЙ УСТАНОВЦІ

### 9.1. Методика визначення інтенсивності теплового випромінювання під час пожежі у технологічній установці на прикладі розрахунку інтенсивності теплового випромінювання від пожежі розливу бензину

Інтенсивність теплового випромінювання розраховують для двох випадків пожежі (або для того з них, який може бути реалізований у даній технологічній установці):

пожежа розливів ЛЗР, ГР або горіння твердих горючих матеріалів (включаючи горіння пилу);

«вогняна куля» – великомасштабне дифузійне горіння, що реалізується у разі розриву резервуара з горючою рідиною або газом під тиском із займанням вмісту резервуара.

Якщо можлива реалізація обох варіантів, то під час оцінки значень критерію пожежної небезпеки враховується найбільше з двох значень інтенсивності теплового випромінювання.

Інтенсивність теплового випромінювання  $q$ , кВт · м<sup>-2</sup>, для пожежі розливу рідини або при горінні твердих матеріалів обчислюють за формулою (47):

$$q = E_f \cdot F_q \cdot \psi,$$

де:  $E_f$  – середньоповерхнева густина теплового потоку випромінювання полум'я, кВт · м<sup>-2</sup>;

$F_q$  – кутовий коефіцієнт опромінення;

$\psi$  – коефіцієнт пропускання теплового випромінювання крізь атмосферу.

Значення  $E_f$  приймається на основі наявних експериментальних даних. Для деяких рідких вуглеводневих палив зазначені дані наведені у таблиці 4.

У разі відсутності даних допускається приймати величину  $E_f$  рівною: 100 кВт · м<sup>-2</sup> для ЗВГ; 40 кВт · м<sup>-2</sup> для нафтопродуктів; 40 кВт · м<sup>-2</sup> для твердих матеріалів.

Для діаметрів вогнищ менше 10 м або більше 50 м слід приймати величину  $E_f$  таку ж, як і для вогнищ діаметром 10 м і 50 м відповідно.

Розраховують ефективний діаметр розливу  $d$ , м, за формулою (48):

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi}},$$

де:  $F$  – площа розливу, м<sup>2</sup>.

Обчислюють висоту полум'я  $H$ , м, за формулою (49):

$$H = 42 \cdot d \cdot \left( \frac{M_v}{\rho_{n.} \cdot \sqrt{g_{в.} \cdot d}} \right)^{0,61},$$

де:  $M_v$  – питома масова швидкість вигорання палива,  $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ ;

$\rho_n$  – густина навколишнього повітря,  $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$ ;

$g_g = 9,81 \text{ м} \cdot \text{с}^{-2}$  – прискорення вільного падіння.

Визначають кутовий коефіцієнт опромінення  $F_q$  за формулою (50):

$$F_q = \sqrt{F_v^2 + F_H^2},$$

де:  $F_v$ ,  $F_H$  – фактори опромінення для вертикального і горизонтального майданчиків відповідно, які визначаються за допомогою нижченаведених формул (52)-(57):

$$F_v = \frac{1}{\pi} \cdot \left[ \frac{1}{S} \cdot \arctg\left(\frac{h}{\sqrt{S^2-1}}\right) - \frac{h}{S} \cdot \left\{ \arctg\left(\sqrt{\frac{S-1}{S+1}}\right) - \frac{A}{\sqrt{A^2-1}} \cdot \arctg\left(\sqrt{\frac{(A+1) \cdot (S-1)}{(A-1) \cdot (S+1)}}\right) \right\} \right]$$

$$F_H = \frac{1}{\pi} \cdot \left[ \frac{(B-1/S)}{\sqrt{B^2-1}} \cdot \arctg\left(\sqrt{\frac{(B+1) \cdot (S-1)}{(B-1) \cdot (S+1)}}\right) - \frac{(A-1/S)}{\sqrt{A^2-1}} \cdot \arctg\left(\sqrt{\frac{(A+1) \cdot (S-1)}{(A-1) \cdot (S+1)}}\right) \right]$$

$$A = (h^2 + S^2 + 1) / (2 \cdot S)$$

$$B = (1 + S^2) / (2 \cdot S)$$

$$S = 2r/d$$

$$h = 2H/d,$$

де:  $r$  – відстань від геометричного центра розливу до об'єкта, що опромінюється, м.

Визначають коефіцієнт пропускання теплового випромінювання крізь атмосферу за формулою (57):

$$\psi = \exp [-7,0 \cdot 10^{-4} \cdot (r-0,5d)]$$

Інтенсивність теплового випромінювання  $q$ ,  $\text{кВт} \cdot \text{м}^{-2}$ , для «вогняної кулі» обчислюють за формулою (47).

Величину  $E_f$  визначають на основі наявних експериментальних даних. Допускається приймати  $E_f$  рівною  $450 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2}$ .

Значення  $F_q$  обчислюють за формулою (58):

$$F_q = \frac{H_k / D_s + 0,5}{4 \cdot \left[ (H_k / D_s + 0,5)^2 + (r_k / D_s)^2 \right]^{1,5}},$$

Ефективний діаметр «вогняної кулі»  $D_s$ , м, визначають за формулою (59):

$$D_s = 5,33 \cdot m^{0,327},$$

де:  $m$  – маса горючої речовини, кг.

Значення  $H_k$  визначають у ході спеціальних досліджень. Допускається приймати величину  $H_k$  рівною  $D_s/2$ .

Час існування «вогняної кулі»  $t_s$ , с, визначають за формулою (60):

$$t_s = 0,92 \cdot m^{0,303}$$

Коефіцієнт пропускання теплового випромінювання крізь атмосферу  $\psi$  розраховують за формулою (61):

$$\psi = \exp\left[-7,0 \cdot 10^{-4} \cdot (\sqrt{r^2 + H^2} - D_s / 2)\right]$$

Нижче наведено розрахунок інтенсивності теплового випромінювання під час пожежі у технологічній установці.

## 9.2. Приклади розрахунку інтенсивності теплового випромінювання

**Приклад 44.** Виконати розрахунок інтенсивності теплового випромінювання від пожежі розливу бензину площею  $300 \text{ м}^2$  на відстані  $40 \text{ м}$  від центру розливу.

*Розв'язок*

Визначаємо ефективний діаметр розливу  $d_{\text{ef}}$ , м, за формулою (49):

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi}},$$

$$d_{\text{ef}} = \left(\frac{4 \cdot 300}{3,14}\right)^{1/2} = 19,5 \text{ (м)}$$

Знаходимо висоту полум'я за формулою (49), при цьому  $M_v = 0,06 \text{ кг/(м}^2 \cdot \text{с)}$ ,  $g_s = 9,81 \text{ м/с}^2$  і  $\rho_{\text{ног}} = 1,2 \text{ кг/м}^3$ :

$$H = 42 \cdot 19,5 \left(\frac{0,06}{1,2 \cdot \sqrt{9,8 \cdot 19,5}}\right)^{0,61} = 26,5 \text{ (м)}$$

Знаходимо кутовий коефіцієнт опромінення  $F_q$  за формулами (54)-(57), при  $r = 40 \text{ м}$ :

$$A = (2,72^2 + 4,10^2 + 1)/(2 \cdot 4,1) = 3,08$$

$$B = (1 + 4,1^2)/(2 \cdot 4,1) = 2,17$$

$$S = 2 \cdot 40 / 19,5 = 4,10$$

$$h = 2 \cdot 26,5 / 19,5 = 2,72$$

$$F_v = \frac{1}{3,14} \cdot \left\{ \frac{1}{4,1} \cdot \arctg\left(\frac{2,72}{\sqrt{4,1^2 - 1}}\right) - \frac{2,72}{4,1} \left[ \arctg\left(\sqrt{\frac{4,1-1}{4,1+1}}\right) - \frac{3,08}{\sqrt{3,08^2 - 1}} \cdot \arctg\left(\sqrt{\frac{(3,08+1) \cdot (4,1-1)}{(3,08-1) \cdot (4,1+1)}}\right) \right] \right\}$$

$$F_v = 0,0917$$

$$F_H = \frac{1}{3,14} \left[ \frac{(2,17 - 1/4,1)}{\sqrt{2,17^2 - 1}} \cdot \arctg\left(\sqrt{\frac{(2,17+1)(4,1-1)}{(2,17-1)(4,1+1)}}\right) - \frac{(3,08 - 1/4,1)}{\sqrt{3,08^2 - 1}} \cdot \arctg\left(\sqrt{\frac{(3,08+1)(4,1-1)}{(3,08-1)(4,1+1)}}\right) \right] =$$

$$= 0,03236$$

$$E_q = \sqrt{0,0917^2 + 0,03236^2} = 0,0971$$



Визначаємо коефіцієнт пропускання теплового випромінювання крізь атмосферу за формулою (57):

$$\psi = \exp [- 7,0 \cdot 10^{-4} (40 - 0,5 \cdot 19,5)] = 0,979$$

Знаходимо інтенсивність теплового випромінювання  $q_m$  за формулою (48), при  $E_f = 47$  кВт/м<sup>2</sup> відповідно до таблиці 4:

$$q_m = 47 \cdot 0,0971 \cdot 0,979 = 4,467 \text{ (кВт/м}^2\text{)}$$

**Висновок.** Інтенсивність теплового випромінювання становить 4,467 кВт/м<sup>2</sup>.

## 10. МЕТОД РОЗРАХУНКУ РОЗМІРІВ ЗОН, ЯКІ ОБМЕЖЕНІ НИЖНЬОЮ КОНЦЕНТРАЦІЙНОЮ МЕЖЕЮ ПОШИРЕННЯ ПОЛУМ'Я (НКМП) ГАЗІВ ТА ПАРІВ

**10.1. Метод розрахунку розмірів зон, обмежених НКМП газів та парів при аварійному надходженні горючих газів та парів ненагрітих ЛЗР у відкритий простір при нерухомому повітряному середовищі**

Відстані  $X_{\text{НКМП}}$ ,  $Y_{\text{НКМП}}$  і  $Z_{\text{НКМП}}$ , м, для ГГ и ЛЗР, що обмежують область концентрацій, які перевищують НКМП, визначають за формулами:  
для ГГ:

$$X_{\text{НКМП}} = Y_{\text{НКМП}} = 14,6 \left( \frac{m_z}{\rho_z C_{\text{НКМП}}} \right)^{0,33}$$

$$Z_{\text{НКМП}} = 0,33 \left( \frac{m_z}{\rho_z C_{\text{НКМП}}} \right)^{0,33}$$

для парів ЛЗР:

$$X_{\text{НКМП}} = Y_{\text{НКМП}} = 3,2 \sqrt{K} \left( \frac{P_n}{C_{\text{НКМП}}} \right)^{0,8} \left( \frac{m_n}{\rho_n \cdot P_n} \right)^{0,33}$$

$$Z_{\text{НКМП}} = 0,12 \sqrt{K} \left( \frac{P_n}{C_{\text{НКМП}}} \right)^{0,8} \left( \frac{m_n}{\rho_n \cdot P_n} \right)^{0,33},$$

де:  $m_z$  – маса ГГ, що надійшла у відкритий простір у результаті аварії, кг;  
 $\rho_z$  – густина ГГ при розрахунковій температурі й атмосферному тиску, кг/м<sup>3</sup>;  
 $m_n$  – маса парів ЛЗР, що надійшла у відкритий простір за час повного випаровування, але не більше 3600 с, кг;

$\rho_n$  – густина парів ЛЗР при розрахунковій температурі й атмосферному тиску, кг/м<sup>3</sup>;

$P_n$  – тиск насичених парів ЛЗР при розрахунковій температурі, кПа;

$K$  – коефіцієнт ( $K = \frac{T}{3600}$  для ЛЗР);

$T$  – тривалість надходження парів ЛЗР у відкритий простір, с;

$C_{\text{НКМП}}$  – нижня концентраційна межа поширення полум'я ГГ або парів ЛЗР, % (об).

Радіус  $R_6$ , м, і висоту  $Z_6$ , м, зони, обмеженої  $C_{нкмп}$  газів і парів, визначають, виходячи зі значень  $X_{нкмп}$ ,  $Y_{нкмп}$  та  $Z_{нкмп}$ .

При цьому  $R_6 > X_{нкмп}$ ,  $R_6 > Y_{нкмп}$  і  $Z_6 > h + R_6$  для ГГ та  $Z_6 > Z_{нкпр}$  для ЛЗР ( $h$  – висота джерела надходження газу від рівня землі, м).

З точки зору геометрії, для ГГ зона, обмежена  $C_{нкмп}$  газів, – це циліндр з основою радіусом  $R_6$  і висотою  $h_6 = 2R_6$  при  $R_6 \leq h$  і  $h_6 = h + R_6$  при  $R_6 > h$ , усередині якого знаходиться джерело можливого виділення ГГ.

З точки зору геометрії, для ЛЗР зона, обмежена НКМП парів, – це циліндр з основою радіусом  $R_6$  і висотою  $h = Z_{нкпр}$  при висоті джерела парів ЛЗР  $h < Z_{нкмп}$  та  $h_6 = h + Z_{нкмп}$  при  $h \geq Z_{нкмп}$ .

За початок відліку зони, обмеженої  $C_{нкмп}$  газів і парів, приймають зовнішні габаритні розміри апаратів, установок, трубопроводів тощо.

В усіх випадках значення  $X_{нкмп}$ ,  $Y_{нкмп}$  і  $Z_{нкмп}$  повинно бути не менше 0,3 м для ГГ і ЛЗР.

**Приклад 45.** Визначити розміри зони, що обмежена  $C_{нкмп}$  парів, при аварійній розгерметизації трубопроводу, який транспортує ацетон.

*Вихідні дані для розрахунку*

Трубопровід, який транспортує ацетон, прокладено на відкритому просторі на висоті  $h = 0,5$  м від поверхні землі. Трубопровід оснащено ручними засувками.

Маса парів ацетону, що надійшли у відкритий простір за час повного випаровування, визначена за вищенаведеними прикладами, і становить  $m_a = 240$  кг за час випаровування  $T = 3600$  с. Максимально можлива температура для даної кліматичної зони  $t_p = 36^\circ\text{C}$ . Густина парів ацетону  $\rho_a$  при  $t_p$  дорівнює  $2,29$  кг/м<sup>3</sup>. Нижня концентраційна межа поширення полум'я парів ацетону  $C_{нкмп} = 2,7\%$  (об). Тиск насичених парів ацетону  $P_n$  при  $t_p$  становить  $48,09$  кПа.

*Розв'язок*

Відстані  $X_{нкмп}$ ,  $Y_{нкмп}$  і  $Z_{нкмп}$  для ацетону, що обмежують область концентрацій, що перевищують  $C_{нкмп}$ , складають:

$$\begin{aligned} X_{нкмп} = Y_{нкмп} &= 3,2\sqrt{K} \left( \frac{P_n}{C_{нкмп}} \right)^{0,8} \left( \frac{m_a}{\rho_a \cdot P_n} \right)^{0,33} = \\ &= 3,2\sqrt{\frac{3600}{3600}} \left( \frac{48,09}{2,7} \right)^{0,8} \left( \frac{240}{2,29 \cdot 48,09} \right)^{0,33} = 41,43 \text{ (м)} \\ Z_{нкмп} &= 0,12\sqrt{K} \left( \frac{P_n}{C_{нкмп}} \right)^{0,8} \left( \frac{m_a}{\rho_a \cdot P_n} \right)^{0,33} = \\ &= 0,12\sqrt{\frac{3600}{3600}} \left( \frac{48,09}{2,7} \right)^{0,8} \left( \frac{240}{2,29 \cdot 48,09} \right)^{0,33} = 1,55 \text{ (м)} \end{aligned}$$

**Висновок.** Таким чином, границя зони, що обмежена  $C_{\text{НКМП}}$  парів, по горизонталі проходить на відстані 41,43 м від обечайки трубопроводу, а по вертикалі – на висоті  $h_b = Z_{\text{НКМП}} = 1,55$  м від поверхні землі.

**Приклад 46.** Визначити розміри зони, що обмежена  $C_{\text{НКМП}}$  газів, при аварійній розгерметизації ємності з метаном на відкритому просторі.

*Дані для розрахунку*

У разі розгерметизації ємності в атмосферу надходить 20 кг метану. Ємність являє собою циліндр з основою радіусом 1 м і висотою  $h_a = 10$  м. Максимально можлива температура для даної кліматичної зони  $t_p = 30^\circ\text{C}$ . Густина метану  $m_m$  при  $t_p$  дорівнює  $0,645 \text{ кг/м}^3$ . Нижня концентраційна межа поширення полум'я метану  $C_{\text{НКМП}} = 5,28\%$  (об)

*Розв'язок*

Відстані  $X_{\text{НКМП}}$ ,  $Y_{\text{НКМП}}$  і  $Z_{\text{НКМП}}$  для метану, що обмежують область концентрацій, які перевищують НКМП, складають:

$$X_{\text{НКМП}} = Y_{\text{НКМП}} = 14,6 \cdot \left( \frac{m_m}{\rho_m \cdot C_{\text{НКМП}}} \right)^{0,33} = 14,6 \cdot \left( \frac{20}{0,645 \cdot 5,28} \right)^{0,33} = 26,18 \text{ (м)}$$

**Висновок.** Таким чином, для розрахункової аварії ємності з метаном, зона, що обмежена  $C_{\text{НКМП}}$  газів, являтиме собою циліндр з основою радіусом  $R_b = 26,18 \text{ м}$  і висотою  $h_b = h_a + R_b = 10 + 26,18 = 36,18 \text{ м}$ . За початок зони, що обмежена НКМП газів, приймають зовнішні габаритні розміри ємності.

## **10.2. Метод розрахунку розмірів зони, обмеженої НКМП газів та парів, при аварійному надходженні горючих газів та парів ненагрітих легкозаймистих рідин у приміщення**

Нижченаведені розрахункові формули застосовують для випадку  $100 \cdot m / (\rho_{\text{гп}} V_{\text{вільн}}) < 0,5 C_{\text{НКМП}}$  [ $C_{\text{НКМП}}$  – нижня концентраційна межа поширення полум'я горючого газу або пару, % (об)] і приміщень у формі прямокутного паралелепіпеду з відношенням довжини до ширини не більше 5.

Відстані  $X_{\text{НКМП}}$ ,  $Y_{\text{НКМП}}$  і  $Z_{\text{НКМП}}$  визначають за формулами (72)-(74).  $C_0$  – передекспоненціальний множник, % (об), що дорівнює:

у разі відсутності рухливості повітряного середовища для горючих газів

$$C_0 = 3,77 \cdot 10^3 \cdot \frac{m}{\rho_{\text{г}} \cdot V_{\text{вільн}}}$$

у разі рухливості повітряного середовища для горючих газів

$$C_0 = 3 \cdot 10^2 \cdot \frac{m}{\rho_{\text{г}} \cdot V_{\text{вільн}} \cdot U},$$

у разі відсутності рухливості повітряного середовища для парів легкозаймистих рідин

$$C_o = C_n \left( \frac{m \cdot 100}{C_n \cdot \rho_n \cdot V_{\text{вільн}}} \right)^{0,41},$$

у разі рухливості повітряного середовища для парів легкозаймистих рідин

$$C_o = C_n \left( \frac{m \cdot 100}{C_n \cdot \rho_n \cdot V_{\text{вільн}}} \right)^{0,46},$$

де:  $m$  – маса газу або парів ЛЗР, що надходять у приміщення, кг;

$U$  – рухливість повітряного середовища,  $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$ ;

$C_n$  – концентрація насичених парів при розрахунковій температурі  $t_p$ , °C, повітря у приміщенні, % (об).

Концентрація  $C_n$  може бути знайдена за формулою (68):

$$C_n = 100 \frac{P_n}{P_0},$$

де:  $P_n$  – тиск насичених парів при розрахунковій температурі (приймається за довідниковою літературою), кПа;

$P_0$  – атмосферний тиск, рівний 101,3 кПа.

Таблиця 15 – Значення допустимих відхилень концентрації при рівні значущості  $Q (C > \bar{C})$

Характер розподілу концентрацій	$Q (C > \bar{C})$	$\delta$
1	2	3
Для горючих газів за відсутності рухливості повітряного середовища	0,1	1,29
	0,05	1,38
	0,01	1,53
	0,003	1,63
	0,001	1,70
	0,000001	2,04
Для горючих газів за рухливості повітряного середовища	0,1	1,29
	0,05	1,37
	0,01	1,52
	0,003	1,62
	0,001	1,70
	0,000001	2,03
Для парів легкозаймистих рідин за відсутності рухливості повітряного середовища	0,1	1,19
	0,05	1,25

	0,01	1,35
	0,003	1,41
	0,001	1,46
	0,000001	1,68
Для парів легкозаймистих рідин за рухливості повітряного середовища	0,1	1,21
	0,05	1,27
	0,01	1,38
	0,003	1,45
	0,001	1,51
	0,000001	1,75

При мінусових значеннях логарифмів відстані  $X_{\text{нкмт}}$ ,  $Y_{\text{нкмт}}$  і  $Z_{\text{нкмт}}$  приймаються рівними 0.

Радіус  $R_6$  і висоту  $Z_6$ , м, зони, обмеженої НКМП газів і парів, визначають, виходячи зі значень  $X_{\text{нкмт}}$ ,  $Y_{\text{нкмт}}$  і  $Z_{\text{нкмт}}$  для заданого рівня значущості  $Q$ .

Зазвичай, рівень значущості,  $Q$ , приймають таким, що дорівнює 0,05.

При цьому  $R_6 > X_{\text{нкмт}}$ ,  $R_6 > Y_{\text{нкмт}}$  та  $Z_6 > h + R_6$  для ГГ і  $Z_6 > Z_{\text{нкмт}}$  для ЛЗР ( $h$  – висота джерела надходження газу від підлоги приміщення для ГГ, важчих за повітря, та від стелі приміщення для ГГ, більш легких за повітря, м).

Для ГГ, з точки зору геометрії, зона, обмежена НКМП газів, являтиме собою циліндр з основою радіусом  $R_6$  і висотою  $h_6 = 2 R_6$  при  $R_6 \leq h$  і  $h_6 = h + R_6$  при  $R_6 > h$ , усередині якого знаходиться джерело можливого виділення ГГ. Для ЛЗР зона, обмежена НКМП парів, геометрично являтиме собою циліндр з основою радіусом  $R_6$  і висотою  $Z_6 = Z_{\text{нкмт}}$  при висоті джерела парів ЛЗР  $h < Z_{\text{нкмт}}$  і  $Z_6 = h + Z_{\text{нкмт}}$  при  $h \geq Z_{\text{нкмт}}$ . За початок відліку приймають зовнішні габаритні розміри апаратів, установок, трубопроводів тощо.

В усіх випадках значення відстаней  $X_{\text{нкмт}}$ ,  $Y_{\text{нкмт}}$  і  $Z_{\text{нкмт}}$  повинно бути не менше 0,3 м для ГГ і ЛЗР.

**Приклад 47.** Визначити розміри зони, яка обмежена НКМП парів, що виділяються при аварійній розгерметизації апарата з ацетоном, при працюючій і непрацюючій загальнообмінній вентиляції.

*Вихідні дані для визначення категорії приміщення*

1. Характеристика виробничого (складського) приміщення:

довжина  $l = 40$  м;

ширина  $b = 40$  м;

висота  $h = 3$  м;

коефіцієнт вільного об'єму приміщення  $K_{\text{вільн}} = 80\%$ ;  
температура повітря  $t_{\text{нов}} = 20^\circ\text{C}$ .

## 2. Характеристика речовини:

назва – ацетон,  $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}$ ;

молекулярна маса ацетону  $M = 58,08$ .

Константи рівняння Антуана:

для ацетону:  $A = 7,25058$ ;  $B = 1281,721$ ;  $C_a = 237,088$ ;

густина рідини  $\rho_p = 790,8 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$ .

Число атомів у молекулі горючої рідини:

вуглецю  $n_c = 3$ ;

водню  $n_h = 6$ ;

кисню  $n_o = 1$ ;

галогенів  $n_x = 0$ .

Теплота згоряння за ДСТУ ISO 1928:2006  $H_T = 31360 \text{ кДж}\cdot\text{моль}^{-1}$ .

Максимальний тиск вибуху  $P_{\text{max}} = 893 \text{ кПа}$ .

## 3. Характеристика технологічного блоку:

об'єм апарата,  $V = 3,14 \cdot (0,5)^2 / 4 = 0,196 \text{ м}^3$ ;

ступінь заповнення  $\varepsilon = 1$ ;

робочий надлишковий тиск в апараті  $P_p = 0 \text{ кПа}$ ;

температура рідини  $t_{\text{роб}} = 20^\circ\text{C}$ .

Дані для розрахунку

У центрі приміщення розміром  $40 \times 40 \text{ м}$  і висотою  $h_n = 3 \text{ м}$  встановлено апарат з ацетоном. Апарат являє собою циліндр з основою діаметром  $d_a = 0,5 \text{ м}$  і висотою  $h_a = 1 \text{ м}$ , в якому міститься  $25 \text{ кг}$  ацетону. Розрахункова температура у приміщенні  $t_p = 30^\circ\text{C}$ . Густина парів ацетону  $\rho_a$  при  $t_p$  дорівнює  $2,33 \text{ кг}/\text{м}^3$ . Тиск насичених парів ацетону  $P_n$  при  $t_p$  дорівнює  $37,73 \text{ кПа}$ . Нижня концентраційна межа поширення полум'я  $C_{\text{нклп}}^n = 2,7\%$  (об). У результаті розгерметизації апарата в приміщення надходить  $25 \text{ кг}$  парів ацетону за час випаровування  $\tau_a = 208 \text{ с}$ . При працюючій загальнообмінній вентиляції рухливість повітряного середовища в приміщенні  $U = 0,1 \text{ м}/\text{с}$ .

### Розв'язок

Допустимі значення відхилень концентрацій  $\delta$  при рівні значущості  $Q = 0,05$  становитимуть:  $1,27$  – при працюючій вентиляції;  $1,25$  – при непрацюючій вентиляції ( $U = 0$ ). Передекспоненціальний множник  $C_0$  становитиме:

при працюючій вентиляції

$$C_0 = C_n \left( \frac{m \cdot 100}{C_n \cdot \rho_{a,p} \cdot V_{\text{вільн}}} \right)^{0,46} = 37,36 \left( \frac{25 \cdot 100}{37,36 \cdot 2,33 \cdot 3840} \right)^{0,46} = 3,93 \% \text{ (об)}$$

$$C_n = 100 \cdot \frac{P_n}{P_0} = 100 \cdot 37,73 / 101 = 37,36 \% \text{ (об)}$$

$$V_{\text{вільн}} = 0,8 \cdot V = 0,8 \cdot 40 \cdot 40 \cdot 3 = 3840 \text{ (м}^3\text{)}$$

при непрацюючій вентиляції

$$C_0 = C_n \left( \frac{m \cdot 100}{C_n \cdot \rho_{z,n} \cdot V_{\text{вільн}}} \right)^{0,41} = 37,36 \cdot \left( \frac{25 \cdot 100}{37,36 \cdot 2,33 \cdot 3840} \right)^{0,41} = 5,02 \% (\text{об})$$

Відстані  $X_{\text{НКМП}}$ ,  $Y_{\text{НКМП}}$  і  $Z_{\text{НКМП}}$  становлять:

при працюючій вентиляції

$$X_{\text{НКМП}} = K_1 \cdot l \cdot \left( K_2 \ln \frac{\delta C_0}{C_{\text{НКМП}}} \right)^{0,5} = 1,1958 \cdot 40 \cdot \left( \frac{208}{3600} \cdot \ln \frac{1,27 \cdot 3,93}{2,7} \right)^{0,5} = 9,01 (\text{м})$$

$$Y_{\text{НКМП}} = K_1 \cdot b \cdot \left( K_2 \ln \frac{\delta \cdot C_0}{C_{\text{НКМП}}} \right)^{0,5} = 1,1958 \cdot 40 \cdot \left( \frac{208}{3600} \cdot \ln \frac{1,27 \cdot 3,93}{2,7} \right)^{0,5} = 9,01 (\text{м})$$

$$Z_{\text{НКМП}} = K_3 \cdot h \cdot \left( K_2 \ln \frac{\delta \cdot C_0}{C_{\text{НКМП}}} \right)^{0,5} = 0,3536 \cdot 3 \cdot \left( \frac{208}{3600} \cdot \ln \frac{1,27 \cdot 3,93}{2,7} \right)^{0,5} = 0,2 \text{ м}$$

при непрацюючій вентиляції

$$X_{\text{НКМП}} = 1,1958 \cdot 40 \cdot \left( \frac{208}{3600} \ln \frac{1,25 \cdot 5,02}{2,7} \right)^{0,5} = 10,56 \text{ м}$$

$$Y_{\text{НКМП}} = 1,1958 \cdot 40 \cdot \left( \frac{208}{3600} \ln \frac{1,25 \cdot 5,02}{2,7} \right)^{0,5} = 10,56 \text{ м}$$

$$Z_{\text{НКМП}} = 0,04714 \cdot 3 \cdot \left( \frac{208}{3600} \ln \frac{1,25 \cdot 5,02}{2,7} \right)^{0,5} = 0,03 \text{ м}$$

**Висновок.** Таким чином, для ацетону зона, що обмежена НКМП парів, являтиме собою циліндр з основою радіусом  $R_6$  і висотою  $Z_6 = h_a + Z_{\text{НКМП}}$ , оскільки  $h_a > Z_{\text{НКМП}}$ :

при працюючій вентиляції

$$Z_6 = 1 + 0,2 = 1,2 (\text{м})$$

$$R_6 = 9,01 (\text{м})$$

при непрацюючій вентиляції

$$Z_6 = 1 + 0,03 = 1,03 (\text{м})$$

$$R_6 = 10,56 (\text{м})$$

За початок відліку приймають зовнішні габаритні розміри апарата.

**Приклад 48.** Визначити розміри зони, що обмежена НКМП газів, що виділяється при аварійній розгерметизації газового балона з метаном, при працюючій та непрацюючій вентиляції.

**Вихідні дані для розрахунку**

1. Характеристика виробничого приміщення:

довжина  $l = 13 \text{ м}$ ;

ширина  $b = 13 \text{ м}$ ;

висота  $h = 3$  м;

коефіцієнт вільного об'єму приміщення  $K_{\text{вільн}} = 80\%$ ;

температура повітря  $t_n = 20$  °С.

2. Характеристика речовини:

Назва – метан;

молекулярна маса  $M = 16$ .

Число атомів у молекулі горючої речовини:

вуглецю  $n_c = 1$ ;

водню  $n_h = 4$ ;

кисню  $n_o = 0$ ;

галогенів  $n_x = 0$ .

Максимальний тиск вибуху 720 кПа.

Теплота згоряння  $802$  кДж/моль  $= \frac{802 \cdot 1000}{16} = 50125$  кДж/кг.

*Дані для розрахунку*

На підлозі приміщення розмірами  $13 \times 13$  м і висотою  $h_n = 3$  м знаходиться балон з  $0,28$  кг метану. Газовий балон має висоту  $h_6 = 1,5$  м. Розрахункова температура у приміщенні  $t_p = 30$  °С. Густина метану  $\rho_m$  при  $t_p$  становить  $0,645$  кг/м<sup>3</sup>. Нижня концентраційна межа поширення полум'я метану  $C_{\text{нкмл}} = 5,28\%$  (об). При працюючій загальнообмінній вентиляції рухливість повітряного середовища у приміщенні  $U = 0,1$  м/с.

*Розв'язок*

Допустимі відхилення концентрацій при рівні значущості  $Q = 0,05$  становитимуть:  $1,37$  при працюючій вентиляції;  $1,38$  при непрацюючій вентиляції ( $U = 0$ ).

Передекспоненціальний множник  $C_o$  дорівнюватиме:

при працюючій вентиляції

$$C_o = 3 \cdot 10^2 \cdot \frac{m}{\rho_{г,п} V_{\text{вільн}} U} = 3 \cdot 10^2 \cdot \frac{0,28}{0,645 \cdot 0,8 \cdot 13 \cdot 13 \cdot 3 \cdot 0,1} = 3,21 \% \text{ (об)}$$

при непрацюючій вентиляції

$$C_o = 3,77 \cdot 10^3 \cdot \frac{m}{\rho_{г,п} \cdot V_{\text{вільн}}} = 3,77 \cdot 10^3 \cdot \frac{0,28}{0,645 \cdot 0,8 \cdot 13 \cdot 13 \cdot 3} = 4,04 \% \text{ (об)}$$

Відстані  $X_{\text{нкмл}}$ ,  $Y_{\text{нкмл}}$  і  $Z_{\text{нкмл}}$  становлять:

при працюючій вентиляції

$$X_{\text{нкмл}} = K_1 \cdot 1 \cdot \left( K_2 \cdot \ln \frac{\delta \cdot C_o}{C_{\text{нкмл}}} \right)^{0,5} = 1,1314 \cdot 13 \cdot \left( 1 \cdot \ln \frac{1,37 \cdot 3,21}{5,28} \right)^{0,5} < 0$$

$$Y_{\text{нкмл}} = K_1 b \cdot \left( K_2 \ln \frac{\delta \cdot C_o}{C_{\text{нкмл}}} \right)^{0,5} = 1,1314 \cdot 13 \cdot \left( 1 \cdot \ln \frac{1,37 \cdot 3,21}{5,28} \right)^{0,5} < 0$$



$$Z_{\text{НКМП}} = K_3 h (K_2 \ln \frac{\delta \cdot C_0}{C_{\text{НКМП}}})^{0,5} = 0,0253 \cdot 3 \left( 1 \cdot \ln \frac{1,37 \cdot 3,21}{5,28} \right)^{0,5} < 0$$

У результаті  $X_{\text{НКМП}}$ ,  $Y_{\text{НКМП}}$  і  $Z_{\text{НКМП}} = 0$ :  
при непрацюючій вентиляції

$$X_{\text{НКМП}} = 1,1314 \cdot 13 \cdot \left( 1 \cdot \ln \frac{1,38 \cdot 4,04}{5,28} \right)^{0,5} = 3,34 \text{ (м)}$$

$$Y_{\text{НКМП}} = 1,1314 \cdot 13 \cdot \left( 1 \cdot \ln \frac{1,38 \cdot 4,04}{5,28} \right)^{0,5} = 3,34 \text{ (м)}$$

$$Z_{\text{НКМП}} = 0,0253 \cdot 3 \cdot \left( 1 \cdot \ln \frac{1,38 \cdot 4,04}{5,28} \right)^{0,5} = 0,02 \text{ (м)}$$

**Висновок.** Таким чином, для метану при непрацюючій вентиляції зона, що обмежена НКМП газів, з точки зору геометрії являтиме собою циліндр з основою радіусом  $R_6 = 3,34$  м і висотою  $h_6 = h + R_6 = 3 + 3,34 = 6,34$  м. Зважаючи на те, що  $h_6$  розрахункове більше висоти приміщення  $h_n = 3$  м за висоту зони, обмеженої НКМП газів, приймаємо висоту приміщення  $h_6 = 3$  м.

## 11. МЕТОД РОЗРАХУНКУ КОЕФІЦІЄНТА Z УЧАСТІ ГОРЮЧИХ ГАЗІВ ТА ПАРІВ НЕНАГРІТИХ ЛЕГКОЗАЙМИСТИХ РІДИН У ВИБУСІ

Коефіцієнт  $Z$  участі горючих газів і парів легкозаймистих рідин у вибусі за заданим рівнем значущості  $Q$  ( $C > C_{\text{сер}}$ ) за умови, що  $X_{\text{НКМП}} \frac{1}{2} l$  та  $Y_{\text{НКМП}} \frac{1}{2} b$ , визначається за формулою (63):

$$Z = \frac{5 \cdot 10^{-3} \cdot \pi}{m} \rho_{\text{Г,П}} \left( C_0 + \frac{C_{\text{НКМП}}}{\delta} \right) X_{\text{НКМП}} \cdot Y_{\text{НКМП}} \cdot Z_{\text{НКМП}}$$

У разі якщо  $X_{\text{НКМП}} \frac{1}{2} l$  та  $Y_{\text{НКМП}} \frac{1}{2} b$  коефіцієнт  $Z$  визначається за формулою (65):

$$Z = \frac{5 \cdot 10^{-3}}{m} \rho_{\text{Г,П}} \cdot \left( C_0 + \frac{C_{\text{НКМП}}}{\delta} \right) F \cdot Z_{\text{НКМП}}$$

Метод визначення параметрів  $C_0$ ,  $X_{\text{НКМП}}$ ,  $Y_{\text{НКМП}}$  і  $Z_{\text{НКМП}}$  наведено у розділі 10 і проілюстровано на прикладах 49-50.

Чисельні значення параметрів  $C_0$ ,  $X_{\text{НКМП}}$ ,  $Y_{\text{НКМП}}$  і  $Z_{\text{НКМП}}$  у прикладах, що розміщені нижче, наведені у прикладах 49-50.

**Приклад 49.** Визначити коефіцієнт  $Z$  участі парів ацетону в займанні пароповітряної суміші для випадку розгерметизації апарата з ацетоном.

### Дані для розрахунку

У центрі приміщення розміром  $40 \times 40$  м і висотою  $h = 3$  м встановлено апарат з ацетоном. Апарат являє собою циліндр діаметром основи  $d_a = 1$  м, в якому міститься 25 кг ацетону. Розрахункова температура у приміщенні  $t_p = 30$  °С. Густина парів ацетону  $\rho_a$  при  $t_p$  дорівнює  $2,33$  кг/м<sup>3</sup>. Тиск насичених парів ацетону  $P^*$  ацетону при  $t_p$  дорівнює  $37,73$  кПа. Нижня концентраційна межа поширення полум'я  $C_{нкмл} = 2,7\%$  (об). У результаті розгерметизації апарата в об'єм приміщення надходить 25 кг парів ацетону за час випаровування  $T = 208$  с. При працюючій загальнообмінній вентиляції рухливість повітряного середовища у приміщенні  $U = 0,1$  м/с.

**Розв'язок.** Оскільки при працюючій і непрацюючій вентиляції  $X_{нкмл} < 0,5$  та  $Y_{нкмл} < 0,5$ , коефіцієнт  $Z$  становить:

при працюючій вентиляції

$$Z = \frac{5 \cdot 10^{-3} \pi}{m} \cdot \rho_a \cdot (C_0 + \frac{C_{НКПР}}{\delta}) \cdot X_{НКПР} Y_{НКПР} Z_{НКПР} =$$
$$= \frac{5 \cdot 10^{-3} \cdot 3,14}{25} \cdot 2,33 \cdot (3,93 + \frac{2,7}{1,27}) \cdot 9,01 \cdot 9,01 \cdot 0,2 = 0,14$$

при непрацюючій вентиляції

$$Z = \frac{5 \cdot 10^{-3} \cdot 3,14}{25} \cdot 2,33 \cdot (5,02 + \frac{2,7}{1,25}) \cdot 10,56 \cdot 10,56 \cdot 0,03 = 0,04$$

**Висновок.** Коефіцієнт  $Z$  участі парів ацетону у вибусі при займанні паро-повітряної суміші при працюючій вентиляції становить  $0,14$ , а при непрацюючій вентиляції –  $0,04$ .

**Приклад 50.** Визначити коефіцієнт  $Z$  участі метану при займанні газо-повітряної суміші для випадку аварійної розгерметизації газового балона з метаном.

1. Характеристика виробничого приміщення:

довжина  $l = 13$  м;

ширина  $b = 13$  м;

висота  $h = 3$  м;

коефіцієнт вільного об'єму приміщення  $K_{вільн} = 80\%$ ;

температура повітря  $t_n = 20$ °С.

2. Характеристика речовини:

Назва – метан;

молекулярна маса  $M = 16$ .

Число атомів у молекулі горючої речовини:

вуглецю  $n_c = 1$ ;

водню  $n_h = 4$ ;

кисню  $n_o = 0$ ;

галогенів  $n_x = 0$ .

Максимальний тиск вибуху – 720 кПа.

$$\text{Теплота згоряння } 802 \text{ кДж/моль} = \frac{802 \cdot 1000}{16} = 50125 \text{ кДж/кг.}$$

*Дані для розрахунку*

На підлозі приміщення розміром  $13 \times 13$  м і висотою  $h = 3$  м знаходиться балон з 0,28 кг метану. Газовий балон має висоту  $h_6 = 1,5$  м. Розрахункова температура у приміщенні  $t_p = 30$  °С. Густина метану  $\rho_m$  при  $t_p$  становить 0,645 кг/м<sup>3</sup>. Нижня концентраційна межа поширення полум'я метану  $C_{HKMP} = 5,28\%$  (об). При працюючій загальнообмінній вентиляції рухливість повітряного середовища у приміщенні  $U = 0,1$  м/с.

*Розв'язок*

Значення  $C_0$ ,  $X_{HKMP}$ ,  $Y_{HKMP}$ ,  $Z_{HKMP}$  наведена у прикладі 47 розділу 9.

При непрацюючій вентиляції та за умови, що

$$X_{HKMP} < 0,5l \text{ та } Y_{HKMP} < 0,5b$$

коефіцієнт  $Z$  становить:

$$\begin{aligned} Z &= \frac{5 \cdot 10^{-3} \pi}{m} \cdot \rho_m \cdot (C_0 + \frac{C_{HKMP}}{\delta}) \cdot X_{HKMP} Y_{HKMP} Z_{HKMP} = \\ &= \frac{5 \cdot 10^{-3} \cdot 3,14}{0,28} \cdot 0,645 \cdot (4,04 + \frac{5,28}{1,38}) \cdot 3,43 \cdot 3,43 \cdot 0,02 = 0,07. \end{aligned}$$

при працюючій вентиляції

$$X_{HKMP} = K_1 l \left( K_2 \ln \frac{\delta \cdot C_0}{C_{HKMP}} \right)^{0,5} = 1,1314 \cdot 13 \left( 1 \cdot \ln \frac{1,37 \cdot 3,21}{5,28} \right)^{0,5} < 0$$

$$Y_{HKMP} = K_1 b \left( K_2 \ln \frac{\delta \cdot C_0}{C_{HKMP}} \right)^{0,5} = 1,1314 \cdot 13 \left( 1 \cdot \ln \frac{1,37 \cdot 3,21}{5,28} \right)^{0,5} < 0$$

$$Z_{HKMP} = K_3 h \left( K_2 \ln \frac{\delta \cdot C_0}{C_{HKMP}} \right)^{0,5} = 0,0253 \cdot 3 \cdot \left( 1 \cdot \ln \frac{1,37 \cdot 3,21}{5,28} \right)^{0,5} < 0$$

У результаті  $X_{HKMP}$ ,  $Y_{HKMP}$  і  $Z_{HKMP} = 0$ .

Коефіцієнт  $Z$  становить:

$$\begin{aligned} Z &= \frac{5 \cdot 10^{-3} \pi}{m} \cdot \rho_m \cdot (C_0 + \frac{C_{HKMP}}{\delta}) \cdot X_{HKMP} Y_{HKMP} Z_{HKMP} = \\ &= \frac{5 \cdot 10^{-3} \cdot 3,14}{0,28} \cdot 0,645 \cdot (4,04 + \frac{5,28}{1,38}) \cdot 0 \cdot 0 \cdot 0 = 0. \end{aligned}$$

**Висновок.** Коефіцієнт  $Z$  участі метану у вибусі при займанні газоповітряної суміші для випадку аварійної розгерметизації газового балона при непрацюючій вентиляції становить 0,07, а при працюючій вентиляції дорівнює 0.

# ДОДАТОК 1

## Довідкові дані щодо фізичних, хімічних характеристик речовин і матеріалів, а також їх показники пожежної небезпеки

Таблиця 1 – Значення показників пожежної небезпеки деяких індивідуальних речовин [11,12]

№ з/п	Речовини	Хімічна формула	Молярна маса, кг·кмоль <sup>-1</sup>	Температура спалаху, °С	Температура самозаймання, °С	Константи рівняння Антуана			Температурний інтервал значень констант рівняння Антуана, °С	Нижня концентраційна межа поширення подум'я, % (об)	Характеристика речовин	Теплота згоряння, кДж·кг <sup>-1</sup>
						A	B	C <sub>A</sub>				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	Амілацетат	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O <sub>2</sub>	130,196	+43	+290	6,29350	1579,510	221,365	25÷147	1,08	ЛЗР	29879
2	Амілен	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>	70,134	<-18	+273	5,91048	1014,294	229,783	-60÷100	1,49	ЛЗР	45017
3	н-Аміловий спирт	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> O	88,149	+48	+300	6,3073	1287,625	161,330	74÷157	1,46	ЛЗР	38385
4	Аміак	NH <sub>3</sub>	17,03	-	+650	-	-	-	-	15,0	ГГ	18585
5	Анілін	C <sub>6</sub> H <sub>7</sub> N	93,128	+73	+617	6,04622	1457,02	176,195	35÷184	1,3	ГР	32386
6	Ацетальдегід	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O	44,053	-40	+172	6,31653	1093,537	233,413	-80÷20	4,12	ЛЗР	27071
7	Ацетилен	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	26,038	-	+335	-	-	-	-	2,5	ГГ(ВВ)	49965
8	Ацетон	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O	58,08	-18	+535	6,37551	1281,721	237,086	-15÷93	2,7	ЛЗР	31360
9	Бензиловий спирт	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> O	108,15	+90	+415	-	-	-	-	1,3	ГР	-
10	Бензол	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	78,113	-11	+560	5,61391 610906	902,275 1252,776	178,099 225,178	-20÷6 -7÷80	1,43	ЛЗР	40576
11	1,3-Бутадиєн	C <sub>4</sub> H <sub>6</sub>	54,091	-	+430	-	-	-	-	2,0	ГГ	44573
12	н-Бутан	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	58,123	-69	+405	6,00525	968,098	242,555	-130÷0	1,8	ГГ	45713
13	1-Бутен	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	56,107	-	+384	-	-	-	-	1,6	ГГ	45317
14	2-Бутен	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	56,107	-	+324	-	-	-	-	1,8	ГГ	45574
15	н-Бутилацетат	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub>	116,16	+29	+330	6,25205	1430,41	210,745	59÷126	1,35	ЛЗР	28280
16	втор-Бутилацетат	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub>	116,16	+19	+410	-	-	-	-	1,4	ЛЗР	28202
17	н-Бутиловий спирт	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O	74,122	+35	+340	8,72232	2664,68	279,638	-1÷126	1,8	ЛЗР	36805

Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
18	Вінілхлорид	$C_2H_3Cl$	62,499	-	+470	6,0161	905,008	239,475	-65÷-13	3,6	ГГ	18496
19	Волень	$H_2$	2,016	-	+510	-	-	-	-	4,12	ГГ	119841
20	n-Гексадекан	$C_{16}H_{34}$	226,44	+128	+207	5,91242	1656,405	136,869	105÷287	0,47	ГР (ТГВ)	44312
21	n-Гексан	$C_6H_{14}$	86,177	-23	+233	5,99517	1166,274	223,661	-54÷69	1,24	ЛЗР	45105
22	n-Гексиловий спирт	$C_6H_{14}O$	102,17	+60	+285	6,17894 7,23663	1293,831 1872,743	152,631 202,666	52÷157 60÷108	1,2	ЛЗР	39587
23	Гептан	$C_7H_{16}$	100,203	-4	+223	6,07647	1295,405	219,819	60÷98	1,07	ЛЗР	44919
24	Гідразин	$N_2H_4$	32,045	+38	+132	7,99805	2266,447	266,316	84÷112	4,7	ЛЗР (ВВ)	14644
25	Гліцерин	$C_3H_8O_3$	92,1	+198	+400	8,177393	3074,220	214,712	141÷263	2,6	ГР	16102
26	Декан	$C_{10}H_{22}$	142,28	+47	+230	6,52023	1809,975	227,700	17÷174	0,7	ЛЗР	44602
27	Дивініловий ефір	$C_4H_6O$	70,1	-30	+360	-	-	-	-	1,7	ЛЗР	32610
28	N,N-диметил формаїд	$C_3H_7ON$	73,1	+53	+440	6,15939	1482,985	204,342	25÷153	2,35	ЛЗР	-
29	1,4-Діоксан	$C_4H_8O_2$	88,1	+11	+375	6 64091	1632,425	250,725	12÷101	2,0	ЛЗР	-
30	1,2-Дихлоретан	$C_2H_4Cl_2$	98,96	+9	+413	6,78615	1640,179	259,715	-24÷83	6,2	ЛЗР	10873
31	Діетиламін	$C_4H_{11}N$	73,14	-14	+310	6,34794	1267,557	236,329	-33÷59	1,78	ЛЗР	34876
32	Діетиловий ефір	$C_4H_{10}O$	74,12	-41	+180	6,12270	1098,945	232,372	-60÷35	1,7	ЛЗР	34147
33	n-Додекан	$C_{12}H_{26}$	170,337	+77	+202	7,29574	2463,739	253,884	48÷214	0,63	ГР	44470
34	Ізобутан	$C_4H_{10}$	58,123	-76	+462	5,95318	916,054	243,783	-159÷12	1,81	ГГ	45578
35	Ізобутилен	$C_4H_8$	56,11	-	+465	-	-	-	-	1,78	ГГ	45928
36	Ізобутиловий спирт	$C_4H_{10}O$	74,12	+28	+390	7,83005	2058,392	245,642	-9÷116	1,8	ЛЗР	36743
37	Ізопентан	$C_5H_{12}$	72,15	-52	+432	5,91799	1022,551	233,493	83÷28	1,36	ЛЗР	45239
38	Ізопропіл-бензол	$C_9H_{12}$	120,20	+37	+424	6,06756	1461,643	207,56	2,9÷152,4	0,88	ЛЗР	46663
39	Ізопропіловий спирт	$C_3H_8$	60,09	+14	+430	7,51055	1733,00	232,380	-26÷148	2,23	ЛЗР	34139
40	m-Ксилол	$C_8H_{10}$	106,17	+28	+530	6,13329	1461,925	215,073	-20÷220	1,1	ЛЗР	52829
41	o-Ксилол	$C_8H_{10}$	106,17	+31	+460	6,28893	1575,114	223,579	-3,8÷144,4	1,0	ЛЗР	41217
42	p-Ксилол	$C_8H_{10}$	106,17	+26	+528	6,25485	1537,082	223,608	-8,1÷138,3	1,1	ЛЗР	41207
43	Метан	$CH_4$	16,04	-	+537	5,68923	380,224	264,804	-182÷-162	5,28	ГГ	50000
44	Метиловий спирт	$CH_4O$	32,04	+6	+440	7,3527	1660,454	245,818	-10÷90	6,98	ЛЗР	23839

Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
45	Метилпропілкетон	$C_5H_{10}O$	86,133	+6	+452	6,98913	1870,4	273,2	-17÷103	1,49	ЛЗР	33879
46	Метилетилкетон	$C_4H_8O$	72,107	-6	-	7,02453	1292,791	232,340	-48÷80	1,90	ЛЗР	-
47	Нафталін	$C_{10}H_8$	128,06	+80	+520	9,67944 6,7978	3123,337 2206,690	243,569 245,127	0÷80 80÷159	0,9	ТГВ	39435
48	n-Нонан	$C_9H_{20}$	128,257	+31	+205	6,17776	1510,695	211,502	2÷150	0,78	ЛЗР	44684
49	Оксид вуглецю	CO	28,01	-	+605	-	-	-	-	12,5	ГТ	10104
50	Оксид етилену	$C_2H_4O$	44,05	-18	+430	-	-	-	-	3,2	ГТ (ВВ)	27696
51	n-Октан	$C_8H_{18}$	114,230	+14	+215	6,09396	1379,556	211,896	-14÷126	0,9	ЛЗР	44787
52	n-Пентадекан	$C_{15}H_{32}$	212,42	+115	+203	6,0673	1739,084	157,545	92÷270	0,5	ГР	44342
53	n-Пентан	$C_5H_{12}$	72,150	-44	+286	5,97208	1062,555	231,805	-50÷36	1,47	ЛЗР	45350
54	γ-Піколін	$C_6H_7N$	93,128	+39	+578	6,44382	1632,315	244,787	70÷145	1,4	ЛЗР	36702
55	Піридин	$C_5H_5N$	79,10	+20	+530	5,91684	1217,730	196,342	-19÷116	1,8	ЛЗР	35676
56	Пропан	$C_3H_8$	44,096	-96	+470	5,95547	813,864	248,116	-189÷42	2,3	ГТ	46353
57	Пропілен	$C_3H_6$	42,080	-	+455	5,94852	786,532	247,243	-107,3÷47,1	2,4	ГТ	45604
58	n-Пропіловий спирт	$C_3H_8O$	60,09	+23	+371	7,44201	1751,981	225,125	0÷97	2,3	ЛЗР	34405
59	Сірководень	$H_2S$	34,076	-	+246	-	-	-	-	4,3	ГТ	-
60	Сірковуглець	$CS_2$	76,14	-43	+102	6,12537	1202,471	245,616	-15÷80	1,0	ЛЗР	14020
61	Стирол	$C_8H_8$	104,14	+30	+490	7,06542	2113,057	272,986	-7÷146	1,1	ЛЗР	43888
62	Тетрагідрофуран	$C_4H_8O$	72,1	-20	+250	6,12008	1202,29	226,254	23÷100	1,8	ЛЗР	34730
63	n-Тетрадекан	$C_{14}H_{30}$	198,39	+103	+201	6,40007	1950,497	190,513	76÷254	0,5	ГР	44377
64	Толуол	$C_7H_8$	92,140	+7	+535	6,0507	1328,171	217,713	-26,7÷110,6	1,27	ЛЗР	40936
65	n-Тридекан	$C_{13}H_{28}$	184,36	+90	+204	7,09388	2468,910	250,310	59÷236	0,58	ГР	44424
66	2,2,4-Триметилпентан	$C_8H_{18}$	114,230	-4	+411	5,93682	1257,84	220,735	-60÷175	1,0	ЛЗР	44647
67	Оцтова кислота	$C_2H_4O_2$	60,05	+40	+465	7,10337	1906,53	255,973	-17÷118	4,0	ЛЗР	13097
68	n-Ундекан	$C_{11}H_{24}$	156,31	+62	+205	6,80501	2102,959	242,574	31÷197	0,6	ГР	44527
69	Формальдегід	$CH_2O$	30,03	-	+430	5,40973	607,399	197,626	-19÷60	7,0	ГТ	19007
70	Фтальовий ангідрид	$C_8H_4O_3$	148,1	+153	+580	7,12439	2879,067	277,501	134÷285	1,7(15г·м <sup>3</sup> )	ТГВ	-
71	Хлорбензол	$C_6H_5Cl$	112,56	+29	+637	6,38605	1607,316	235,351	-35÷132	1,4	ЛЗР	27315

Закінчення таблиці 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
72	Хлоретан	$C_2H_5Cl$	64,51	-50	+510	6,11140	1030,007	238,612	-56÷12	3,8	ГГ	19392
73	Циклогексан	$C_6H_{12}$	84,16	-17	+259	5,96991	1203,526	222,863	6,5÷200	1,3	ЛЗР	43833
74	Етан	$C_2H_6$	30,069	-	+515	-	-	-	-	2,9	ГГ	52413
75	Етилацетат	$C_4H_8O_2$	88,10	-3	+446	6,22672	1244,951	217,881	15÷75,8	2,0	ЛЗР	23587
76	Етилбензол	$C_8H_{10}$	106,16	+20	+431	6,35879	1590,660	229,581	-9,8÷136,2	1,0	ЛЗР	41323
77	Етилен	$C_2H_4$	28,05	-	+435	-	-	-	-	2,7	ГГ	46988
78	Етилен-гліколь	$C_2H_6O_2$	62,068	+111	+412	8,13754	2753,183	252,009	53÷198	4,29	ГР	19329
79	Етиловий спирт	$C_2H_6O$	46,07	+13	+400	7,81158	1918,508	252,125	-31÷78	3,6	ЛЗР	30562
80	Етишцеллозольв	$C_4H_{10}O_2$	90,1	+40	+235	7,86626	2392,56	273,15	20÷135	1,8	ЛЗР	26382

Таблиця 2 – Значення показників пожежної небезпеки деяких сумішей і технічних продуктів [11,12]

№ з/п	Продукт (ГОСТ, ТУ) (склад суміші), % (мас.)	Сумарна формула	Молярна маса, кг·кмоль <sup>-1</sup>	Температура спалаху, °С	Температура самозаймання, °С	Константи рівняння Антуана			Температурний інтервал значень констант рівняння Антуана, °С	Нижня концентраційна межа поширення полум'я, % (об)	Характеристика речовини	Теплота згоряння, кДж·кг <sup>-1</sup>
						A	B	CA				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	Бензин авіаційний Б-70 (ГОСТ 1012-72)	C <sub>7,267</sub> H <sub>14,796</sub>	102,2	-34	300	7,54424	2629,65	384,195	-40+100	0,79	ЛЗР	44094
2	Бензин А-72 (зимовий) (ГОСТ 2084-77)	C <sub>6,991</sub> H <sub>13,706</sub>	97,2	-36	-	4,19500	682,876	222,066	-60+85	1,08	ЛЗР	44239
3	Бензин АИ-93 (літній) (ГОСТ 2084-77)	C <sub>7,024</sub> H <sub>13,706</sub>	98,2	-36	-	4,12311	664,976	221,695	-60+95	1,06	ЛЗР	43641
4	Бензин АИ-93 (зимовий) (ГОСТ 2084-77)	C <sub>6,911</sub> H <sub>12,168</sub>	95,3	-37	-	4,26511	695,019	223,220	-60+90	1,1	ЛЗР	43641
5	Дизельне паливе «З» (ГОСТ 305-82)	C <sub>12,343</sub> H <sub>23,889</sub>	172,3	>+35	+225	5,07818	1255,73	199,523	40+210	0,61	ЛЗР	43590
6	Дизельне паливе «Л» (ГОСТ 305-82)	C <sub>14,511</sub> H <sub>29,120</sub>	203,6	>+40	+210	5,00109	1314,04	192,473	60+240	0,52	ЛЗР	43419
7	Гас освітлювальний КО-20 (ГОСТ 4753-68)	C <sub>13,595</sub> H <sub>26,860</sub>	191,7	>+40	+227	4,82177	1211,73	194,677	40+240	0,55	ЛЗР	43692



Продовження таблиці 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
8	Гас освітлювальний КО-22 (ГОСТ 4753-68)	C <sub>10,914</sub> H <sub>21,832</sub>	153,1	>+40	+245	5,59599	1394,72	204,260	40÷190	0,64	ЛЗР	43692
9	Гас освітлювальний КО-25 (ГОСТ 4753-68)	C <sub>11,054</sub> H <sub>21,752</sub>	154,7	>+40	+236	5,12496	1223,85	203,341	40÷190	0,66	ЛЗР	43692
10	Ксилол (суміш ізомерів) (ГОСТ 9410-60)	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	106,17	+29	+490	6,17972	1478,16	220,535	0÷50	1,1	ЛЗР	43154
11	Байт-спірит (ГОСТ 3134-78)	C <sub>10,5</sub> H <sub>21,0</sub>	147,3	>+33	+250	7,13623	2218,3	273,15	20÷80	0,7	ЛЗР	43966
12	Олива трансформаторна (ГОСТ 10121-76)	C <sub>21,74</sub> H <sub>42,28</sub> S <sub>0,04</sub>	303,9	>+135	+270	6,88412	2524,17	174,010	164÷343	0,29	ГР	43111
13	Олива АМТ-300 (ТУ 38-1 Г-68)	C <sub>22,25</sub> H <sub>33,48</sub> S <sub>0,34</sub> N <sub>0,07</sub>	312,9	>+170	+290	6,12439	2240,001	167,85	170÷376	0,2	ГР	42257
14	Олива АМТ-300 Т (ТУ 38101243-72)	C <sub>19,04</sub> H <sub>24,58</sub> S <sub>0,196</sub> N <sub>0,04</sub>	260,3	>+189	+334	5,62020	2023,77	164,09	171÷396	0,2	ГР	41778
15	Розчинник Р-4 (н-бутил-ацетат-12, толуол-62, ацетон-26)	C <sub>5,452</sub> H <sub>7,606</sub> O <sub>0,535</sub>	81,7	-7	+550	6,29685	1373,667	242,828	-15÷100	1,65	ЛЗР	40936
16	Розчинник Р-4 (ксилол-15, толуол-70, ацетон-15)	C <sub>6,231</sub> H <sub>7,798</sub> O <sub>0,223</sub>	86,3	-4	-	6,27853	1415,199	244,752	-15÷100	1,38	ЛЗР	43154

## Продовження таблиці 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
17	Розчинник Р-5 (н-бутил-ацетат-30, ксілол-40, ацетон-30)	C <sub>5,309</sub> H <sub>8,655</sub> O <sub>0,897</sub>	86,8	-9	-	6,30343	1378,851	245,039	-15÷100	1,57	ЛЗР	43154
18	Розчинник Р-12 (н-бутил-ацетат-30, ксілол-10, толуол-60)	C <sub>6,837</sub> H <sub>9,217</sub> O <sub>0,515</sub>	99,6	+10	-	6,17297	1403,079	221,483	0÷100	1,26	ЛЗР	43154
19	Розчинник М (н-бутил-ацетат-30, етилацет-5, етиловий спирт-60, ізобутиловий спирт-5)	C <sub>2,761</sub> H <sub>7,147</sub> O <sub>1,187</sub>	59,36	+6	+397	8,05697	2083,566	267,735	0÷50	2,79	ЛЗР	36743
20	Розчинник РМЛ (ТУ У 467-56) (толуол-10, етиловий спирт-64, н-бутиловий спирт-10, етилцелозоль-16)	C <sub>2,645</sub> H <sub>6,810</sub> O <sub>1,038</sub>	55,24	+10	+374	8,69654	2487,728	290,920	0÷50	2,85	ЛЗР	40936

Продовження таблиці 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
21	Розчинник РМЛ-218 (МРТУ6-10- 729-68) (н-бутилацетат- 9, ксилол-21,5, толуол-21,5, етиловий спирт-16, н- бутиловий спирт-3, етил- целозоль-13, етилацетат-16)	C <sub>4,791</sub> H <sub>8,318</sub> O <sub>0,974</sub>	81,51	+4	+399	7,20244	1761,043	251,546	0+50	1,72	ЛЗР	43154
22	Розчинник РМЛ-315 (ТУ 6-10-1013-70) (н-бутилацетат- 18, ксилол-25, толуол-25, н- бутиловий спирт-15, етилцелозоль- 17)	C <sub>5,962</sub> H <sub>9,779</sub> O <sub>0,845</sub>	94,99	+16	+367	6,83653	1699,687	241,00	0+50	1,25	ЛЗР	43154
23	Олива індустріальна «50»	-	-	+200	+380	-	-	-	-	-	ГР	-
24	Олива вазелінова	-	-	+187	+290	-	-	-	-	-	ГР	-
25	Олива турбінна 22	-	-	+184	+400	-	-	-	-	-	ГР	-

## Закінчення таблиці 2

26	Олива ВМ-4	-	-	+212	+400	-	-	-	-	-	ГР	-
27	Олива циліндрова «11»	-	-	+197	+350	-	-	-	-	-	ГР	-
28	Олива індустріальна (веретенна 2)	-	-	+164	+280	-	-	-	-	-	ГР	-
29	Олива індустріальна (веретенна 3)	-	-	+158	+320	-	-	-	-	-	ГР	-
30	Олива індустріальна (машинна С)	-	-	+181	+355	-	-	-	-	-	ГР	-
31	Олива солярна	-	-	+142	+360	-	-	-	-	-	ГР	-
32	Дизельне паливо «А» для тепловозних дизелів (ГОСТ 305-82)	-	-	+35	-	-	-	-	-	-	ЛЗР	-
33	Розчинник М (н- бутилацетат- 30, етилацетат- 5, етиловий спирт-60, ізобутиловий спирт-5)	$C_{2,761}$ $H_{7,147}$ $O_{1,187}$	59,4	+6	-	8,93204	2083,566	267,735	0+50	2,79	ЛЗР	-

**Таблиця 3 – Значення найнижчої теплоти згоряння деяких твердих горючих матеріалів [12]**

Речовини і матеріали	Найнижча теплота згоряння $Q_n^p$ , МДж · кг <sup>-1</sup>
Папір:	
розрихлений	13,40
книги, журнали	13,40
книги на дерев'яних стелажах	13,40
Паперово-паруватий пластик	18,00
Деревина (бруски W = 14 %)	14,00
Деревина (меблі у житлових і адміністративних будинках W = 8-10 %)	13,80
ДВП	21,00
ДСП	18,00
Кальцій (стружка)	15,80
Каніфоль	30,40
Кіноплівка триацетатна	18,80
Капрон	31,09
Карболітові вироби	26,90
Картон	15,00
Каучук СКС	43,89
Каучук натуральний	44,73
Шкіра	21,00
Каучук хлоропреновий	27,99
Фарбник жировий 5 С	33,18
Фарбник 9-78Ф п/е	20,67
Фарбник фталоціанотен 4 "3" М	13,76
Ледерин	17,76
Лінкруст полівінілхлоридний	17,08
Лінолеум:	
масляний	20,97
полівінілхлоридний	14,31
полівінілхлоридний двохшаровий	17,91
полівінілхлоридний на повстинній основі	16,57
полівінілхлоридний на тканинній основі	20,29
Лінопор	19,71
Магній	25,10
Міпора	17,40
Натрій металевий	10,88
Органічне скло	27,67
Полістирол	39,00
Гума	33,52
Текстоліт	20,90
Торф	16,60
Пінополіуретан	24,30
Волокно штапельне	13,80
Волокно штапельне у кипі 40×40×40 см	13,80
Поліетилен	47,14
Поліпропілен	45,67
Бавовна у тюках $\rho = 190 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$	16,75
Бавовна розрихлена	15,70
Льон розрихлений	15,70
Бавовна + капрон (3:1)	16,20

Таблиця 4 – Значення найнижчої теплоти згоряння деяких рідких і твердих горючих речовин [12]

№	Назва речовини	Формула речовини	Теплота згоряння, кДж/моль
1	2	3	4
1	Акрилова кислота, пропенова кислота	$C_3H_4O_2$	1280 кДж/моль
2	Алюмінію тристеарат	$C_{54}H_{105}O_6Al$	30470 кДж/моль
3	Амілацетат, аміловий ефір оцтової кислоти	$C_7H_{14}O_2$	3889,9 кДж/моль
4	Фтор-амілацетат, 1-метил-бутилацетат, фтор-аміловий ефір оцтової кислоти	$C_7H_{14}O_2$	3882 кДж/моль
5	Амілбензол, фенілпентан	$C_{11}H_{16}$	6581 кДж/моль
6	Амілбутират, пентілбутират, аміловий ефір масляної кислоти	$C_9H_{18}O_2$	5099 кДж/моль
7	Амілдіфеніл	$C_{17}H_{20}$	9180 кДж/моль
8	Амілметилкетон, 2-гептанон	$C_7H_{14}O$	3913,8 кДж/моль
9	Амілнафталін	$C_{15}H_{18}$	8140 кДж/моль
10	Амілнітрат	$C_5H_{11}O_3N$	651 кДж/моль
11	н-Аміловий спирт, 1-пентанол, бутилкарбінол	$C_5H_{12}O$	3383,6 кДж/моль
12	трет-Аміловий спирт, 2-метил-2-бутанол, диметилетилкарбінол	$C_5H_{12}O$	3353 кДж/моль
13	Амілпропіонат, аміловий ефір пропіонової кислоти	$C_8H_{16}O_2$	4494 кДж/моль
14	п-трет-Амілфеніламіловий ефір, п-трет-пентілфенілоксипентан	$C_{16}H_{26}O$	9230 кДж/моль
15	п-трет-Амілфенілбутиловий ефір	$C_{15}H_{24}O$	8560 кДж/моль
16	Акролеїн, пропеналь, акриальдегід, альдегід акрилової кислоти	$C_3H_4O$	604 кДж/моль
17	Аліловий спирт, 2-пропенол	$C_3H_6O$	2039,1 кДж/моль
18	Амілфенілметиловий ефір	$C_{12}H_{18}O$	6700 кДж/моль
19	Амілформіат, аміловий ефір мурашиної кислоти	$C_6H_{12}O_2$	3285,5 кДж/моль
20	н-Амілциклогексан	$C_{11}H_{22}$	6755 кДж/моль
21	1-Аміноантрахінон	$C_{14}H_9O_2N$	6655 кДж/моль
22	1-Аміно-5-бензоїл-аміноантрахінон	$C_{21}H_{14}O_3N_2$	10581 кДж/моль

Продовження таблиці 4

1	2	3	4
23	2-амінобензойна кислота, антранілова кислота	$C_7H_7O_2N$	3354 кДж/моль
24	3-амінобензойна кислота	$C_7H_7O_2N$	3344 кДж/моль
25	4-амінобензойна кислота	$C_7H_7O_2N$	3311,7 кДж/моль
26	АміноБутан, бутиламін	$C_4H_{11}N$	2534 кДж/моль
27	7-Аміногептанова кислота, аміноенантова кислота	$C_7H_{15}O_2N$	4212,5 кДж/моль
28	4-Аміно-3,5- диметилпіразол	$C_5H_9N_3$	3374 кДж/моль
29	2-Аміно-2-метилпропан, трет-бутиламін	$C_4H_{11}N$	2995 кДж/моль
30	Аміак	$NH_3$	316,5 кДж/моль
31	Ангідрид бутанової кислоти, бутиловий ангідрид, ангідрид масляної кислоти, масляний ангідрид	$C_8H_{14}O_3$	4586,41 кДж/моль
32	Анізол, метоксибензол, метилбензиловий ефір	$C_7H_8O$	3658 кДж/моль
33	Анілін, амінобензол, феніламін	$C_6H_7N$	3016 кДж/моль
34	Антрацен	$C_{14}H_{10}$	7059 кДж/моль
35	Антрацит		(33,9 - 34,8) МДж/кг
36	Ароматизована олива, теплоносії АМТ-300		127 кДж/моль
37	Ацеталь, 1,1-діетоксиетан, етилідендіетиловий ефір, діетилацеталь	$C_6H_{14}O_2$	398 кДж/моль
38	Ацетальдегід, етаналь, оцтовий альдегід	$C_2H_4O$	1192,48 кДж/моль
39	Ацетанілід, N- фенілацетамід, N- ацетиланілін, антифебрін	$C_8H_9ON$	4223 кДж/моль
40	Ацетилен, етін	$C_2H_2$	1301 кДж/моль
41	Ацетобутират целюлози		23677 кДж/кг
42	Ацетон, 2-пропанон, диметилкетон	$C_3H_6O$	1821,38 кДж/моль
43	Ацетонілацетон, 2,5- гександіон	$C_6H_{10}O_2$	3200 кДж/моль
44	Ацетонітріл, етанонітріл, ціанометан, нітрил оцтової кислоти	$C_2H_3N$	1198,29 кДж/моль
45	Ацетофенон, метилфенілкетон, ацетилбензол	$C_8H_8O$	4021,9 кДж/моль

Продовження таблиці 4

1	2	3	4
46	Барій	Ba	536 кДж/моль
47	Бензилбутиловий ефір адипінової кислоти	$C_{17}H_{24}O_4$	9327 кДж/моль
48	Бензилбутиловий ефір тіодиглікольової кислоти	$C_{15}H_{20}O_4S$	8058 кДж/моль
49	Бензилбутил-о-фталат	$C_{19}H_{20}O_4$	9708 кДж/моль
50	1-Бензоіламіноантрахінон	$C_{21}H_{13}O_3N$	9969 кДж/моль
51	5-Бензоіламіноаценафтен	$C_{19}H_{15}ON$	7471 кДж/моль
52	о-Бензоілбензойна кислота, бензофенон-о-карбонова кислота	$C_{14}H_{10}O_3$	6655 кДж/моль
53	Бензойна кислота	$C_7H_6O_2$	3176 кДж/моль
54	Бензол	$C_6H_6$	3169,4 кДж/моль
55	Берилій	Be	615 кДж/моль
56	Біс (1,2",5"-триметил-4"- оксипіпериділ-4") бутадін- 1,3	$C_{20}H_{32}O_2N_2$	12188 кДж/моль
57	Борнеол	$C_{10}H_{18}O$	6143 кДж/моль
58	Папір фотографічний		13272 кДж/кг
59	Бутан	$C_4H_{10}$	2657 кДж/моль
60	1,3-Бутандіол, 1,3- бутиленгліколь	$C_4H_{10}O_2$	2453 кДж/моль
61	2,3-Бутандіон, диметилкетон	$C_4H_8O_2$	1970 кДж/моль
62	Бутанова кислота, масляна кислота, етилоцтова кислота	$C_4H_8O_2$	2007,4 кДж/моль
63	1-Бутанол, н-бутиловий спирт	$C_4H_{10}O$	2728 кДж/моль
64	2-бутанол, втор-бутиловий спирт	$C_4H_{10}O$	2713 кДж/моль
65	Трет-бутанол, 2-метил-2- пропанол, триметилкарбінол	$C_4H_{10}O$	2690 кДж/моль
66	2-Бутанон, метилетилкетон	$C_4H_8O$	2469,4 кДж/моль
67	1,2,4-Бутантріол	$C_4H_{10}O_3$	2398 кДж/моль
68	транс-Бутендіова кислота, фумарова кислота	$C_4H_4O_4$	1335 кДж/моль
69	2-Бутенова кислота, кротонова кислота	$C_4H_6O_2$	1998 кДж/моль
70	2-Бутен-1-ол, кротиловий спирт, кротониловий спирт	$C_4H_8O$	2557,8 кДж/моль
71	3-Бутен-1-ол, вінілетиловий спирт, аллілкарбінол	$C_4H_8O$	2579,6 кДж/моль



Продовження таблиці 4

1	2	3	4
72	Бутилацетат, бутиловий ефір оцтової кислоти	$C_2H_{12}O_2$	3285 кДж/моль
73	втор-Бутилацетат	$C_6H_{12}O_2$	3276 кДж/моль
74	трет-Бутилацетат	$C_6H_{12}O_2$	3260 кДж/моль
75	Бутилбензол, 1-фенілбутан	$C_{10}H_{14}$	5608,9 кДж/моль
76	втор-Бутилбензол, 2-фенілбутан	$C_{10}H_{14}$	5608 кДж/моль
77	трет-Бутилбензол, 2-метил-2-фенілпропан	$C_{10}H_{14}$	5608 кДж/моль
78	Бутилгліколь, 2-бутоксиетанол, бутилцеллозольв, монобутиловий ефір етиленгліколя	$C_6H_{14}O_2$	3619 кДж/моль
79	Бутилкарбітол, 1-(бутоксиетокси)-2-етанол, монобутиловий ефір діетиленгліколя	$C_8H_{18}O_3$	4717 кДж/моль
80	Бутилметилкетон, 2-гексанон	$C_6H_{12}O$	3539 кДж/моль
81	2-Бутилоктанол-1	$C_{12}H_{26}O$	7987 кДж/моль
82	Бутилпропіонат, бутиловий ефір пропіонової кислоти	$C_7H_{14}O_2$	3 890 кДж/моль
83	Бутилфеніловий ефір, бутоксибензол	$C_{10}H_{14}O$	5502 кДж/моль
84	Бутилформіат, бутиловий ефір мурашиної кислоти	$C_5H_{10}O_2$	2681 кДж/моль
85	Бутилциклогексан	$C_{10}H_{20}$	6140 кДж/моль
86	Бутилциклопентан	$C_9H_{18}$	5550 кДж/моль
87	Бутилетилацетальдегід, 2-етилгексаналь, 2-етилкапроальдегід	$C_8H_{16}O$	4794 кДж/моль
88	Бутилетилкетон, 3-гептанон	$C_7H_{14}O$	3913 кДж/моль
89	1-бутін	$C_4H_6$	2599 кДж/моль
90	Бутоксибутен-1-ин-3	$C_8H_{12}O$	4707 кДж/моль
91	Валеріанова кислота, пентанова кислота	$C_5H_{10}O_2$	2617 кДж/моль
92	Валер'яновий альдегід, пентаналь, аміловий альдегід, валеральдегід	$C_5H_{10}O$	2948 кДж/моль
93	Вінілізооктиловий ефір	$C_{10}H_{20}O$	6132 кДж/моль
94	Вінілізопропіловий ефір	$C_5H_{10}O$	3038 кДж/моль

Продовження таблиці 4

1	2	3	4
95	Вінілтриметилноніловий ефір етеніл-окси-1-ізобутил-3,5-диметилгексан	$C_{14}H_{28}O$	8554 кДж/моль
96	Вінілхлорид, хлоретен, хлоретилен, хлорвініл, етенілхлорид	$C_2H_3Cl$	1156 кДж/моль
97	Вініпласт		18 кДж/кг
98	Водень	$H_2$	241,6 кДж/моль
99	Повсть будівельна		18,9 МДж/кг
100	Галова кислота, танін	$C_7H_6O_5$	2810 кДж/моль
101	Гексадекан	$C_{16}H_{34}$	10034 кДж/моль
102	Гексадециловий спирт, 1-гексадекано́л, цетиловий спирт	$C_{16}H_{34}O$	10627,3 кДж/моль
103	2,4-Гексадієналь	$C_6H_8O$	3134 кДж/моль
104	Гексана́ль, альдегід гексану, капроальдегід, капроновий альдегід	$C_6H_{12}O$	3563 кДж/моль
105	Гексахлорбутадієн	$C_4Cl_6$	82,5 кДж/моль
106	1-Гексен, бутилетилен, $\alpha$ -гексилєн	$C_6H_{12}$	3767,7 кДж/моль
107	3-Гексен-1-ол	$C_6H_{12}O$	3875,1 кДж/моль
108	Гексиламін, 1-аміногексан	$C_6H_{15}N$	3679 кДж/моль
109	Гексилацетат, ефір гексилу оцтової кислоти	$C_8H_{16}O_2$	4494,3 кДж/моль
110	Гексилдиетилгексагідро фталат	$C_{24}H_{46}O_4$	14010 кДж/моль
111	н-Гексилкарбітол, моногексильовий ефір діетиленгліколю	$C_{10}H_{22}O_3$	5965 кДж/моль
112	Гексилметилкетон, 2-октанон, 2-кетоктан	$C_8H_{16}O$	4770,9 кДж/моль
113	Спирт гексильовий, 1-гексанол, амількарбінол	$C_6H_{14}O$	4044,6 кДж/моль
114	втор-Гексильовий спирт, 2-гексанол, бутилметилкарбінол	$C_6H_{14}O$	4392,4 кДж/моль
115	трет-Гексильовий спирт, 3-метил-3-пентанол	$C_6H_{14}O$	3990,7 кДж/моль
116	Гексилпропіонат, гексильовий ефір пропіонової кислоти	$C_9H_{18}O_2$	5099,4 кДж/моль
117	Гексилформіат, гексильовий ефір мурашиної кислоти	$C_7H_{14}O_2$	3889,9 кДж/моль

Продовження таблиці 4

1	2	3	4
118	Гексилцеллозольв, гексилоксиетанол, гексилгліколь, моногоксиловий ефір етилгліколю	$C_8H_{18}O_2$	4848 кДж/моль
119	Гексилциклопентан	$C_{11}H_{22}$	6779 кДж/моль
120	Гептадециловий спирт, 1-гептадеканол	$C_{17}H_{36}O$	11285,9 кДж/моль
121	Гептан	$C_7H_{16}$	4501 кДж/моль
122	2-Гептанол	$C_7H_{16}O$	5048,3 кДж/моль
123	3-Гептанол, етилбутилкарбінол	$C_7H_{16}O$	4681,1 кДж/моль
124	Гептилбутират, гептиловий ефір масляної кислоти	$C_{11}H_{22}O_2$	6307,6 кДж/моль
125	Гептилметилкетон, 2-нонанон	$C_9H_{18}O$	5386,9 кДж/моль
126	Гептиловий спирт, 1-гептанол	$C_7H_{16}O$	4709,5 кДж/моль
127	Гептилпропіонат, гептиловий ефір пропіонової кислоти	$C_{10}H_{20}O_2$	5703,2 кДж/моль
128	Гептилформіат, гептиловий ефір мурашиної кислоти	$C_8H_{16}O_2$	4494,3 кДж/моль
129	Гетинакс марки В		(22129 – 22953) кДж/кг
130	Гідразин	$N_2H_4$	14644 кДж/кг
131	4-Гідразиндифеніловий ефір 2-сульфокислоти	$C_{12}H_{12}O_4N_2S$	5998 кДж/моль
132	2-α- Гідроксиметилтетрагідро- піран, тетрагідропіран-2- метанол	$C_6H_{12}O_2$	3425 кДж/моль
133	2-(2"-Гідрокси-5"- метилфеніл)-1,2,3- бензотриазол	$C_{13}H_{11}ON_3$	6850 кДж/моль
134	2-Гідроксиетилацетат, моноацетат етилгліколю, ацетат етилгліколю	$C_4H_8O_3$	2124,4 кДж/моль
135	Гідроксиетилморфолін, морфолінетанол, N- гідроксиетилморфолін	$C_6H_{13}O_2N$	3640 кДж/моль
136	Гідроксиетилпіперазин	$C_6H_{13}ON_2$	3810 кДж/моль
137	2-(2-Гідроксиетил)пірідин, 2-пірідилетанол	$C_7H_9ON$	3770 кДж/моль

Продовження таблиці 4

1	2	3	4
138	4-(2-Гідроксиетил) піридин, 4-піридилетанол	$C_7H_9ON$	3770 кДж/моль
139	N-Гідроксиетилпірролідін	$C_6H_{13}ON$	3730 кДж/моль
140	Гідрохінон, 1,4- дигідроксибензол, хинол, діоксибензол	$C_6H_6O_2$	2826 кДж/моль
141	Гліцерин, 1,2,3- пропантріол, гліцерол	$C_3H_8O_3$	1483 кДж/моль
142	Гліцерінацеталь фенілацетальдегіда	$C_{11}H_{14}O_3$	5650 кДж/моль
143	Гліциділметакрилат, епоксипропіловий ефір 2- метилпропенової кислоти	$C_7H_{10}O_3$	3710 кДж/моль
144	Гліциділфеніловий ефір, епоксипропіобензол	$C_9H_{10}O_2$	4650 кДж/моль
145	D(+) – Глюкоза, декстроза	$C_6H_{12}O_6$	2803 кДж/моль
146	Декагідронафталін, декалін	$C_{10}H_{18}$	5940 кДж/моль
147	Декан	$C_{10}H_{22}$	6346 кДж/моль
148	Деканаль, капринальдегід, каприновий альдегід, дециловий альдегід	$C_{10}H_{20}O$	6025 кДж/моль
149	1,10-Декандіова (себацінова) кислота	$C_{10}H_{18}O_4$	5431 кДж/моль
150	Деканова (капринова) кислота	$C_{10}H_{20}O_2$	5058 кДж/моль
151	2-Деканон, метилетилкетон	$C_{10}H_{20}O$	1921 кДж/моль
152	Децилацетат, дециловий ефір оцтової кислоти	$C_{12}H_{24}O_2$	6912 кДж/моль
153	Децилнафталін	$C_{20}H_{28}$	11220 кДж/моль
154	Дециловий спирт, 1-деканол	$C_{10}H_{22}O$	6677,6 кДж/моль
155	Діамілбіфеніл	$C_{22}H_{30}$	12260 кДж/моль
156	Діамілнафталін	$C_{20}H_{28}$	11 220 кДж/моль
157	Діаміловий ефір, пентоксипентан	$C_{10}H_{22}O$	6245 кДж/моль
158	Діамілхлорнафталін	$C_{20}H_{27}Cl$	11060 кДж/моль
159	1,2-Діамінобензол, о- фенілендіамін	$C_6H_8N_2$	3330 кДж/моль
160	1,3-Діамінобензол, м-фенілендіамін	$C_6H_8N_2$	3320 кДж/моль
161	1,4-Діамінобензол, п- фенілендіамін	$C_6H_8N_2$	3330 кДж/моль
162	1,6-Діаміногексан, 1,6-гександіамін	$C_6H_{16}N_2$	4570 кДж/моль

Продовження таблиці 4

1	2	3	4
163	1,5-Діамінонафталін, 1,5-нафтілендіамін	$C_{10}H_{10}N_2$	5410 кДж/моль
164	3,4-Діамінотолуол, 4-метил-о-фенілендіамід	$C_7H_{10}N_2$	4100 кДж/моль
165	1,4-Діаміно-2',4',6'-триметилфенілантрахінон	$C_{32}H_{30}O_2N_2$	16844,8 кДж/моль
166	Діафен ФІІ, N-ізопропіл-N'-феніл-п-фенілендіамін	$C_{15}H_{18}N_2$	8410 кДж/моль
167	Діафен ІЗ, N-феніл-N-(1,3-диметилбутил)-п-фенілендіамід	$C_{18}H_{24}N_2$	10150 кДж/моль
168	Діацетоновий спирт, 4-гідрокси-4-метилпентанон-2, діацетон	$C_6H_{12}O_2$	3730 кДж/моль
169	Дібензоат триетиленгліколя, 1,2-ді(бензоатетокси)етан	$C_{20}H_{22}O_6$	9985 кДж/моль
170	Дибутіладипінат, дибутиловий ефір гександіонової кислоти, дибутиловий ефір адипінової кислоти	$C_{14}H_{26}O_4$	8265,5 кДж/моль
171	Дибутілмалеат, дибутиловий ефір бутендіової кислоти	$C_{12}H_{20}O_4$	6782,6 кДж/моль
172	н-Дибутіловий ефір, бутоксибутан, бутиловий ефір	$C_8H_{18}O$	4990 кДж/моль
173	1-(3,5-Ди-трет-бутил-4-оксибензил)-трет-октилтіосемікарбазид, озонін-20	$C_{24}H_{43}ON_3S$	14740 кДж/моль
174	N-(3,5-Ди-трет-бутил-4-оксибензил)-N'-фенілпіперазин, озонін-87	$C_{25}H_{36}ON_2$	14030 кДж/моль
175	Ді-трет-бутилпероксид, перекис ді-трет-бутилу	$C_8H_{18}O_2$	5300 кДж/моль
176	3,5-Дибутілпіридин	$C_{13}H_{21}N$	7620 кДж/моль
177	N,N'-Ді-втор-бутил-п-фенілендіамін	$C_{14}H_{22}N_2$	8180 кДж/моль
178	Ді-втор-бутилфенол	$C_{14}H_{22}O$	7910 кДж/моль
179	2,4-Ді-трет-бутилфенол	$C_{14}H_{22}O$	7910 кДж/моль

Продовження таблиці 4

1	2	3	4
180	Дібутилфталат, дибутиловий ефір фталевої кислоти, фтальоводи- бутиловий ефір	$C_{16}H_{22}O_4$	8686 кДж/моль
181	Дигексиловий ефір, н- гексиловий ефір	$C_{12}H_{26}O$	7473 кДж/моль
182	Дигептиловий ефір, 1-гептилоксигептан гептиловий ефір	$C_{14}H_{30}O$	8701 кДж/моль
183	2,4-Дигідроксибензойна кислота, диоксибензойна кислота	$C_7H_6O_4$	2942,8 кДж/моль
184	2,4-Дигідроксибензофенон, 2,4-діоксибензофенон, бензон O	$C_{13}H_{10}O_3$	5900 кДж/моль
185	9,10-Дигідрокси-1,4- діаміноантрацен, лейко-1,4- діаміноантрахінон	$C_{14}H_{12}O_2N_2$	6834,5 кДж/моль
186	1,8-Дигідрокси-4,5- динітроантрахінон, 4,5- динітрохризазин	$C_{14}H_6O_8N_2$	5193,4 кДж/моль
187	Дигліколя ділевулінат, 2,2'- оксибіс (етиллевулінат), диетилен-гліколь дилевулінат	$C_{14}H_{22}O_7$	7138 кДж/моль
188	Дідециловий ефір, децилоксидекан, дециловий ефір	$C_{20}H_{42}O$	12386 кДж/моль (розр.)
189	Діізоаміловий ефір, 3-метилбутилокси-3"- метилбутан, ізоаміловий ефір	$C_{10}H_{22}O$	6245 кДж/моль (розр.)
190	Діізобутилкетон, 2,6- диметил-4-гептанон, ізовалерон, діізопропілацетон	$C_9H_{18}O$	5386 кДж/моль (розр.)
191	Діізопропіламін	$C_6H_{15}N$	3679 кДж/моль
192	Діізопропілкетон, 2,4- диметил-3-пентанон	$C_7H_{14}O$	3913,8 кДж/моль
193	Діізопропіловий ефір, ізопропілоксиізопропан, ізопропіловий ефір	$C_6H_{14}O$	3735,6 кДж/моль

Продовження таблиці 4

1	2	3	4
194	N,N-Диметиланілін	$C_8H_{11}N$	4586,3 кДж/моль
195	2,6-Ді-( $\alpha$ -метилбензил)-4-метилфенол	$C_{23}H_{24}O$	11970 кДж/моль
196	2,3-Диметилгексан	$C_8H_{18}$	5111 кДж/моль
197	2,4-Диметилгексан	$C_8H_{18}$	5105 кДж/моль
198	3,5-Диметил-1-гексин-3-ол	$C_8H_{14}O$	5021,5 кДж/моль
199	3,3-Диметилгептан	$C_9H_{20}$	5718 кДж/моль
200	2,6-Диметил-4-гептанол, дізобутилкарбінол	$C_9H_{20}O$	6371,9 кДж/моль
201	Диметилдекагідронафталін, диметилдекалін	$C_{12}H_{22}$	7204 кДж/моль
202	2,6-Диметилдіоксан-1,4	$C_6H_{12}O_2$	3530 кДж/моль
203	Диметилди(феніламінофенокси)силан	$C_{26}H_{26}O_2N_2Si$	33744 кДж/кг
204	1,3-Диметил-1,3-дифенілциклобутан	$C_{18}H_{20}$	9690 кДж/моль
205	3,7-Диметилксантин, Теобромін	$C_7H_8O_2N_4$	3536 кДж/моль
206	Диметиловий ефір, метиловий ефір, метоксиметан	$C_2H_6O$	1322 кДж/моль
207	Диметиловий ефір етилгліколя, 1,2-диметоксіетан, диметилгліколь	$C_4H_{10}O_2$	2406,5 кДж/моль (для рідин)
208	2,3-Диметилоктан	$C_{10}H_{22}$	6339 кДж/моль
209	4,5-Диметилоктан	$C_{10}H_{22}$	6342 кДж/моль
210	2,2-Диметилпентан, 2,2,4-триметилбутан	$C_7H_{16}$	4483 кДж/моль
211	2,3-Диметилпентан	$C_7H_{16}$	4490 кДж/моль
212	2,4-Диметилпентан, діізопропілметан	$C_7H_{16}$	4487 кДж/моль
213	2,3-Диметилпентальдегід, 2,3-диметилпентаналь	$C_7H_{14}O$	4178 кДж/моль
214	2,4-Диметил-3-пентанол, діізопропілкарбінол	$C_7H_{16}O$	5055,2 кДж/моль
215	2,2-Диметилпропан, неопентан, 2-метилізобутан, тетраметилметан	$C_5H_{12}$	3253 кДж/моль
216	2,2-Диметил-1-пропанол, неопентиловий спирт, трет-бутилкарбінол	$C_5H_{12}O$	3737,7 кДж/моль
217	Диметилсукцинат, диметиловий ефір бутандіонової кислоти	$C_6H_{10}H_4$	2996,3 кДж/моль

Продовження таблиці 4

1	2	3	4
218	Диметилтерефталат, диметиловий ефір бензол- 1,4-дикарбонової кислоти	$C_{10}H_{10}O_4$	4648,1 кДж/моль
219	Диметилфталат, диметиловий ефір о-фталевої кислоти	$C_{10}H_{10}O_4$	4681,6 кДж/моль
220	1,1-Диметилциклогексан	$C_8H_{16}$	4902 кДж/моль
221	1,4-транс- Диметилциклогексан	$C_8H_{16}$	4898 кДж/моль
222	1,4-цис- Диметилциклогексан	$C_8H_{16}$	4906 кДж/моль
223	2,5-Диметоксихлорбензол	$C_8H_9O_2Cl$	3890 кДж/моль
224	2- Диморфоліацетилфлуоре- нон	$C_{23}H_{26}O_3N_2$	7157 кДж/моль
225	1,5-Динітроантрахінон	$C_{14}H_6O_6N_2$	6384,8 кДж/моль
226	Діоктиловий ефір, октиловий ефір, 1-октилоксіоктан	$C_{16}H_{34}O$	9930 кДж/моль
227	Дипропілкетон, 4-гептанон, бутирон	$C_7H_{14}O$	3913 кДж/моль
228	Дипропиловий ефір, пропиловий ефір, пропилоксипропан	$C_6H_{14}O$	3760 кДж/моль
229	Дипсевдокумілметан	$C_{19}H_{24}$	10410 кДж/моль
230	1,4-Ді (2',4',6'- триметилфеніл) діаміноантрахінон	$C_{32}H_{29}O_2N_2$	18639,7 кДж/моль
231	Дифеніл, біфеніл, фенілбензол	$C_{12}H_{10}$	6023 кДж/моль
232	1,2-Дифенілбензол, о-терфеніл	$C_{18}H_{14}$	9060 кДж/моль
233	1,3-Дифенілбензол, м-терфеніл	$C_{18}H_{12}$	9060 кДж/моль
234	1,4-Дифенілбензол, п- терфеніл	$C_{18}H_{14}$	9060 кДж/моль
235	1,1-Дифенілбутан	$C_{16}H_{18}$	8560 кДж/моль
236	Дифеніл-2-бутен-1-он, дипнон	$C_{16}H_{14}O$	8080 кДж/моль
237	Дифенілметан, дітан, бензилбензол	$C_{13}H_{12}$	6720 кДж/моль
238	2,2-Ди(п-фенілол) пропан	$C_{15}H_{16}O_2$	7640 кДж/моль
239	1,1-Дифенілпентан	$C_{17}H_{20}$	9180 кДж/моль
240	1,1-Дифенілпропан	$C_{15}H_{16}$	7950 кДж/моль



Продовження таблиці 4

1	2	3	4
241	1,5-Дифеніл-3-стирільпіразолін	$C_{23}H_{16}N_2$	12355 кДж/моль
242	N,N'-Дифеніл-п-фенілендіамін	$C_{18}H_{16}N_2$	9420 кДж/моль
243	1,1-Дифенілетан	$C_{14}H_{14}$	7330 кДж/моль
244	1,2-Дифенілетан	$C_{14}H_{14}$	7330 кДж/моль
245	1,1-Дифенілетан-4,4"-діізоціанат	$C_{15}H_{12}O_2N_2$	7380 кДж/моль
246	1,3-Дихлор-2-аміноантрахінон	$C_{14}H_7O_2NCl_2$	6280 кДж/моль
247	1,3-Дихлорантрахінон	$C_{14}H_6O_2Cl_2$	6146 кДж/моль
248	1,2-дихлорбензол, о-дихлорбензол	$C_6H_4Cl_2$	2768,6 кДж/моль
249	Дихлорметан, метиленхлорид, хлористий метилен	$CH_2Cl_2$	448 кДж/моль
250	2,3-Дихлорпропілен, $\alpha$ -епідихлоргидрін, $\alpha$ -хлоралліл хлористий	$C_3H_4Cl_2$	1429 кДж/моль
251	1-(2,4-Дихлорфенокси)-2-пропанол, 2,4-дихлорфеніловий ефір пропіленгліколя	$C_9H_{20}O_2Cl_2$	5790 кДж/моль
252	2,4-дихлорфеноксиоцтова кислота, 2,4-Д (гербіцид)	$C_8H_6O_3Cl_2$	3930 кДж/моль
253	2,4-Дихлорфенол	$C_6H_4OCl_2$	2920 кДж/моль
254	1,1-дихлоретан, етиліден хлористий	$C_2H_4Cl_2$	1076 кДж/моль
255	1,2-дихлоретилен, сим-дихлоретиленациетилендихлорид, диоформ	$C_2H_2Cl_2$	961 кДж/моль
256	Диетиламін	$C_4H_{11}N$	2550,8 кДж/моль
257	$\mu$ -Диетилбензол, 1,3-диетилбензол	$C_{10}H_{14}$	5608 кДж/моль
258	о-Диетилбензол, 1,2-диетилбензол	$C_{10}H_{14}$	5608,9 кДж/моль
259	п-Диетилбензол, 1,4-диетилбензол	$C_{10}H_{14}$	5608,9 кДж/моль
260	Ди-2-етилбутират триетиленгліколю	$C_{18}H_{34}O_6$	9812 кДж/моль
261	Ди-2-етилгексоат Триетиленгліколя	$C_{22}H_{42}O_6$	12384 кДж/моль
262	N,N-Диетил-2,5-диметилбензамід	$C_{13}H_{19}ON$	7300 кДж/моль

Продовження таблиці 4

1	2	3	4
263	Диетилен-біс-гліколят, диетилетилендігліколят	$C_{10}H_{20}O_6$	5249 кДж/моль
264	Диетилкарбонат, диетиловий ефір вугільної кислоти	$C_5H_{10}O_3$	2910,6 кДж/моль
265	Диетилкетон, 3-пентанон, симм-диметилацетон, пропіон	$C_5H_{10}O$	2924 кДж/моль
266	Диетилмалеат, діетиловий ефір бутендіової кислоти	$C_8H_{12}O_4$	4147,9 кДж/моль
267	Диетиловий ефір, етиловий ефір, етоксидетан	$C_4H_{10}O$	2531 кДж/моль
268	Диетиловий ефір м- нітрофенілгідразономезокса левої кислоти, ромуцид		6545 кДж/моль
269	Диетиловий ефір тетрафторгександіонової кислоти, диетиловий ефір перфторадишніонової кислоти, диетиладифторат	$C_{10}H_{10}O_4F_8$	4014 кДж/моль
270	Диетиловий ефір тріетоксисилілетилфосфоно вої кислоти, ефір перфторглутарової кислоти, диетилглутарфторат	$C_9H_{10}O_4F_6$	3319 кДж/моль
271	3,3-Диетилпентан	$C_9H_{20}$	5728 кДж/моль
272	Диетилсукцинат, діетиловий ефір бутандіової (янтарної) кислоти	$C_8H_{14}O_4$	4315,5 кДж/моль
273	3,5-Диетилтолуол, 1-метил- 3,5-диетилбензол	$C_{11}H_{16}$	6224 кДж/моль
274	Диетилцеллозоль, 1,2- діетоксиетан, диетиловий ефір етилгліколя, диетилгліколь	$C_6H_{14}O_2$	3633,2 кДж/моль
275	Додекан	$C_{12}H_{26}$	7575 кДж/моль
276	Додеканова (лауринова) кислота	$C_{12}H_{24}O_2$	7414 кДж/моль
277	Додециловий спирт, 1- додеканол, лауриновий спирт	$C_{12}H_{26}O$	8307,8 кДж/моль
278	Деревина дубова		(18221 - 19874) кДж/кг
279	Деревина ялинкова		20305 кДж/кг
280	Деревина соснова		(18731 - 20853) кДж/кг
281	Рідина ФМ-1, олігомер 1,3,5-триметил-1,1,3,5,5- пентафеніл трисилоксан	$C_{33}H_{34}O_2Si_3$	36032 кДж/кг

Продовження таблиці 4

1	2	3	4
282	Ізоамілацетат, 3-метил-бутилацетат, ізоаміловий ефір оцтової кислоти	$C_7H_{14}O_2$	3881,5 кДж/моль
283	Ізоамілбутират, 3-метилбутилбутаноат, ізоаміловий ефір масляної кислоти	$C_9H_{18}O_2$	5092,7 кДж/моль
284	Ізоаміловий спирт, 3-метил-1-бутанол	$C_5H_{12}O$	3380 кДж/моль
285	Ізоамілпропіонат, 3-метилбутилпропіонат	$C_8H_{16}O_2$	4487,1 кДж/моль
286	Ізоамілформіат, 3-метилбутилформіат, ізоаміловий ефір мурашиної кислоти	$C_6H_{12}O_2$	3276 кДж/моль
287	Ізобутан, 2-метилпропан, триметилметан	$C_4H_{10}$	2649 кДж/моль
288	Ізобутилацетат, 2-метилпропілацетат, ізобутиловий ефір оцтової кислоти	$C_6H_{12}O_2$	3276 кДж/моль
289	Ізобутилбензол	$C_{10}H_{14}$	5608 кДж/моль
290	Ізобутилбутират, ізобутиловий ефір масляної кислоти	$C_8H_{16}O_2$	4487,1 кДж/моль
291	Ізобутилен, 2-метилпропен-1	$C_4H_8$	2577 кДж/моль
292	Ізобутилметилкетон, 4-метил-2-пентанон	$C_6H_{12}O$	3539 кДж/моль
293	Ізобутиловий альдегід, 2-метилпропаналь, ізобутираль, ізомасляний альдегід	$C_4H_8O$	1214 кДж/моль
294	Ізобутилпропіонат, ізобутиловий ефір пропіонової кислоти	$C_7H_{14}O_2$	3881,5 кДж/моль
295	Ізобутилформіат, ізобутиловий ефір мурашиної кислоти	$C_5H_{10}O_2$	2670 кДж/моль

Продовження таблиці 4

1	2	3	4
296	Ізовалеріанова кислота, метилбутанова, ізопентанова	$C_5H_{10}O_2$	2670,8 кДж/моль
297	Ізовалеріановий альдегід, 3-метилбутаналь	$C_5H_{10}O$	2947 кДж/моль
298	Ізогексан, 2-метилпентан, диметилпропілметан, 2-етилбутан	$C_6H_{14}$	3880 кДж/моль
299	Ізогексиловий спирт, 4-метил-1-пентанол, ізоамілкарбінол	$C_6H_{14}O$	4375,5 кДж/моль
300	Ізодекальдегід, метилнонаналь	$C_{10}H_{20}O$	6025 кДж/моль
301	Ізодеканова кислота, метилнонанова кислота	$C_{10}H_{20}O$	5748,8 кДж/моль
302	Ізомасляна кислота, 2-метилпропанова, ізобутилова	$C_4H_8O_2$	2055 кДж/моль
303	Ізооктанова кислота, метилгептанова кислота	$C_8H_{16}O_2$	4517,5 кДж/моль
304	Ізопентан, 2-метилбутан	$C_5H_{12}$	3264 кДж/моль
305	Ізопрен, 2-метил-1,3- бутадієн, $\alpha$ -метилдивініл, гемітерпен	$C_5H_8$	2993 кДж/моль
306	Ізопропіламін, 2- амінопропан	$C_3H_9N$	1958,4 кДж/моль
307	Ізопропілацетат, ізопропіловий ефір оцтової кислоти	$C_5H_{10}O_2$	2670,4 кДж/моль
308	2-Ізопропілбіфеніл, 2- моноізопропілдіфеніл	$C_{15}H_{16}$	7950 кДж/моль
309	2-Ізопропілбіциклогексил	$C_{15}H_{28}$	9050 кДж/моль
310	Ізопропілбутират, ізопропілбутаноат, ізопропіловий ефір масляної кислоти	$C_7H_{14}O_2$	3881,5 кДж/моль
311	4-Ізопропілгептан	$C_{10}H_{22}$	6344 кДж/моль
312	Ізопропілметилкетон, 2- метил-3-бутанон, 1,1- диметилацетон	$C_5H_{10}O$	2924 кДж/моль
313	Ізопропіловий спирт, 2- пропанол, ізопропанол, диметилкарбінол	$C_3H_8O$	2051,4 кДж/моль
314	Ізопропіловий ефір хлорвугільної кислоти, ізопропілхлоркарбонат	$C_4H_7O_2Cl$	1846 кДж/моль

Продовження таблиці 4

1	2	3	4
315	Ізопропілпропіонат, ізопропіловий ефір пропіонової кислоти	$C_6H_{12}O_2$	3276 кДж/моль
316	Ізопропілформіат, ізопропіловий ефір мурашиної кислоти	$C_4H_8O_2$	2064,9 кДж/моль
317	Ізопропіл-3- хлорфенілкарбамат, ізопропіловий ефір 3- хлорфенілкарбамінової кислоти	$C_{10}H_{12}O_2NCl$	5170 кДж/моль
318	Ізопропілциклогексан	$C_9H_{18}$	5518 кДж/моль
319	Ізофталева кислота, 1,3- бензолдикарбонова кислота	$C_8H_6O_4$	3203 кДж/моль
320	Ітаконова кислота, пропілен-2,3-дикарбонова кислота	$C_6H_6O_4$	1981,4 кДж/моль
321	μ-Йодбензойна кислота, 3-йодбензойна кислота	$C_7H_5O_2I$	3301 кДж/моль
322	Кальцій,	Ca	633,7 кДж/моль
323	Каніфоль	$C_{20}H_{30}O_2$	30,4 МДж/кг
324	Капролактам, лактам ε- амінокапронової кислоти	$C_6H_{11}ON$	3604 кДж/моль
325	Капрон		31087 кДж/кг
326	Каучук бутадієнстирольний СКС-ЗОАР		43932 кДж/моль
327	Кетен, карбометилен, етенон	$C_2H_2O$	22803 кДж/кг
328	Клепка букова для паркету		17363,6 кДж/кг
329	Фарбник яскраво- червоний Ж	$C_{16}H_{18}O_3N_4$	8932,8 кДж/моль
330	Фарбник дисперсний жовтий "3" (основа)	$C_{15}H_{14}O_2N_3Na$	258 кДж/моль
331	Фарбник дисперсний жовтий 35-72Ф ПЕ	$C_{23}H_{12}O_2N_2$	8687 кДж/моль
332	Фарбник дисперсний жовтий 276-69Ф ПЕ	$C_{27}H_{18}O_3N_4$	13415 кДж/моль
333	Фарбник дисперсний помаранчевий 4К	$C_{20}H_{18}O_3N_4$	21715 кДж/кг
334	Фарбник дисперсний синьо-зелений (основа)	$C_{18}H_{18}O_6N_2$	23472 кДж/кг
335	Фарбник дисперсний синій 7-74 п/е	$C_{20}H_{17}O_5N_3$	9206 кДж/моль
336	Фарбник дисперсний яскраво-рожевий (основа)	$C_{15}H_{12}O_3N_2$	6746 кДж/моль

Продовження таблиці 4

1	2	3	4
337	Фарбник дисперсний яскраво-фіолетовий 64-73Ф	$C_{18}H_{15}O_5N$	25773 кДж/кг
338	Фарбник жиророзчинний синій антрахіноновий	$C_{32}H_{30}O_2N_2$	16900 кДж/моль
339	Фарбник кубовий золотисто-жовтий ЖХ	$C_{24}H_{12}O_2$	8157 кДж/моль
340	Фарбник кубовий коричневий КД, 40%-ий	$C_{42}H_{23}O_6N_3$	13970 кДж/моль
341	Фарбник прямий яскраво- червоний	$C_{35}H_{25}O_{10}N_7S_2N_{a_2}$	11067 кДж/кг
342	о-крезол, 2-метилфенол, о- гідрокситолуол	$C_7H_8O$	3569 кДж/моль
343	п-крезол, 4-метилфенол, 1- гідрокси-4-метилбензол	$C_7H_8O$	3573 кДж/моль
344	Кротонова кислота, бутенова, пропіленкарбонова, β-метакрилова	$C_4H_6O_2$	2011 кДж/моль
345	Кротоновий альдегід, 2- бутеналь, β-метилакролаїн, пропілен-альдегід	$C_4H_6O$	2219 кДж/моль
346	м-код-ксилол, 1,3- диметилбензол, 3-ксилол	$C_8H_{10}$	5608,9 кДж/моль
347	о-ксилол, 1,2- диметилбензол	$C_8H_{10}$	4376 кДж/моль
348	п-ксилол, 1,4- диметилбензол	$C_8H_{10}$	4375 кДж/моль
349	Кумол, ізопропілбензол, 2- фенілпропан	$C_9H_{12}$	5608,9 кДж/моль
350	Лауриновий альдегід, додеканаль	$C_{12}H_{24}O$	7226 кДж/моль
351	Левоамін, трео-1-(п- нітрофеніл)-2-амінопропан- 1,3-диол	$C_9H_{12}O_4N_2$	107 кДж/моль
352	d,l-Лімонен, (±)-лімонен, 1,8-ментадієн, дипентен, цинен, 1-метил-4- ізопропенілциклогексен	$C_{10}H_{16}$	5900 кДж/моль
353	Літій	Li	43221 кДж/кг
354	Літій гідрид	LiH	392,3 кДж/моль
355	Мазут		38074 ± 41840 кДж/кг

Продовження таблиці 4

1	2	3	4
356	Мезитилоксид, оксид мезитилу, 4-метил-3-пентен-2-он, ізопропіліденацетон	$C_6H_{10}O$	3426 кДж/моль
357	Метакрилова кислота, 2-метилпропенова кислота, $\alpha$ -метилакрилова кислота	$C_4H_6O_2$	2011 кДж/моль
358	Металліловий спирт, 2-метил-2-пропенол, ізобутенол	$C_4H_8O$	2549,7 кДж/моль
359	Метан	$CH_4$	802 кДж/моль
360	Метантиол	$CH_4S$	1520,8 кДж/моль
361	Метилаль, диметоксиметан, формаль	$C_3H_8O_2$	1772 кДж/моль
362	Метиламін, амінометан	$CH_5N$	1034 кДж/моль
363	п-Метиланізол, метокси-4-метилбензол, п-крезілметиловий ефір, метил-п-крезол, п-метокситолуол	$C_8H_{10}O$	4285 кДж/моль
364	о-Метиланізол, 1-метокси-2-метилбензол	$C_8H_{10}O$	4260 кДж/моль
365	Метилацетат, метиловий ефір оцтової кислоти	$C_3H_6O_2$	1472,2 кДж/моль
366	Метилбензоат, метиловий ефір бензойної кислоти	$C_8H_8O_2$	3957,6 кДж/моль
367	2-Метилбіфеніл, 2-метилдифеніл	$C_{13}H_{12}$	6720 кДж/моль.
368	2-метил-2-бутен, триметилетилен $\beta$ -ізоамілен	$C_5H_{10}$	3175 кДж/моль
369	3-метил-1-бутен, ізопропілетилен $\alpha$ -ізоамілен	$C_5H_{10}$	3143 кДж/моль
370	2-Метил-1-бутен-3-ол	$C_5H_{10}O$	3190 кДж/моль
371	Метил-трет-бутиловий ефір	$C_5H_{12}O$	3126 кДж/моль
372	3-метил-1-бутил-3-ол	$C_5H_8O$	3051 кДж/моль
373	2-Метилгексан, ізогептан	$C_7H_{16}$	4494 кДж/моль
374	2-Метилгептан, ізookтан	$C_8H_{18}$	5109 кДж/моль
375	Метилгептаноат, метиловий ефір гептанової кислоти, метиловий ефір енантової кислоти	$C_8H_{16}O_2$	4866 кДж/моль
376	2-Метилдекан, ізоундекан	$C_{11}H_{24}$	6954 кДж/моль
377	2-метиліндол	$C_9H_9N$	4797 кДж/моль
378	Метиллактат, метил 2-гідроксипропіонат	$C_4H_8O_3$	2106,2 кДж/моль
379	1-Метилнафталін $\alpha$ -метилнафталін	$C_{11}H_{10}$	5620 кДж/моль

Продовження таблиці 4

1	2	3	4
380	2-Метилнонан, ізодекан	$C_{10}H_{22}$	6338 кДж/моль
381	Метиловий спирт, метанол, деревний спирт	$CH_4O$	763,8 кДж/моль
382	2-Метилоктадециламіно-5'- сульфоанлід 1-гідрокси-4- (4''-гідрокси- 2''- хлорфенілазо)-2-нафтойної кислоти	$C_{39}H_{55}O_6N_4SCl$	21 903 кДж/моль
383	2-Метилоктан, ізононан	$C_9H_{20}$	5724 кДж/моль
384	3-Метилоктан	$C_9H_{10}$	5727 кДж/моль
385	4-Метилоктан	$C_9H_{20}$	5727 кД ж/моль
386	2-Метилпентальдегід, 2- метилпентаналь, 2- метилвалеральдегід	$C_6H_{12}O$	3562,9 кДж/моль
387	3-Метилпентан, 2-етилбутан	$C_6H_{14}$	3882 кДж/моль
388	2-Метил-1,3-пентандіол	$C_6H_{14}O_2$	3740 кДж/моль
389	2-Метил-2,4-пентандіол, гексиленгліколь	$C_6H_{14}O_2$	3793 кДж/моль
390	2-Метилпентанова кислота, 2-метилвалеріанова кислота, метилпропілоцтова кислота, пентан-2-карбонова кислота	$C_6H_{12}O_2$	3286 кДж/моль
391	2-Метил-2-пентанол	$C_6H_{14}O$	3990,7 кДж/моль
392	4-Метил-2-пентанол, метиламіловий спирт, метилізобутилкарбінол, МІБС, МІС	$C_6H_{14}O$	3923,8 кДж/моль
393	2-Метил-1-пентен, метилпропілетилен	$C_6H_{12}$	3752 кДж/моль
394	2-метил-2-пентен	$C_6H_{12}$	3747 кДж/моль
395	3-Метил-1-пентинол	$C_6H_{10}O$	3709,8 кДж/моль
396	2-Метилпіридин $\alpha$ -піколін	$C_6H_7N$	3419 кДж/моль
397	Метил-2-пірролідон, N- метил $\alpha$ -пірролідон, N- метил- $\gamma$ -бутиролактам, 1- метил-5-пірролідінон	$C_5H_9ON$	2991 кДж/моль
398	2-Метилпропеналь, метакриловий альдегід, $\alpha$ -метилакролеїн	$C_4H_6O$	2219 кДж/моль
399	Метилпропілкетон, 2- пентанон	$C_5H_{10}O$	2918 кДж/моль
400	ефір Метилпропіловий, 1- метоксипропан	$C_4H_{10}O$	2545,5 кДж/моль
401	Метилпропіонат, метиловий ефір пропіонової кислоти	$C_4H_8O_2$	2308,6 кДж/моль



Продовження таблиці 4

1	2	3	4
402	Метилсаліцилат, метиловий ефір саліцилової кислоти	$C_8H_8C_3$	3759 кДж/моль
403	Метилформіат, метиловий ефір мурашиної кислоти	$C_2H_4O_2$	1007,3 кДж/моль
404	Метилцелозольв, 2-метоксиетанол, метилгліколь монометиловий ефір етилгліколя, метилетилгліколь	$C_3H_8O_2$	1747 кДж/моль
405	Метилциклогексан	$C_7H_{14}$	4293 кДж/моль
406	Метилциклогексано́л, метилгексалін, гексагідрометилфенол	$C_7H_{14}O$	4343 кДж/моль
407	4-Метилциклогексен	$C_7H_{12}$	2826 кДж/моль
408	Метилциклогексилацетат, метилциклогексильовий ефір оцтової кислоти	$C_9H_{16}O_2$	5080 кДж/моль
409	Метилциклопентадієн	$C_6H_8$	3470 кДж/моль
410	Метилциклопентан	$C_6H_{12}$	3705 кДж/моль
411	Метилетилкетону пероксид		19037 кДж/кг
412	Метилетиловий ефір, метоксиетан	$C_3H_8O$	2107,4 кДж/моль
413	2-Метил-3-етилпентан, диетилізопропілметан	$C_8H_{18}$	5113 кДж/моль
414	4-Метил-2-етилпентаиол, 2-етилізогексано́л, 2-етил-4-метилпентано́л	$C_8H_{18}O$	5334 кДж/моль
415	2-Метил-7-етил-4-ундеканол	$C_{14}H_{30}O$	9280,4 кДж/моль
416	1-Метокси-1,1,2-трифтор-2-хлоретан, $\alpha$ , $\alpha$ , $\beta$ -трифтор- $\beta$ -хлоретилметиловий ефір	$C_3H_4OF_3Cl$	1590 кДж/моль
417	Метоксиетилацетат, метилцеллозольвацетат, метилгліколяцетат	$C_5H_{10}O_3$	2822,7 кДж/моль
418	Міпора		17405,4 кДж/кг
419	Сечовина, карбамід	$CH_4ON_2$	553 кДж/моль
420	Борошно пшеничне		16807 кДж/моль
421	Мурашина кислота, метанова кислота	$CH_2O_2$	210,6 кДж/моль
422	Натрієва сіль 1-(4-феноксис-3-сульфобеніл)-3-стеароїламіно-4-(3,5-диметил-4-піразолілазо)-5-піразолонна	$C_{38}H_{52}N_7NaO_6S$	21924 кДж/моль

Продовження таблиці 4

1	2	3	4
423	Натрієва сіль 1-(4-фенокси-3-сульфопеніл)-3-стеароїламіно-4-(4-гідрокси-2-хлорфенілазо)-5-піразолону	$C_{39}H_{49}ClN_3NaO_7S$	21340 кДж/моль
424	Нафталін	$C_{10}H_8$	5050 кДж/моль
425	1-Нафтілхлоркарбонат, хлорвугільний ефір $\alpha$ -нафтола	$C_{11}H_7ClO_2$	5070 кДж/моль
426	$\alpha$ -Нафтол	$C_{10}H_8O$	4910 кДж/моль
427	$\beta$ -Нафтол, $\beta$ -гідроксинафталін, $\beta$ -оксинафталін	$C_{10}H_8O$	4910 кДж/моль
428	Нікотин	$C_{10}H_{14}N_2$	5975 кДж/моль
429	3-Нітроанілін, $\mu$ -нітроанілін, 1-аміно-3-нітробензол	$C_6H_6N_2O_2$	2991 кДж/моль
430	4-Нітроанілін, $p$ -нітроанілін, 1-аміно-4-нітробензол	$C_6H_6N_2O_2$	3062 кДж/моль
431	4-Нітрозо-3,5-диметилпіразол	$C_5H_7ON_3$	3099 кДж/моль
432	Нітролінолеум НЛ-13/3		8355,4 кДж/кг
433	Нітрометан	$CH_3O_2N$	12054 кДж/кг
434	Нонадекан	$C_{19}H_{40}$	11878 кДж/моль
435	Нонан	$C_9H_{20}$	5731 кДж/моль
436	Нонандінова кислота, азелаїнова кислота	$C_9H_{16}O_4$	4779 кДж/моль
438	Нонілацетат, ноніловий ефір оцтової кислоти	$C_{11}H_{22}O_2$	6307 кДж/моль
439	Нонілбензол	$C_{15}H_{24}$	8682,1 кДж/моль
440	Нонілнафталін	$C_{19}H_{26}$	10600 кДж/моль
441	Ноніловий спирт, 1-нонанол	$C_9H_{20}O$	6104 кДж/моль
442	Нонілпропіонат, ноніловий ефір пропіонової кислоти	$C_{12}H_{24}O_2$	6912 кДж/моль
442	Нонілформіат, ноніловий ефір мурашиної кислоти	$C_{10}H_{20}O_2$	5703,2 кДж/моль
443	Оксид вуглецю, монооксид вуглецю	CO	283 кДж/моль

Продовження таблиці 4

1	2	3	4
444	1-Октадеканол, стеариловий спирт	$C_{18}H_{38}O$	11944,6 кДж/моль
445	Октан	$C_8H_{18}$	5116 кДж/моль
446	Октаналь, каприлальдегід, каприловий альдегід, октиловий альдегід	$C_8H_{16}O$	4793 кДж/моль
447	1,8-Октандіова кислота	$C_8H_{14}O_4$	4047 кДж/моль
448	4,5-Октандіол, октиленгліколь	$C_8H_{18}O_2$	4800 кДж/моль
449	Октанова (каприлова) кислота	$C_8H_{16}O_2$	4447 кДж/моль
450	Октен-1, октилен, капрілен	$C_8H_{16}$	4998 кДж/моль
451	Октилацетат, октиловий ефір оцтової кислоти	$C_{10}H_{20}O_2$	5703,2 кДж/моль
452	Октилбутират, октилбутаноат, октиловий ефір масляної кислоти	$C_{12}H_{24}O_2$	6912 кДж/моль
453	Октиловий спирт, 1-октанол спирт	$C_8H_{18}O$	5360 кДж/моль
454	Фтор-октиловий, 2-октанол	$C_8H_{18}O$	5280,2 кДж/моль
455	Октилпропіонат, октиловий ефір пропіонової кислоти	$C_{11}H_{22}O_2$	6307,6 кДж/моль
456	Октилформіат, октиловий ефір мурашиної кислоти	$C_9H_{18}O_2$	5099,4 кДж/моль
457	н-Октилциклогексан Пентадекан	$C_{14}H_{28}$	8599 кДж/моль
458	Тирса соснова		18618,8 кДж/кг
459	Пінопласт ПВХ-1		18352,9-19493,2 кДж/кг
460	Пінопласт ПСБ		41630,8 кДж/кг
461	Пінопласт ПСБ-С		41212,4 кДж/кг
462	Пінопласт ПХВ-1-115		18325-19493 кДж/кг
463	Пінопласт ФС-7		24409,4 кДж/кг
464	Пінопласт ФФ		31384/18 кДж/кг
465	Пінополістирол ПСБ		41630,8 кДж/кг
466	Пінополіуретан		24853-27363 кДж/кг
467	Пентадекан	$C_{15}H_{32}$	9419 кДж/моль
468	1,2,3,4,5-Пентаметилбешол	$C_{11}H_{16}$	6224,7 кДж/моль
469	Пентан	$C_5H_{12}$	3272 кДж/моль
470	2-Пентанол, 1-метилбутанол, метилпропілкарбінол	$C_5H_{12}O$	3368,5 кДж/моль
471	3-Пентанол, втор-аміловий спирт, втор-пентиловий спирт, 1-етилпропанол, діетилкарбінол	$C_5H_{12}O$	3366 кДж/моль
472	1-Пентантиол, амілмеркаптан, пентилмеркаптан	$C_5H_{12}S$	4135 кДж/моль

Продовження таблиці 4

1	2	3	4
473	1-пентен, амілен, пропілетилен	$C_5H_{10}$	3154 кДж/моль
474	Пергідроантрацен	$C_{14}H_{24}$	8250 кДж/моль
475	Пероксид лауроїлу, лауроїлпероксид	$C_{24}H_{46}O_4$	14510 кДж/моль
476	Пероксид метилетилкетону	$C_8H_{16}O_4$	3354 кДж/моль
477	Перуксусна кислота, надоцтова кислота, ацетилгідропероксид	$C_2H_4O_3$	975 кДж/моль
478	Пігмент денний флуоресцентний жовтий 1167		23890 кДж/кг
479	Пігмент денний флуоресцентний червоний для поліетилену		26777 кДж/кг
480	Пігмент денний флуоресцентний помаранчево-червоний 1062		23514 кДж/кг
481	Пігмент денний флуоресцентний пурпурний для поліетилену		25271 кДж/кг
482	Пігмент денний флуоресцентний пурпурний 162-П		25689 кДж/кг
483	Пігмент денний флуоресцентний яскраво- рожевий № 1150		24099 кДж/кг
484	Пімелінова кислота, пілерінова кислота, 1,7- гептандіова кислота, 1,5- пентандикарбонова кислота	$C_7H_{12}O_4$	3453,5 кДж/моль
485	Піперидин, гексагідропіридин, пентаметиленімін	$C_5H_{11}N$	3451 кДж/моль
486	Піридин	$C_5H_5N$	2322 кДж/моль
487	Пірол, азол,	$C_4H_5N$	2351 кДж/моль
488	Плита асбестобонітова		23434 кДж/кг
489	Плита деревенисто- волокниста		17334,31-20890,71 кДж/кг
490	Плита мінераловатна з вмістом бітуму 19 % мас.		11077 кДж/кг
491	Плитка кумаронополівінілхлоридна		11495 кДж/кг
492	Плитка полівінілхлоридна		13389 кДж/кг
493	Плитка полістирол		41840 кДж/кг

Продовження таблиці 4

1	2	3	4
494	Поліакрилонітрил, полівінілціанід		31087 кДж/кг
495	Полівініліденхлорид		972 кДж/моль
496	Полівініловий спирт	$[-CH_2-CH(OH)-]_n$	25166 кДж/кг
497	Поліізобутилен	$(C_4H_8)_n$	2627 кДж/моль
498	Поліметилметакрилат	$(CH_2CCH_3CO_2CH_3)_n$	2668 кДж/моль
499	Поліпропілен	$(-CH_2-CH-CH_3)_n$	44000 кДж/кг
500	Полістирол		39800-40700 кДж/кг
501	Поліетилен	$[-CH_2-CH_2-]_n$	46588 кДж/кг
502	Поліетилен високого тиску		46000-47000 кДж/кг
503	Поліетилен низького тиску		46090-46686 кДж/кг
504	Поропласт пінополіуретановий еластичний		23263 кДж/кг
505	Пробка мінеральна		7974 кДж/кг
506	Пропан	$C_3H_8$	2044 кДж/моль
507	Пропаналь, пропіоновий альдегід, пропанальдегід	$C_3H_6O$	1816 кДж/моль
508	Пропандіова кислота, малонова, метандикарбонова кислота	$C_3H_4O_4$	861 кДж/моль
509	1-пропанол, пропіловий спирт, етилкарбінол	$C_3H_8O$	2067,4 кДж/моль
510	n-Пропіламін, N- амінопропан	$C_3H_9N$	2365,2 кДж/моль
511	Пропілбензол, 1- фенілпропан	$C_9H_{12}$	4996,9 кДж/моль
512	2-Пропілбіфеніл	$C_{15}H_{16}$	7950 кДж/моль
513	Пропіленгліколь, 1,2- пропандіол, 1,2- дигідроксипропан	$C_3H_8O_2$	1821,6 кДж/моль
514	Пропілформіат, пропіловий ефір мурашиної кислоти	$C_4H_8O_2$	2078 кДж/моль
515	n-Пропілциклогексан, 1- циклогексилпропан	$C_9H_{16}$	5525 кДж/моль
516	n-Пропілциклопентан, 1- циклопентилпропан	$C_8H_{16}$	4935 кДж/моль
517	Пропілетилкетон, 3-гексанон	$C_6H_{12}O$	3539 кДж/моль
518	Пропін, алілен, метилацетилен	$C_3H_4$	1939 кДж/моль

Продовження таблиці 4

1	2	3	4
519	β-Пропіолактон, лактон 3-гідроксипропанової кислоти	$C_3H_4O_2$	1422 кДж/моль
520	Пропіонілхлорид, хлористий пропіоніл, хлорангідрохлорид пропіонової кислоти	$C_3H_6OCl$	1244 кДж/моль
521	Пропіонова кислота, пропанова кислота, метилоцтова кислота	$C_3H_6O_2$	1395 кДж/моль
522	Пропіоновий ангідрид, пропановий ангідрид, ангідрид пропіонової кислоти	$C_6H_{10}O_3$	3277,7 кДж/моль
523	Резорцин, резорцинол, м-код-діоксибензол, 1,3-дигідроксибензол	$C_6H_6O_2$	2808 кДж/моль
524	Рубідій	Rb	173,4 кДж/моль
525	Сажа канална		15648-28326 кДж/кг
526	Саліцилова кислота, 2-гідроксибензойна кислота, о-карбоксифенол	$C_7H_6O_3$	3022,5 кДж/моль
527	Цукор, сахароза	$C_{12}H_{22}O_{11}$	5640 кДж/моль
528	Сіно		16652,32 кДж/кг
529	Сірка	S	9205 кДж/кг
530	Сірковуглець	$CS_2$	14020 кДж/кг
531	Сорбінова кислота, 2,4-гексادیєнова	$C_6H_8O_2$	312,9 кДж/моль
532	L-сорбоза	$C_6H_{12}O_6$	2806 кДж/моль
533	Стеаринова кислота октадеканова кислота	$C_{18}H_{36}O_2$	10488 кДж/моль
534	Стирол, вінілбензол, етенілбензол, фенілетилен	$C_8H_8$	4438,8 кДж/моль
535	Стронцій	Sr	5644 кДж/кг
536	Сульфол, гексахлордіамілсульфід, біс (5,5,5-трихлораміл) сульфід	$C_{10}H_{16}Cl_6S$	13807 кДж/кг
537	n-Сульфофенілгідазин	$C_6H_8O_3N_2S$	2087 кДж/моль
538	Текстоліт марки А		22430 кДж/кг
539	Текстоліт марки ДЦ		23982,7 кДж/кг

Продовження таблиці 4

1	2	3	4
540	Терефталева кислота, 1,4-бензолдикарбонова кислота, п-фталъова кислота, бензол-п-дикарбонова кислота	$C_8H_6O_4$	3221,68 кДж/моль
541	1,2,3,4-Тетрагідронафталін, тетралін	$C_{10}H_{12}$	5410 кДж/моль
542	Тетрагідрофуран, тетраметиленоксид, діетиленоксид	$C_4H_8O$	2504 кДж/моль
543	Тетрадекан	$C_{14}H_{30}$	8804 кДж/моль
544	1-Тетрадецен, а-тетрадецилен	$C_{14}H_{28}$	8682 кДж/моль
545	Тетрадециловий спирт, 1-тетрадеканол, міристиновий спирт	$C_{14}H_{30}O$	9620,8 кДж/моль
546	1,2,3,4-Тетраметилбешол, пренітол	$C_{10}H_{14}$	5608,9 кДж/моль
547	2,2,3,3-Тетраметилгептан	$C_{11}H_{24}$	6954 кДж/моль
548	2,2,3,4-Тетраметилпентан	$C_9H_{20}$	5723 кДж/моль
549	1,1,1,7-Тетрахлоргептан	$C_7H_{12}Cl_4$	3492 кДж/моль
550	Тетрахлордіізопропіловий ефір	$C_6H_{10}OC1_4$	2757 кДж/моль
551	1,1,1,5-Тетрахлорпентан	$C_5H_8Cl_4$	1715 кДж/моль
552	1,1,1,3-Тетрахлорпропан	$C_3H_4Ol_4$	7112 кДж/моль
553	1,1,2,3-Тетрахлорпропен	$C_3H_2Cl_4$	919 кДж/моль
554	Тіодивалеріанова кислота	$C_{10}H_{18}O_4S$	25171 кДж/кг
555	2,4-Толуїлендіізоціанат, 2,4-діізоціанатометилбензол	$C_9H_6O_2N_2$	4250 кДж/моль
556	2,6-Толуїлендіізоціанат, 2,6-діізоціанатометилбензол	$C_9H_6O_2N_2$	4250 кДж/моль
557	μ-Толуїлова кислота, 3-метилбензойна кислота	$C_8H_8C_2$	3885 кДж/моль
558	Толуол, метилбензол, фенілметан	$C_7H_8$	3771,88 кДж/моль
559	Паливо Т-5		42886 кДж/кг
560	Торф фрезерний		10 439 кДж/кг
561	Трибутилфосфат, три-н-бутиловий ефір фосфорної кислоти	$C_{12}H_{27}O_4P$	191А кДж/моль
562	Тридекан	$C_{13}H_{28}$	8190 кДж/моль
563	1-Тридеканол, тридециловий спирт	$C_{13}H_{28}O$	8630,7 кДж/моль
564	Триметиламін	$C_3H_9N$	1986 кДж/моль
565	1,2,3-триметилбензол	$C_9H_{12}$	4993 кДж/моль
566	1,3,5-триметилбензол	$C_9H_{12}$	4993 кДж/моль

Продовження таблиці 4

1	2	3	4
567	2,2,3-Триметилбутан, триптан	$C_7H_{16}$	4484 кДж/моль
568	2,2,5-Триметилгексан	$C_9H_{20}$	5705 кДж/моль
569	2,3,3-Триметилгексан	$C_9H_{20}$	5721 кДж/моль
570	2,3,4-Триметилгексан	$C_9H_{20}$	5725 кДж/моль
571	3,3,4-Триметилгексан	$C_9H_{20}$	5724 кДж/моль
572	2,5,5-Триметилгептан	$C_{10}H_{22}$	6326 кДж/моль
573	2,6,8-Триметил-4-нонанол	$C_{12}H_{26}O$	7957,4 кДж/моль
574	2,6,8-Триметил-4-нонанон, ізобутилгептілкетон	$C_{12}H_{24}O$	7312,3 кДж/моль
575	2,2,3-Триметилпентан	$C_8H_{18}$	5104 кДж/моль
576	2,2,4-Триметилпентан, ізобутилтриметилметан	$C_8H_{18}$	5100 кДж/моль
577	Трифенілметан	$C_{19}H_{16}$	9660 кДж/моль
578	Трифенілфосфат, трифеніловий ефір фосфорної кислоти	$C_{18}H_{25}O_4P$	9322 кДж/моль
579	3,3,3-Трифторпропілен	$C_3H_3F_3$	1366 кДж/моль
580	Трифторхлорпропан, 1,1,1- трифтор-3-хлорпропан, Хладон 253	$C_3H_4ClF_3$	1275 кДж/моль
581	Трифторетиламін, 2,2,2- трифторетиламін	$C_2H_4F_3N$	1014 кДж/моль
582	1,1,2-Трифторетилен, етнілтрифторид	$C_2HF_3$	816 кДж/моль
583	1,2,3-Трихлорбутан	$C_4H_7Cl_3$	1895 кДж/моль
584	1,1,3-Трихлор-1-пропен	$C_3H_3Cl_3$	1169 кДж/моль
585	1,1,1-трихлоретан, метилхлороформ	$C_2H_3Cl_3$	925 кДж/моль
586	Триетиламін	$C_6H_{15}N$	3703 кДж/моль
587	1,2,4-Триетилбензол	$C_{12}H_{18}$	6840 кДж/моль
588	1,1,3-Триетоксибутан	$C_{10}H_{22}O_3$	5992,9 кДж/моль
589	Триетоксиметан, триетилортоформіат	$C_7H_{16}O_3$	4319 кДж/моль
590	Триетоксисилан	$C_6H_{16}O_3Si$	4184 кДж/моль
591	Вугілля деревне		33890 кДж/кг
592	Оцтова кислота, етанова кислота	$C_2H_4O_2$	786,5 кДж/моль
593	Оцтовий ангідрид, етановий ангідрид	$C_4H_6O_3$	1969 кДж/моль
594	Ундециловий альдегід, ундеканаль	$C_{11}H_{22}O$	2072,7 кДж/моль
595	Феназон, 4-аміно-1-феніл-5- хлор-6-піридазон	$C_{10}H_8ON_3Cl$	5440 кДж/моль



Продовження таблиці 4

1	2	3	4
596	Фенілбензоат, феніловий ефір бензойної кислоти	$C_{13}H_{10}O_2$	6260 кДж/моль
597	N-Феніл-2-нафтиламін, N-(2-нафтил) анілін, 2-анілінонафталін	$C_{16}H_{13}N$	8200 кДж/моль
598	4-фенілфенол, п-біфенол, 4-гідрокси-1,Г-біфеніл	$C_{12}H_{10}O$	5950 кДж/моль
599	N-Феніл-п"-(β-ціаноетил)-п-фенілендіамід, N-феніл-п"-(2-ціаноетил)-1,4-фенілендіамін	$C_{15}H_{15}N_3$	8130 кДж/моль
600	Фенілциклогексан, циклогексилбензол	$C_{12}H_{16}$	6650 кДж/моль
601	Фенілетиловий ефір, етоксibenзол, фенетол	$C_8H_{10}O$	4272,8 кДж/моль
602	1-(4"-Фенокси-3"-сульфофеніл)-3-амінопіразолон-5	$C_{15}H_{13}O_5N_3S$	7273 кДж/моль
603	1-(4"-Фенокси-3"-сульфофеніл)-3-(N-стеароїламіно) піразолон-5	$C_{33}H_{47}O_6N_3S$	18811 кДж/моль
604	N-(P-Феноксietил) анілін	$C_{14}H_{15}O$	7390 кДж/моль
605	Фенол, гідроксибензол, карболова кислота	$C_6H_6O$	2992,3 кДж/моль
606	Фентіазин, фенотіазин, дібензотіазин, тіодифеніламін	$C_{12}H_9NS$	6866 кДж/моль
607	2-Флуоренонілглюксальгідрат	$C_{15}H_{10}O_4$	28870 кДж/кг
608	Формальдегід, метаналь, мурашиний альдегід, оксометан	$CH_2O$	570,78 кДж/моль
609	Форон, 2,6-диметил-2,5-гептадієн-4-он, діізопропіліденацетон	$C_9H_{14}O$	4709 кДж/моль
610	о-фталева кислота, 1,2-бензолдикарбонова кислота	$C_8H_6O_4$	3223,5 кДж/моль
611	2-фтор-1,1,2-трихлоретан, 1,1,2-трихлор-2-фторетан хладон-131	$C_2H_2FCl_3$	240 кДж/моль
612	Фуразолідон, 1-(5-нітро-2-фурфуриліден)-3-аміно-2-оксазолідон	$C_8H_7O_5N_3$	3862 кДж/моль

Продовження таблиці 4

1	2	3	4
613	2-Фуральдегід, фуранальдегід, фурфурол, фурфураль	$C_5H_4O_2$	2339,3 кДж/моль
614	Фуран, фурфуран, 1,4- епокси-1,3-бутадієн	$C_4H_4O$	2082 кДж/моль
615	2,5-Фурандіон, малеїновий ангідрид, ангідрид малеїнової кислоти	$C_4H_2O_3$	1389 кДж/моль
616	2-Фурилметанол, фурфуриловий спирт, 2-фуранметанол, фурфурилкарбінол	$C_5H_6O_2$	2548 кДж/моль
617	п-Хлорбензальдегід, 4- хлорбензальдегід	$C_7H_5ClO$	3482 кДж/моль
618	Хлорбензол, фенілхлорид	$C_6H_5Cl$	3074,6 кДж/моль
619	1-Хлорбутан, бутилхлорид	$C_4H_9Cl$	2485 кДж/моль
620	2-хлор-4-фенілфенол, 2- хлорбіфеніл	$C_{12}H_9ClO$	5790 кДж/моль
621	Хлоретан, етилхлорид, хлоретил, етил хлористий	$C_2H_5Cl$	1251 кДж/моль
622	Цезій	Cs	175,8 кДж/моль
623	Целулоїд		16318-20502 кДж/кг
624	Циклобутан	$C_4H_8$	2544 кДж/моль
625	Циклогексан	$C_6H_{12}$	3689 кДж/моль
626	Циклогексанон	$C_6H_{10}O$	3344 кДж/моль
627	Циклогексен	$C_6H_{10}$	3565 кДж/моль
628	Циклогептан	$C_7H_{14}$	4328 кДж/моль
629	Циклооктан	$C_8H_{16}$	4957 кДж/моль
630	Циклопентадієн	$C_5H_6$	2829 кДж/моль
631	Циклопентан	$C_5H_{10}$	3071 кДж/моль
632	Циклопентанол	$C_5H_{10}O$	2936 кДж/моль
633	Циклопентен	$C_5H_8$	2968 кДж/моль
634	Циклопропан	$C_3H_6$	2091 кДж/моль
635	N-цимол, 1-ізопропіл-4- метилбешол, п- ізопропілтолуол	$C_9H_{12}$	5614 кДж/моль
636	Ейкозан	$C_{20}H_{42}$	12490 кДж/моль
637	Енант (волокно)		32079 кДж/кг
638	Енантова кислота, н- гептанова кислота	$C_7H_{14}O_2$	3837,5 кДж/моль
639	$\alpha$ -Епіхлоргідрин, 1-хлор-2,3- епоксипропан, 2- хлорпропіленоксид	$C_3H_5ClO$	1660 кДж/моль
640	1,2-Епоксипутан, бутиленоксид	$C_4H_8O$	2430 кДж/моль

Продовження таблиці 4

1	2	3	4
641	3,4-Епокси-1-бутен, бутадієнмонооксид, вінілетиленоксид	$C_4H_6O$	2320 кДж/моль
642	2,3-Епокси-2-метилбутан	$C_5H_{10}O$	3050 кДж/моль
643	1,2-Епокси-2-метилпропан	$C_4H_8O$	2430 кДж/моль
644	1,2-Епоксигетан, етиленоксид	$C_2H_4O$	1220 кДж/моль
645	Епоксигетилбензол, стиролоксид	$C_8H_8O$	4160 кДж/моль
646	Етан, Етилбензол, фенілетан	$C_2H_6$	1576 кДж/моль
647	Етанол, етиловий спирт, винний спирт	$C_2H_6O$	1408 кДж/моль
648	Етантіол, етилмеркаптан	$C_2H_6S$	2173 кДж/моль
649	Етиламін, аміноетан	$C_2H_7N$	1421,6 кДж/моль
650	N-Етил-п-бензиланілін	$C_{15}H_{17}N$	8140 кДж/моль
651	Етилбензоїлбензоат, етиловий ефір бензоїлбензойної кислоти	$C_{16}H_{14}O_3$	7770 кДж/моль
652	Етилбензол, фенілетан	$C_8H_{10}$	4386,9 кДж/моль
653	n-Етилбешолсульфотриоксид	$C_7H_9FO_2S$	23723 кДж/моль
654	2-Етилбіфеніл	$C_{14}H_{14}$	7330 кДж/моль
655	2-етил-1-бутанол, 3- метилолпентан, спирт псевдогексилу	$C_6H_{14}O$	4035 кДж/моль
656	Етилбутиловий ефір, етоксибутан	$C_6H_{14}O$	3772 кДж/моль
657	2-Етилбутиральдегід, 2- етилбутаналь, диетилацетальдегід	$C_6H_{12}O$	3562 кДж/моль
658	Етилбутират, етиловий ефір масляної кислоти	$C_6H_{12}O_2$	3285 кДж/моль
659	2-Етилгексанова кислота, бутилетилоцтова кислота етилкапронова кислота, гептан-3-карбонова кислота	$C_8H_{16}O_2$	4514,5 кДж/моль
660	2-Етилгексиловий спирт, 2- етил-1-гексанол	$C_8H_{18}O$	5287,6 кДж/моль
661	2-Етилгексиловий ефір	$C_{16}H_{34}O$	9908 кДж/моль
662	2-Етилгексилцеллозольв, 2- етилгексиловий ефір етилгліколя	$C_{10}H_{22}O_2$	6072 кДж/моль
663	Етилдифениловий ефір	$C_{14}H_{14}O$	7219 кДж/моль
664	Етилен, етен	$C_2H_4$	1318 кДж/моль
665	Етиленгліколь, 1,2-етандіол, гліколь	$C_2H_6O_2$	1199,7 кДж/моль
666	Етиленімін, азиридин	$C_2H_5N$	1480 кДж/моль

Продовження таблиці 4

1	2	3	4
667	Етилмасляна кислота, етилбутанова кислота, етилбутилова кислота, діетилоцтова кислота	$C_6H_{12}O_2$	3286 кДж/моль
668	2-1-Етилнафталін, $\alpha$ - етилнафталін	$C_{12}H_{12}$	6300 кДж/моль
669	Етилнафтіловий ефір	$C_{12}H_{12}O$	6162 кДж/моль
670	Етиловий ефір ціаноцтової кислоти, етилціаноацетат	$C_5H_7O_2N$	2630 кДж/моль
671	2-Етилоктадециламіно-5- сульфоанилід 1-гідрокси-2- нафтойної кислоти	$C_{36}H_{52}N_2O_5S$	20285 кДж/моль
672	2-Етилоктан	$C_{10}H_{22}$	6339 кДж/моль
673	3-Етилоктан	$C_{10}H_{22}$	6344 кДж/моль
674	4-Етилоктан	$C_{10}H_{22}$	6344 кДж/моль
675	Етилпропеніловий ефір, 1- етоксипропен	$C_5H_{10}O$	3035 кДж/моль
676	2-Етил-3-пропілакролеїн, 2- етил-2-гексеналь, Р-пропіл-а- етилакролеїн	$C_8H_{14}O$	4679 кДж/моль
677	Етилпропіловий ефір, етоксипропан	$C_5H_{12}O$	3158 кДж/моль
678	Етилпропіонат, етиловий ефір пропіонової кислоти	$C_5H_{10}O_2$	2681,06 кДж/моль
679	м-Етилтолуол, 1-метил-3- етилбешол, 3-етилтолуол	$C_9H_{12}$	4993 кДж/моль
680	о-Етилтолуол, 1-метил-2- етилбешол, 2-етилтолуол	$C_9H_{12}$	4993 кДж/моль
681	Етилформіат, етиловий ефір мурашиної кислоти	$C_3H_6C_2$	1472 кДж/моль
682	Етилцеллозольв, 2- етоксиетанол, етилгліколь, моноетиловий ефір етилгліколя, целозольв	$C_4H_{10}O_2$	2377 кДж/моль
683	Етилциклобутан	$C_6H_{12}$	3789 кДж/моль
684	Етилциклогексан	$C_8H_{16}$	4911 кДж/моль
685	Етилциклопентан	$C_7H_{14}$	4320 кДж/моль
686	Етоксиацетилен	$C_4H_6O$	2350 кДж/моль
687	Янтарна кислота, 1,4- бутандіова кислота, сукцинова кислота	$C_4H_6O_4$	356,2 кДж/моль

Таблиця 5 – Результати експериментальних досліджень та розрахунків за ГОСТ 147-95 (ИСО 1928-76) щодо визначення найнижчої теплоти згоряння соснової деревини з різною абсолютною вологістю

Номер досліджу з/п	Абсолютна вологість, %	Найнижча теплота згоряння, Дж·г <sup>-1</sup>
1	9,2	17180,1
2	13,7	16383,6
3	19,6	15118,1
4	23,3	15614,1
5	26,8	13770,5
6	33,4	13570,0
7	37,5	12715,0
8	52,0	11140,0
9	67,5	9700,0
10	91,3	8780,0

Таблиця 6 – Значення критичної густоти падаючих променистих потоків для деяких матеріалів

Матеріали	q <sub>кр</sub> , кВт · м <sup>-2</sup>
1	2
Деревина (сосна, вологість 12 %)	13,9
Деревинностружкова плита щільністю 417 кг · м <sup>3</sup>	8,3
Торф брикетний	13,2
Торф шматковий	9,8
Бавовна-волокно	7,5
Паперово-шаруватий пластик	15,4
Склопластик	17,4
Пергамін	17,4
Гума	14,8
Вугілля	35,0
Декоративний паперово-шаруватий пластик	19,0
Декоративний паперово-шаруватий пластик	24,0
Металопласт	24,0
Металопласт	27,0
Плита деревинноволокниста	13,0
Плита деревинностружкова	12,0
Плита деревинностружкова з оздобленням «Поліплен»	12,0
Плита деревинноволокниста з лакофарбувальним покриттям під цінні породи дерева	12,0
Плита деревинноволокниста з лакофарбувальним покриттям під цінні породи дерева	16,0
Вінілшкіра оббивна пониженої горючості	30,0
Вінілшкіра	32,0
Шкіра штучна «Теза»	17,9
Шкіра штучна «ВИК-ТР»	20,0
Шкіра штучна «ВИК-Т» на тканині 4ЛХ	20,0
Склопластик на поліефірній основі	14,0
Лакофарбувальні покриття РХО	25,0

Продовження таблиці 6

1	2
Шпалери мийні ПВХ на паперовій основі	12,0
Лінолеум ПВХ одношаровий	10,0
Лінолеум алкідний	10,0
Лінолеум ПВХ марки ТТН-2	12,0
Лінолеум ПВХ на тканинній основі	12,0
Лінолеум рулонний на тканинній основі	12,0
Лінолеум ПВХ:	
- із застосуванням полотна	7,2
- із застосуванням полотна	6,0
Доріжка пруткова чистововьяна	9,0
Покриття килимове, прошивне	22,0
Покриття килимове для підлоги рулонне «Ворсолон»	5,0
Покриття килимове голкопробивне «Містра-1»	6,0
Покриття килимове голкопробивне «Містра-2»	5,0
Покриття килимове голкопробивне «Авістра»	12,0
Покриття килимове голкопробивне «Вестра»	5,0
Покриття килимове типу А	4,0
Сіно, солома (при мінімальній вологості до 8%). Легкозаймисті, горючі та важкогорючі рідини при температурі самозаймання, °С:	7,0
300	12,1
350	15,5
400	19,9
500 і вище	28,0

## ЛІТЕРАТУРА

1. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою.
2. ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги.
3. ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования.
4. ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція і кондиціонування.
5. ДСТУ – Н Б В.1.1-27:2010 Будівельна кліматологія.
6. СНиП 2.09.02-85\* Производственные здания.
7. Сучков В.П. Методические указания к изучению темы «Категорирование помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности» курса «Пожарная профилактика технологических производств». – М., ВИПТИШ, 1988.
8. Шкоруп О.І., Сізіков О.О., Куликівський В.С., Білошицький М.В., Чеботаєв К.П., Гудович О.Д., Кравченко Н.В. Посібник щодо застосування НАПБ Б.03.002-2007 Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною і пожежною небезпекою. – К.: ЧП «Клименко», 2009.
9. Лиходід Р.В. Визначення категорій виробничих приміщень, будинків і зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою: Навчально-довідниковий посібник. – Черкаси: АПБ ім. Героїв Чорнобиля, 2013. – 158 с.
10. Ильченко Б.С. Конспект лекций по дисциплине «Теплогенерирующие установки» (для студентов 3 курса дневной и заочной форм обучения по направлению подготовки 6.060101 – «Строительство» специальности «Теплогазоснабжение и вентиляция») / Б.С. Ильченко; Харьк. нац. ун-т гор. хоз-ва им. А.Н. Бекетова. – Х.: ХНУГХ, 2014. – 122 с.
11. Монахов В.Т. Методы исследования пожарной опасности веществ. – 2-е изд., перераб. – М.: Химия, 1979. – 424 с., ил.
12. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: Справочное издание: в 2-х книгах; А.Н. Баратов, А.Я. Корольченко, Г.Н. Кравчук и др. – М.: Химия, 1990. – 880 с.

## ЗМІСТ

1. Галузь застосування .....	3
2. Визначення понять .....	5
3. Скорочення .....	6
4. Основні підходи до визначення категорій приміщень та зовнішніх установок за вибухопожежною і пожежною небезпекою .....	6
4.1. Розрахункові формули для визначення критеріїв вибухопожежної небезпеки .....	9
4.2. Порядок визначення категорій приміщень за вибухопожежною і пожежною небезпекою .....	27
4.3. Підготовка вихідних даних для визначення категорій приміщень за вибухопожежною та пожежною небезпекою .....	29
5. Приклади розв'язання задач .....	30
5.1. Задачі для рідин, в яких константи Антуана визначалися при тиску насичених парів, вираженому у мм.рт.ст. ....	30
5.2. Задачі на врахування роботи загальнообмінної вентиляції .....	33
5.3. Задачі з використанням формули 16 ДСТУ для визначення швидкості повітряного потоку і врахування його при визначенні маси рідини, що випарується за цієї швидкості .....	41
5.4. Задачі з використанням формули 17 ДСТУ для визначення маси парів рідини, тнагр, кг, при випаровуванні рідини, що нагріта вище розрахункової температури, але не вище температури кипіння рідини .....	48
5.5. Задачі для віднесення приміщень до категорій В чи Д з урахуванням площ розміщень пожежної навантаги та відстані до перекриття .....	50
5.6. Розрахунок тиску насиченої пари методом лінійної інтерполяції .....	52
5.7. Задачі для визначення $\Delta P$ для пилоповітряних горючих середовищ для випадків, коли концентрація пилу, що бере участь у вибусі, розраховується за стехіометрією .....	52
5.8. Приклади розрахунку надлишкового тиску вибуху у разі аварійного викиду горючих газів, парів легкозаймистих і горючих рідин та визначення категорій приміщень за вибухопожежною та пожежною небезпекою .....	64
5.8.1. Приміщення з горючими газами .....	64
5.8.2. Приміщення з перегрітими легкозаймистими і горючими рідинами та зрідженими горючими газами .....	71
5.8.3. Приміщення, де зберігаються зріджені гази .....	74
5.8.4. Приміщення з легкозаймистими і горючими рідинами .....	76
5.9. Приклади розрахунку надлишкового тиску вибуху у разі	



аварійного викиду горючого пилу і визначення категорій приміщень за вибухопожежною та пожежною небезпекою .....	89
5.10. Приклади розрахунку надлишкового тиску вибуху для речовин і матеріалів, які здатні вибухати та горіти під час взаємодії з водою, киснем повітря або один з одним, та визначення категорій приміщень за вибухопожежною і пожежною небезпекою .....	92
5.11. Приклади розрахунку надлишкового тиску вибуху для вибухонебезпечних сумішей, які містять ГГ, пари і пил .....	93
6. Особливості розрахунку категорії приміщень за пожежною небезпекою .....	95
6.1. Особливості розрахунку категорії приміщень .....	95
6.2. Приклади розрахунку категорії приміщень за пожежною небезпекою .....	97
6.2.1. Приміщення з горючими рідинами .....	97
6.2.2. Приміщення з твердими горючими матеріалами .....	101
6.2.3. Задачі для приміщень розмірами менше 10 м <sup>2</sup> .....	105
6.2.4. Задачі для приміщень з важкогорючими речовинами і для приміщень із наявністю важкогорючих та горючих речовин .....	109
7. Особливості визначення категорії виробничих будинків та окремих протипожежних відсіків за вибухопожежною і пожежною небезпекою .....	111
7.1. Особливості визначення категорії виробничих будинків та окремих протипожежних відсіків .....	111
7.2. Приклади розрахунку категорії виробничих будинків та окремих протипожежних відсіків за вибухопожежною і пожежною небезпекою .....	112
8. Основні підходи до розрахунку категорії зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою .....	113
8.1. Основні підходи до питання про визначення категорій зовнішніх установок за вибухопожежною і пожежною небезпекою .....	113
8.2. Приклади розрахунку категорії зовнішніх установок за вибухопожежною і пожежною небезпекою для горючих газів та парів легкозаймистих рідин .....	115
8.3. Приклади розрахунку категорії зовнішніх установок за вибухопожежною і пожежною небезпекою для горючого пилу .....	124
9. Приклади розрахунку інтенсивності теплового випромінювання під час пожежі у технологічній установці .....	126
9.1. Методика визначення інтенсивності теплового випромінювання під час пожежі у технологічній установці на прикладі розрахунку	

інтенсивності теплового випромінювання від пожежі розливу бензину .....	126
9.2. Приклади розрахунку інтенсивності теплового випромінювання .....	128
10. Метод розрахунку розмірів зон, які обмежені нижньою концентраційною межею поширення полум'я (НКМП) газів і парів .....	129
10.1. Метод розрахунку розмірів зон, обмежених НКМП газів та парів при аварійному надходженні горючих газів та парів ненагрітих ЛЗР у відкритий простір при нерухомому повітряному середовищі .....	129
10.2. Метод розрахунку розмірів зони, обмеженої НКМП газів і парів при аварійному надходженні горючих газів та парів ненагрітих легкозаймистих рідин у приміщенні .....	131
11. Метод розрахунку коефіцієнта Z участі горючих газів і парів ненагрітих легкозаймистих рідин у вибусі .....	137
Додаток 1 Довідникові дані щодо фізичних, хімічних характеристик речовин і матеріалів, а також їх показники пожежної небезпеки .....	140
Література .....	183