

Розділ III. РОЗВИТОК ПРОЦЕСУ ГОРІННЯ

Тема 8. ГОРІННЯ РІДИН

Лекція 10

**ВИБУХ ГАЗО- та ПАРОПОВІТРЯНИХ
СУМІШЕЙ НА ВІДКРИТОМУ ПРОСТОРІ
ТА В ПРИМІЩЕННІ**

План лекції

1. Прогнозування наслідків вибуху газопароповітряної суміші на відкритому просторі.
2. Прогнозування наслідків вибуху газопароповітряної суміші в огороженні.

1. ПРОГНОЗУВАННЯ НАСЛІДКІВ ВИБУХУ ГАЗО- ПАРОПОВІТРЯНОЇ СУМІШІ НА ВІДКРИТОМУ ПРОСТОРІ

Загальна схема розвитку аварійної ситуації:

1. Відбувається первинний аварійний вихід горючих газів із закритого обладнання.
2. Утворюється газоповітряна хмара з концентрацією горючого газу більше, ніж ϕ_n .
3. Відбувається запалювання і вибух газової хмари.
4. Відбувається руйнування технологічного обладнання в зоні підвищеного тиску.
5. У місцях руйнування виникають нові осередки вибухів і крупних пожеж.

1.1. Можливість утворення горючого середовища і його запалювання при випаровуванні рідини

Виникнення пожежі класу В можливе за умови утворення горючої пароповітряної суміші і появи в ній джерела запалювання достатньої потужності.

При виникненні пожежі горюча рідина може знаходитися:

- в технологічному обладнанні (резервуарах, апаратах)
- у вигляді розливу, що виник внаслідок аварійної

Усередині технологічного обладнання

горюче середовище утворюється у вільному просторі за умови:

$$\phi_{\text{н}} < \phi_{\text{пар}} < \phi_{\text{в}},$$
$$t_{\text{н}} < t_{\text{рід}} < t_{\text{в}}.$$

У зовнішньому просторі горюче середовище виникає за умови $\phi_{\text{пар}} > \phi_{\text{н}}$ ($t_{\text{рід}} > t_{\text{сп}}$), що утворюється внаслідок :

- виходу пари горючої рідини через дихальні пристрої технологічного обладнання,
- випаровування горючої рідини з поверхні аварійного розливу.

Вихід пари рідини через дихальні пристрої обладнання називають “диханням” резервуару.

При незмінному об'ємі внутрішнього газового простору, але за зміни температури навколишнього середовища, відбувається "мале дихання".

При заповненні резервуара рідиною відбувається витіснення пари назовні - "велике дихання".

Розмір зони вибухонебезпечної загазованості ($\phi_{\text{пар}} > \phi_{\text{н}}$) залежить від кількості пари, що виходить із резервуару внаслідок "великого дихання", і фактичної концентрації пари за даних умов:

$$D_{\text{заг}} = D_{\text{рез}} + 10H_{\text{рез}} \left(\frac{g\phi_{\text{факт}}}{\phi_{\text{н}} H_{\text{рез}}^2} \right)^{0.36}$$

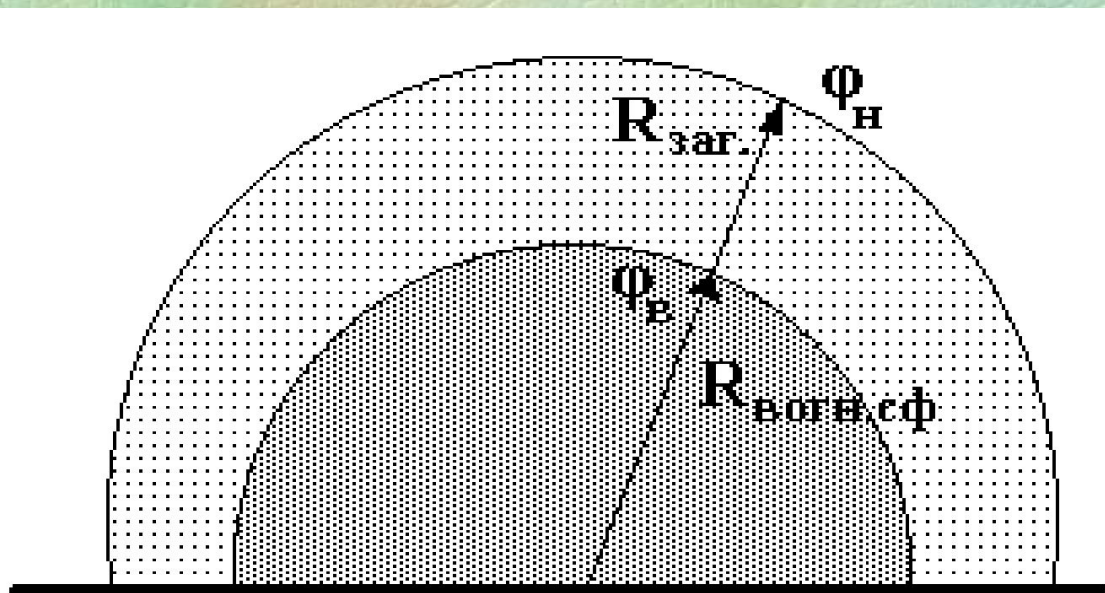
При аварійному виході ГР із обладнання:

Площа розливу:
$$S_{\text{розл}} = \frac{G_{\text{вит}} \tau_{\text{вит}}}{h_{\text{шар гр}}}$$

Маса пари за час випаровування: $m_{\text{пар}} = I_{\text{вип}} \tau_{\text{вип}} S_{\text{розл}}$

Зона загазованості – частина простору, де $\phi_{\text{пар}} > \phi_{\text{н}}$

$$R_{\text{заг}} = 3,15 \sqrt{\frac{\tau}{3600}} \left(\frac{P_{\text{нп}}}{\phi_{\text{н}}} \right)^{0,8} \left(\frac{m_{\text{пар}}}{\rho_{\text{пар}} P_{\text{нп}}} \right)^{0,33}$$



Дві області:

- $\phi_{\text{н}} < \phi_{\text{пар}} < \phi_{\text{в}}$,
МОЖЛИВИЙ вибух

- $\phi_{\text{пар}} > \phi_{\text{в}}$,
МОЖЛИВЕ
дифузійне горіння

Джерела запалювання можуть бути природного походження (вплив навколишнього середовища) і від необережного поводження людей з вогнем.

Основні джерела запалювання:

- прямі удари блискавки;
- розряди статичної електрики;
- фрикційні іскри, що утворюються внаслідок механічних ударів при ручному вимірюванні рівня і відборі проб, при виконанні робіт по ремонту і обслуговуванню технологічного обладнання,
- відкрите полум'я або розжарені тіла, що утворюються при проведенні вогневих ремонтних робіт;
- самозаймання пірофорних відкладань сульфідів заліза на поверхні обладнання.

Для кількісної оцінки параметрів вибуху застосовують *метод адекватності руйнувань*, викликаних різними вибуховими речовинами й середовищами. По цьому методу ступінь руйнування будівель і травмування людей надлишковим тиском в ударній хвилі характеризують *тротиловим еквівалентом*, тобто визначають масу тротилу, яку потрібно для того, щоб викликати даний рівень руйнувань.

Надлишковий тиск в ударній хвилі можна визначити за формулою:

$$\Delta P = P_0 \left(0,8 \frac{m_{\text{ТНТ}}^{0,33}}{r} + 3 \frac{m_{\text{ТНТ}}^{0,66}}{r^2} + 5 \frac{m_{\text{ТНТ}}}{r^3} \right),$$

$m_{\text{ТНТ}}$ - тротиловий еквівалент, що враховує, скільки кілограмів тринітротолуолу викличуть еквівалентне руйнування на тій самій відстані від центру вибуху.

Однак, на відміну від горіння вибухових речовин, горіння ГППС у вибуховому режимі протікає лише на зовнішній частині хмари, у якій φ_{gr} знаходиться в межах від нижнього до верхньої концентраційної межі поширення полум'я. Тому приймають, що у вибуховому (кінетичному) горінні бере участь лише частина горючої речовини. Крім того, горіння конденсованих вибухових речовин протікає в детонаційному режимі, у той час перехід дефлаграційного горіння ГППС у детонацію можливий тільки для вузького кола горючих газів (водню, ацетилену). Крім того, тиск при детонації пропорційний густині вибухової речовини.

Вибуховий склад	Теплота вибуху, кДж/кг	ТНТ еквівалент	Густина ρ , кг/м ³	Швидкість детонації D , м/с	Тиск детонації P , кПа
Пікрат амонію	3360	0,79	860	4020	$3,47 \cdot 10^6$
Ацетилено-киснева стехіометрична суміш	3400	0,80	1,21	2050	$2,25 \cdot 10^3$

Тому, максимально можливий коефіцієнт корисної дії вибуху пароповітряної хмари під час дефлаграційного горіння становить не більше 30 %, а для газоповітряної – не більше 40 %.

Тоді тротилловий еквівалент вибуху газо- чи пароповітряної хмари можна розрахувати за формулою:

$$m_{\text{трот}} = \frac{0,3 Q_{\text{г}} m_{\text{г}} z}{0,9 \cdot 4520}, \text{ кг}$$

де 0,3 і 0,9 – відповідно частка енергії, що витрачається на формування ударної хвилі під час вибуху газо-пароповітряної хмари і тринітротолуолу;

$m_{\text{пар}}$ – маса речовини, що утворила вибухонебезпечну хмару, кг;
 z – коефіцієнт участі речовини у вибуху (обирають залежно від умов вибуху: в незамкненому просторі $z = 0,1$);

$Q'_{\text{н}}$ – питома масова теплота згоряння горючої речовини, кДж/кг;
4520 – питома масова енергія вибуху тринітротолуолу, кДж/кг.

Потужність вибуху можна оцінити в порівнянні зі стандартним вибухом одного кілограму тринітротолуолу. *Тротиловий еквівалент вибуху* паро-газових систем розраховують за формулою:

$$W_{\text{ТНТ}} = \frac{0,3Q'_n}{0,9Q_{\text{ТНТ}}} m_{\text{пар}} z \quad Q_{\text{ТНТ}} = 4520 \text{ кДж} \cdot \text{кг}^{-1}$$

Значення z приймають залежно від умов вибуху:

в незамкненому просторі: $z = 0,1$

в замкненому просторі:

для пари ЛЗР і ГР $z = 0,3$

$$\Delta P = P_o \left(0,8 \frac{W_{\text{ТНТ}}^{0,33}}{r} + 3 \frac{W_{\text{ТНТ}}^{0,66}}{r^2} + 5 \frac{W_{\text{ТНТ}}}{r^3} \right), \text{ кПа},$$

Радіус зони ураження ударною хвилею залежить від надлишкового тиску ΔP :

$$R_{\text{ураж}} = \frac{K_1 \sqrt[3]{m_{\text{пар}}}}{\left[1 + \left(\frac{3180}{m_{\text{пар}}} \right)^2 \right]^{\frac{1}{6}}}, \text{ м,}$$

- K_1 – коефіцієнт рівня впливу вибуху

ΔP , кПа	K_1	Дія ударної хвилі
100	3,8	повне руйнування будівель
70	5,6	руйнування 50 %÷75 % стін
28	9,6	значні пошкодження конструкцій
14	28,0	незначні пошкодження конструкцій
2	56,0	руйнування до 10 % віконного скла

В кінетичному режимі згоряє тільки зовнішня частина зони загазованості, а інша частина газової хмари ($\phi_{\text{пар}} > \phi_{\text{в}}$) буде вигоряти в дифузійному режимі. При цьому утвориться *вогненна сфера*.

$$R_{\text{вс}} = 2,66 m_{\text{пар}}^{0,327}$$

$$\tau_{\text{вс}} = 0,92 m_{\text{пар}}^{0,303}$$

$$R_{\text{оп}} = 5,5 R_{\text{вс}}$$

До небезпечних факторів пожеж класу В відносять:

- відкритий вогонь;
- теплове випромінювання від факела полум'я;
- токсичні продукти горіння;
- небезпечні фактори вибуху (ударна хвиля; осколки зруйнованого технологічного обладнання, скління і частин будівель);
- можливість скипання нафти і нафтопродуктів;
- можливість викиду рідини, що горить, з резервуара.

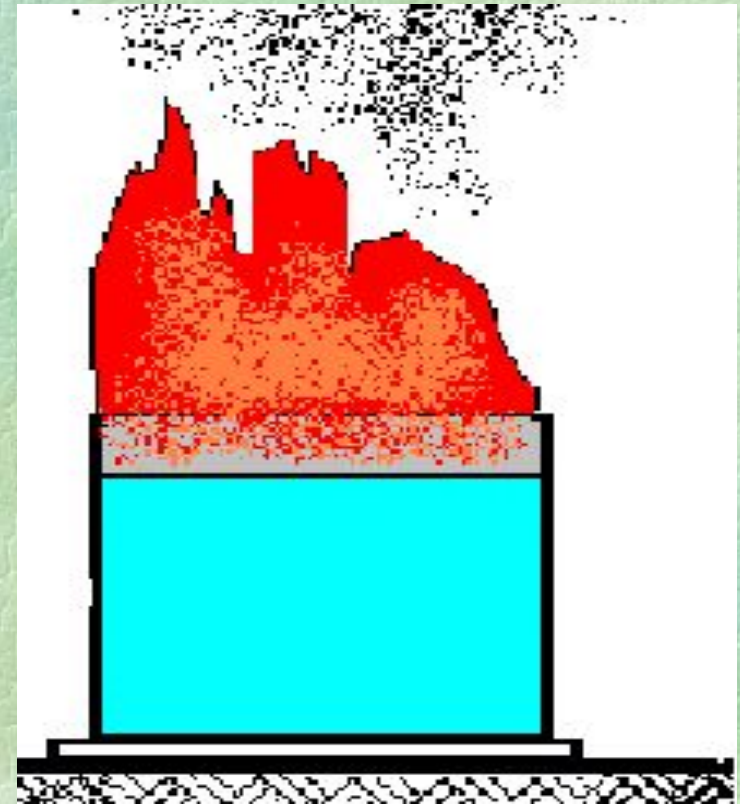
$$\tau_{\text{вик}} = \frac{H_{\text{гр}} - h_{\text{вод}}}{V_{\text{прогр}} + V_{\text{лвигор}}}, \text{ХВ.}$$

1.2. Модель розвитку пожежі в резервуарному парку

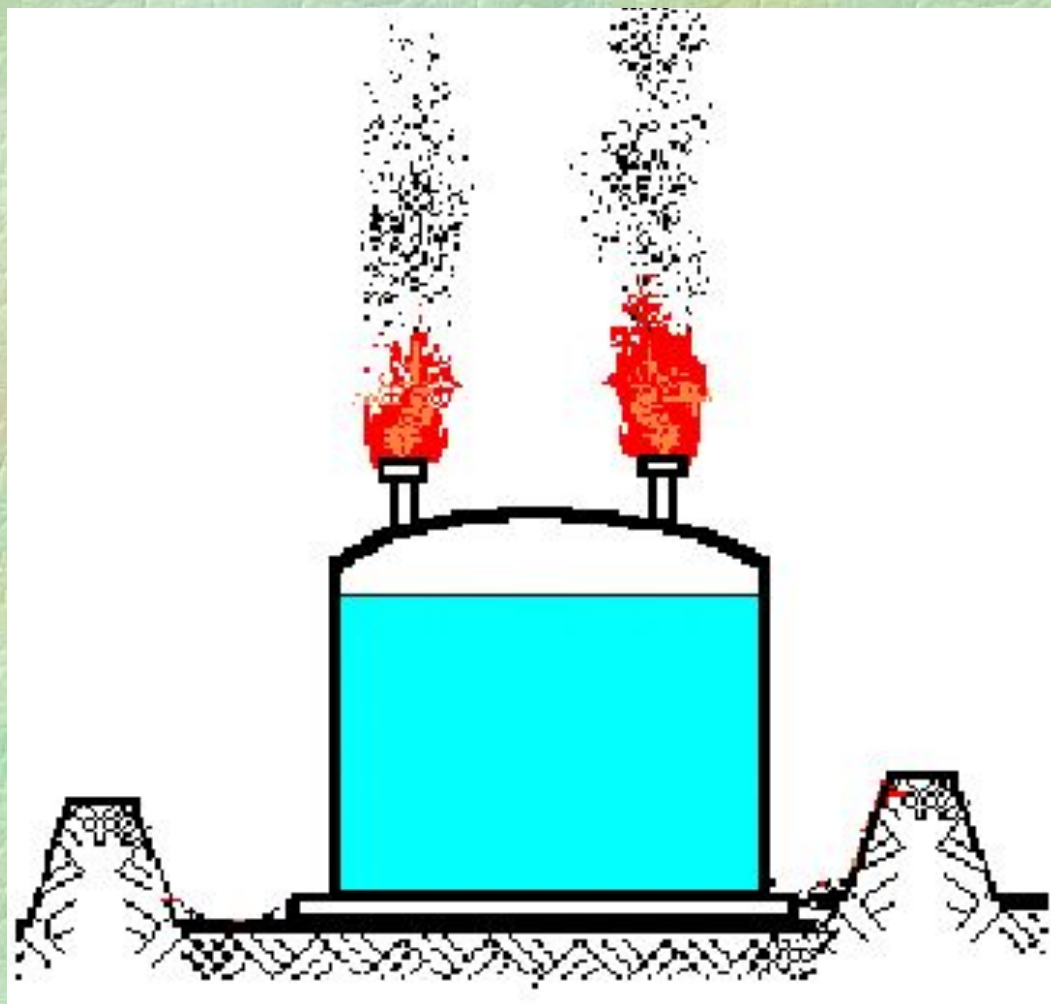
За умовами виникнення і розвитку горіння в початковій стадії, а також з урахуванням можливості викиду і розтікання рідини, що горить, пожежі нафти в резервуарах можна розділити на три види:

- *внутрішня пожежа (ВП)*

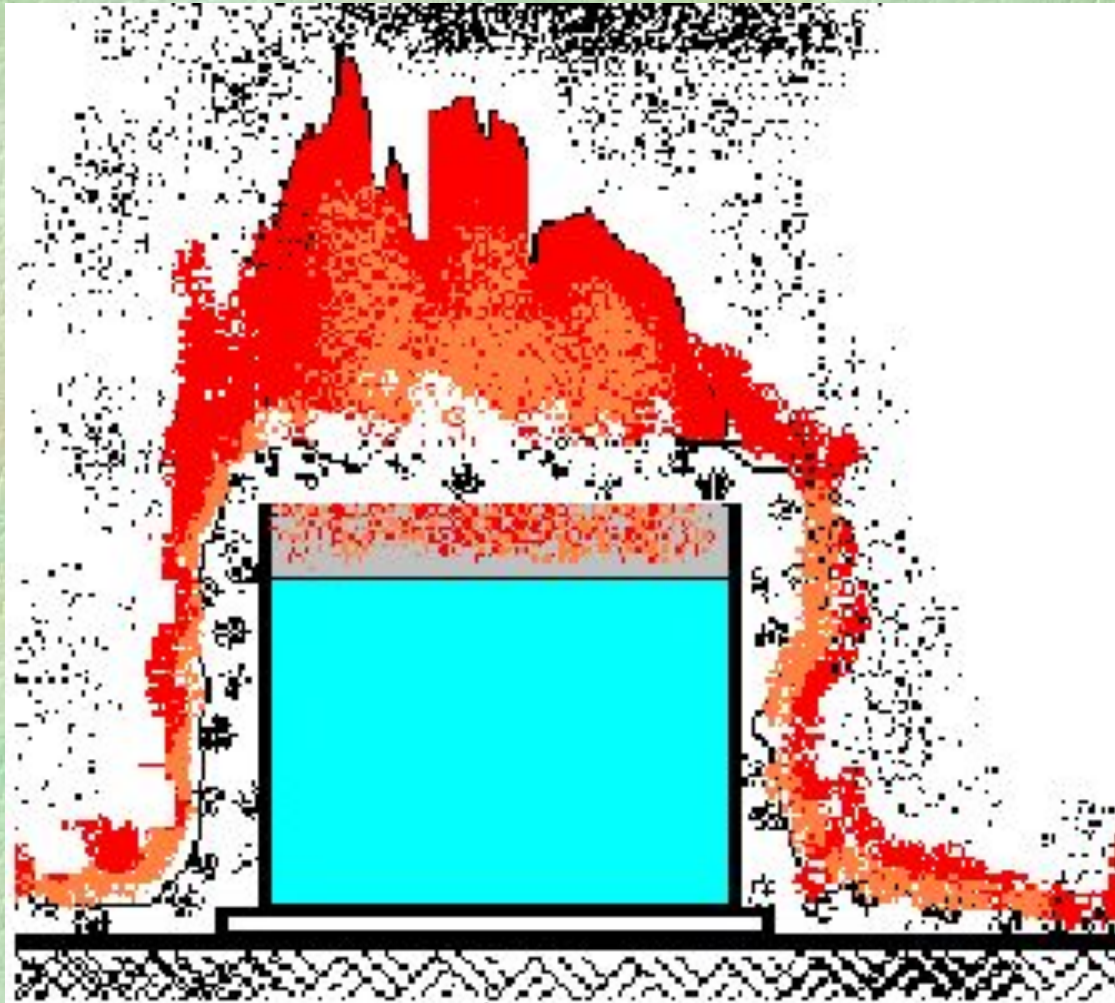
— пожежа з вибухом всередині газового простору і з подальшим горінням рідини в резервуарі;

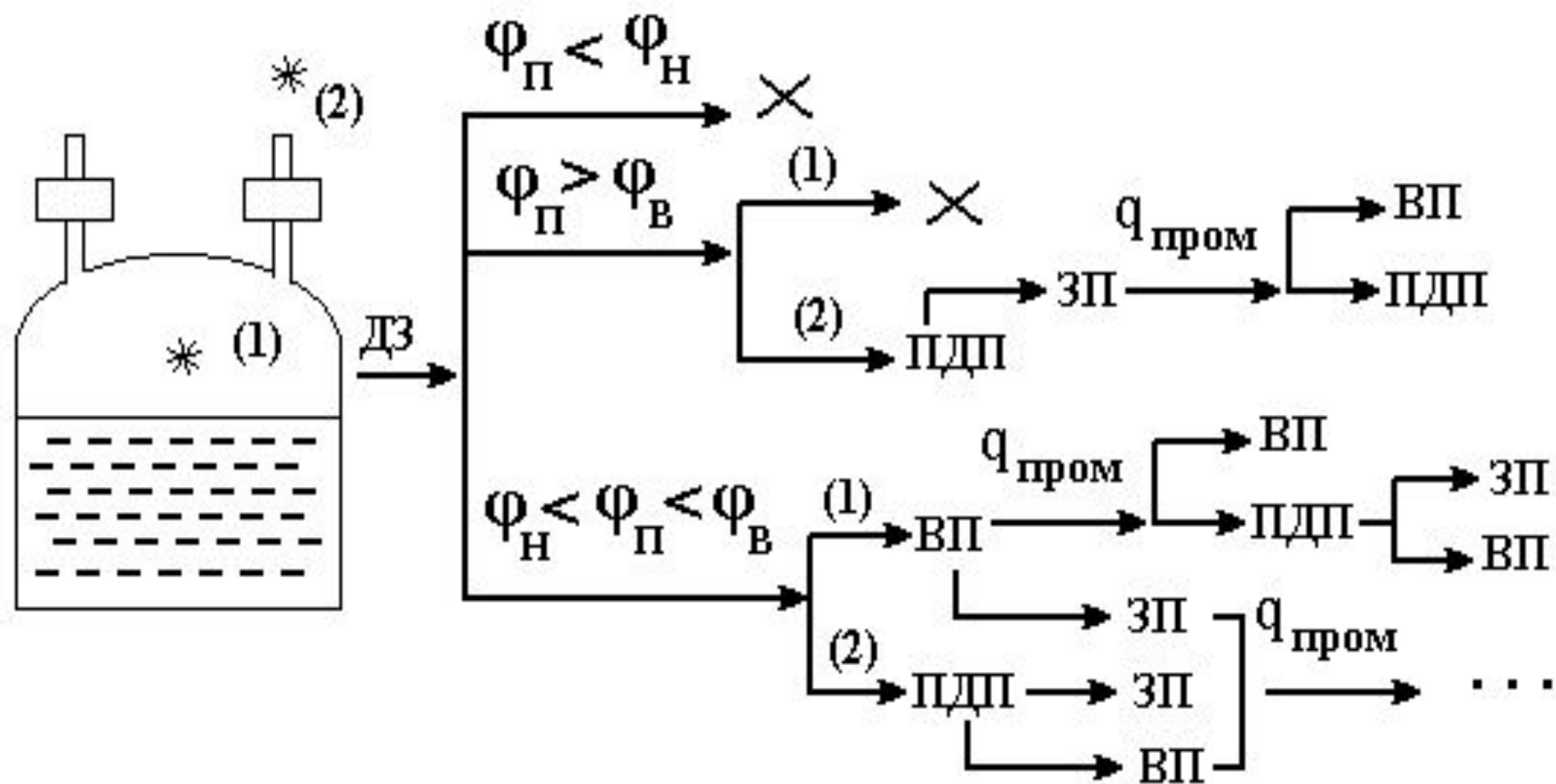


- *пожежа на дихальних пристроях (ПДП) –* горіння пари, що виходить з резервуара, на дихальних пристроях або на інших отворах;



- *зовнішня пожежа (ЗП)* – пожежа з аварійною протокою або викидом рідини з резервуару і з горінням рідини в обвалуванні.





Радіус зони загазованості при витіканні газів:

$$R_{\text{заг}} = 14,6 \sqrt[3]{\frac{m_{\Gamma}}{\rho_{\Gamma} \varphi_{\text{н}}}}$$

$$m_{\Gamma} = g_{\Gamma} \tau_{\text{вит}}, \text{ кг}, \quad \text{або} \quad m_{\Gamma} = \rho_{\Gamma} \frac{T_0 P_{\text{ап}} V_{\text{ап}}}{T_{\text{ап}} P_{\text{атм}}}, \text{ м}^3,$$

При витіканні скраплених газів довжина зони загазованості у напрямі вітру:

$$L = 40 \sqrt{\frac{g_{\Gamma}}{v_{\text{віт}}}}$$

де g_{Γ} - витрата витікання скрапленого газу, $\text{м}^3/\text{кг}$;
 $v_{\text{віт}}$ - швидкість вітру, м/с .

Тротиловий еквівалент вибуху газоповітряної хмари:

$$W_{\text{ТНТ}} = \frac{0,4Q'_H}{0,9Q_{\text{ТНТ}}} m_{\text{Г}} z$$

Значення z приймають залежно від умов вибуху:

в незамкненому просторі: $z = 0,1$

в замкненому просторі: для водню $z = 1$

для інших горючих газів $z = 0,5$

2. ПРОГНОЗУВАННЯ НАСЛІДКІВ ВИБУХУ ГАЗО- ПАРОПОВІТРЯНОЇ СУМІШІ НА ВІДКРИТОМУ ПРОСТОРІ

Якщо горючий газ надходить у навколишнє середовище із пошкодженого технологічного обладнання, то виникає газоповітряна хмара, яка створює загрозу вибуху й утворення вогненного шару.

Експертиза вибухів газо-пароповітряних сумішей (ГППС) на відкритому просторі спрямована на визначення:

- умов утворення вибухонебезпечних концентрацій горючої речовини,
- можливості запалювання ГППС,
- наслідків розвитку вибухонебезпечної події (руйнування будинків, споруд і загибелі людей від вражаючої дії ударної хвилі й вогненної сфери)

Інтенсивність *виходу газу* із обладнання залежить від площі отвору, через який відбувається витікання газу, температури газу і навколишнього середовища, властивостей горючого газу й тиску в системі.

Від співвідношення тиску в системі подачі газу та тиску в навколишньому середовищі залежать режим і витрата витікання газу.

Якщо $\frac{P_{\text{сис}}}{P_{\text{атм}}} < 2$, то режим витікання є докритичним

$$g_{\Gamma} = K_{\text{отв}} S_{\text{отв}} P_{\text{сис}} \sqrt{\frac{1}{R_{\text{пит}} T} \cdot \frac{2k}{k-1} \left[\left(\frac{P_{\text{атм}}}{P_{\text{сис}}} \right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{P_{\text{атм}}}{P_{\text{сис}}} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right]}$$

Якщо $\frac{P_{\text{сис}}}{P_{\text{атм}}} > 2$, то режим витікання є критичним

$$g_{\Gamma} = K_{\text{отв}} S_{\text{отв}} P_{\text{сис}} \sqrt{\frac{1}{R_{\text{пит}} T} \cdot \frac{2k}{k+1} \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{2}{k-1}}}$$

За певний час витікання у середовище надійде маса газу:

$$m_{\Gamma} = g_{\Gamma} \tau_{\text{ВИТ}}, \text{ КГ}$$

Для зріджених вуглеводневих газів (ЗВГ) питому масу випаруваного ЗВГ з проливу розраховують за формулою:

$$m_{\text{ЗВГ}} = \frac{\mu_{\text{ЗВГ}}}{\Delta H_{\text{ВИП}}} (T_0 - T_{\Gamma}) \left(2\lambda_{\text{ТМ}} \sqrt{\frac{\tau_{\text{ВИП}}}{\pi a_{\text{ТМ}}}} + \frac{5,1 \sqrt{\text{Re}} \lambda_{\text{ПОВ}} \tau_{\text{ВИП}}}{d} \right)$$

Зазвичай горючі гази важче повітря, тому зона вибухонебезпечної загазованості, що утворюється при витіканні газу в навколишнє середовище, має форму циліндра радіусом $R_{\text{заг}}$ і висотою $Z_{\text{НКМПП}}$, які розраховують за формулами:

$$R_{\text{заг}} = 14,56 \left(\frac{m_{\Gamma}}{\rho_{\Gamma} \varphi_{\text{Н}}} \right)^{0,33}, \text{ м.} \quad Z_{\text{НКМПП}} = 0,3 \left(\frac{m_{\tilde{\text{а}}}}{\rho_{\tilde{\text{а}}} \varphi_{\text{і}}} \right)^{0,33}, \text{ м.}$$

За аварійного *виходу горючих рідин* площа, що займає розлив рідини, обумовлюється об'ємом розлитої рідини, рельєфом місцевості й властивостями ґрунту. Припускають, що 1 л розчинів, які містять 70 % і менше (по масі) розчинників, розливається на площі 0,1 м², а 1 л інших рідин – на площі 0,15 м².

З поверхні розливу відбувається випаровування рідини у навколишнє середовище. *Інтенсивність випаровування у відкритий простір* визначають за формулою:

$$I_{\text{вип}} = 10^{-6} P_{\text{нп}} \mu_{\text{рід}} (0,734 + 1,637 t_{\text{пов}})$$

Загальна маса горючої речовини, що утворює пароповітряну хмару:

$$m_{\text{пар}} = I_{\text{вип}} S_{\text{розл}} \tau_{\text{вип}}$$

Пароповітряна хмара, в якій горюча речовина має густину більшу, ніж густина повітря, має дископодібну або сигароподібну форму. Приймають, що вибухо-небезпечна зона має форму циліндра радіусом $R_{\text{заг}}$ і висотою $Z_{\text{НКМПП}}$, які розраховують за формулами:

$$R_{\text{заг}} = 3,15 \sqrt{\frac{\tau_{\text{вип}}}{3600} \left(\frac{P_{\text{нп}}}{\varphi_{\text{н}}} \right)^{0,813} \left(\frac{m_{\text{пар}}}{\rho_{\text{пар}} P_{\text{нп}}} \right)^{0,333}}$$

$$Z_{\text{НКМПП}} = 0,12 \sqrt{\frac{\tau_{\text{вп}}}{3600} \left(\frac{D_{\text{нп}}}{\varphi_{\text{і}}} \right)^{0,813} \left(\frac{m_{\text{гад}}}{\rho_{\text{гад}} D_{\text{нп}}} \right)^{0,333}}$$

За початок відліку вибухонебезпечної зони приймають зовнішні габарити апарату чи трубопроводу. У всіх випадках $R_{\text{заг}}$, $Z_{\text{НКМПП}}$ повинні бути не менше 0,3

Зоною ураження (руйнування й можливого травмування людей) вважають площу із прийнятим для розрахунку центром вибуху й границями з радіусом поразки $R_{\text{ураж}}$:

$$R_{\text{ураж}} = \frac{K_1 \sqrt[3]{m_{\text{пар}}}}{\left[1 + \left(\frac{3180}{m_{\text{пар}}} \right)^2 \right]^{\frac{1}{6}}}, \text{ М,}$$

Надлишковий тиск в ударній хвилі, кПа	Коефіцієнт рівня впливу вибуху K_1	Характеристика дії ударної хвилі
> 100	3,8	повне руйнування будівель
50 -70	5,6	руйнування 50% - 75% стін (сильне руйнування)
28	9,6	область значних пошкоджень конструктивних елементів (середнє руйнування)
12 - 14	28,0	область незначних пошкоджень (розриви з'єднань і розчленування конструкцій)
2 - 5	56,0	руйнування до 10 % віконного скла, нижня межа травмування людей

У кінетичному режимі згоряє тільки зовнішня частина зони загазованості, а внутрішня частина хмари буде вигоряти у дифузійному режимі. При цьому утвориться *вогненна сфера*, радіус якої можна визначити за формулою:

$$R_{\text{вс}} = 2,66 m_{\text{гр}}^{0,327}$$

Час існування вогненної сфери:

$$\tau_{\text{вс}} = 0,92 m_{\text{гр}}^{0,303}$$

Радіуси зони ураження тепловим опроміненням:

$$R_{\text{оп}} = K_2 R_{\text{вс}}$$

Коефіцієнт впливу теплового опромінення K_2	Рівень ураження людини
2,3	50 % смертельних наслідків
3,04	1 % смертельних наслідків
5,5	утворення пухирів на шкірі

Гранично припустима доза теплового випромінювання при дії «вогненої сфери» на людину

Ступінь поразки	Доза теплового випромінювання Q , Дж/м ²
Опік 1-ої ступені	$1,2 \cdot 10^5$
Опік 2-ої ступені	$2,2 \cdot 10^5$
Опік 3-ої ступені	$3,2 \cdot 10^5$

$$Q = q\tau_{\text{вс}},$$

де q - інтенсивність теплового випромінювання «вогненої сфери», Вт/м² ;

$\tau_{\text{вс}}$ - час існування «вогненої сфери», с

2. ПРОГНОЗУВАННЯ НАСЛІДКІВ ВИБУХУ ГАЗО- ПАРОПОВІТРЯНОЇ СУМІШІ В ОГОРОДЖЕННІ

Надзвичайна ситуація із загрозою вибуху у приміщенні може створитися внаслідок аварійної розгерметизації технологічного обладнання або газової магістралі. Можливість вибуху при виході горючої речовини в об'єм приміщення створюється за умови досягнення концентрації речовини більше НКМПП. Тому на практиці вирішують такі типи задач:

- визначення небезпеки фактичної середньої концентрації горючої речовини, яка утворюється у вільному об'ємі приміщення за певний час надходження (витікання чи випаровування);
- визначення розмірів зони вибухонебезпечної загазованості,
- визначення часу, за який у даному приміщенні чи у зоні заданих розмірів утвориться вибухонебезпечна концентрація горючої речовини;
- визначення надлишкового тиску при вибуху газопароповітряної хмари, що утворилася внаслідок аварійного виходу речовини в приміщення.

Середню фактичну концентрацію ГР, що утворилася у приміщенні внаслідок аварійного натікання, можна розрахувати за формулою:

$$\varphi'_{\text{сер}} = \frac{m_{\text{гр}}}{V_{\text{прим}}(1 - \eta)} = \frac{m_{\text{гр}}}{V_{\text{вільн}}}, \text{кг / м}^3 \qquad \varphi_{\text{сер}} = \frac{100m_{\text{гр}}}{\rho_{\text{гр}} V_{\text{вільн}}}, \%$$

$$m_{\text{Г}} = g_{\text{Г}} \tau_{\text{вит}}, \text{кг}$$

$$m_{\text{пар}} = I_{\text{вип}} S_{\text{розл}} \tau_{\text{вип}}, \text{кг}$$

Площу випаровування у разі розливу рідини на підлогу визначають виходячи з припущення, що 1 л сумішей та розчинів, які містять 70 % і менше (по масі) розчинників, розливається на площі 0,5 м², а 1 л інших рідин – на 1 м² підлоги приміщення.

Інтенсивність випаровування рідини у приміщенні:

$$I_{\text{вип}} = \xi P_{\text{нп}} \sqrt{\mu} \cdot 10^{-6}, \text{ кг/м}^2 \text{ с}$$

$$\lg P_{\text{нп}} = A - \frac{B}{t_{\text{рід}} + C_a}$$

Швидкість повітря, м·с ⁻¹	Температура повітря в приміщенні, °С				
	< 12	12÷17	17÷25	25÷32	> 32
$v_{\text{пов}} = 0$	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
$0 < v_{\text{пов}} \leq 0,15$	3,0	2,6	2,4	1,8	1,6
$0,15 < v_{\text{пов}} \leq 0,3$	4,6	3,8	3,5	2,4	2,3
$0,3 < v_{\text{пов}} \leq 0,7$	6,6	5,7	5,4	3,6	3,2
$0,7 < v_{\text{пов}}$	10,0	8,7	7,7	5,6	4,6

$$\tau_{\text{випкр}} = \frac{\phi'_n V_{\text{прим}} (1 - \eta)}{I_{\text{вип}} S_{\text{розл}}}, \text{ с.}$$

$$\tau_{\text{надхкр}} = \frac{V_{\text{вільн}} \phi'_n}{g_{\text{Г}}^{\text{надх}}}, \text{ с,}$$

За наявності отворів у приміщенні виникає газообмін внаслідок різниці температур газового середовища в приміщенні і назовні, через що частина горючого газу буде втрачатися разом із потоком повітря.

Рівняння матеріального балансу горючого газу, що надходить у приміщення, з урахуванням витoku газу через отвори з потоком повітря:

$$\frac{dm_{\Gamma}}{d\tau} = V_{\text{вільн}} \frac{d\phi'_{\Gamma}}{d\tau} = g_{\Gamma}^{\text{надх}} - g_{\Gamma\text{с}}^{\text{вит}} \frac{\phi'_{\Gamma}}{\rho_{\Gamma\text{с}}}$$

Рішення рівняння дає *масу газу*, що накопичується в приміщенні за певний час розвитку аварії з урахуванням газообміну:

$$m_{\Gamma}(\tau) = \frac{g_{\Gamma}^{\text{надх}} \rho_{\Gamma\text{с}} V_{\text{вільн}}}{g_{\Gamma\text{с}}^{\text{вит}}} \left(1 - e^{-\frac{g_{\Gamma\text{с}}^{\text{вит}} \tau}{\rho_{\Gamma\text{с}} V_{\text{вільн}}}} \right), \text{ кг.}$$

Час, через який середня концентрація горючого газу в об'ємі приміщення досягне значення НКМПП, з урахуванням витоку горючого газу із приміщення в процесі його надходження:

$$\tau_{\text{НКМПП}} = \frac{V_{\text{вільн}} \rho_{\text{гс}}}{g_{\text{гс}}^{\text{вит}}} \ln \frac{g_{\text{г}}^{\text{надх}}}{g_{\text{г}}^{\text{надх}} - \frac{g_{\text{гс}}^{\text{вит}} \varphi'_{\text{н}}}{\rho_{\text{гс}}}}, \text{ с.}$$

За певних умов газообміну час досягнення НКМПП в об'ємі приміщення буде прямувати до нескінченності, тобто вибухонебезпечна загазованість у приміщенні не буде створюватися. Така ситуація виникне якщо

$$g_{\text{г}}^{\text{надх}} \leq \frac{g_{\text{гс}}^{\text{вит}} \varphi'_{\text{н}}}{\rho_{\text{гс}}}.$$

Витрату *надходження газу* із обладнання в приміщення визначають за формулами:

- докритичний режим витікання $\frac{P_{\text{сис}}}{P_{\text{атм}}} < 2$

$$g_{\Gamma}^{\text{надх}} = K_{\text{отв}} S_{\text{отв}} P_{\text{сис}} \sqrt{\frac{1}{R_{\text{пит}} T} \cdot \frac{2k}{k-1} \left[\left(\frac{P_{\text{атм}}}{P_{\text{сис}}} \right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{P_{\text{атм}}}{P_{\text{сис}}} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right]}$$

- критичний режим витікання $\frac{P_{\text{сис}}}{P_{\text{атм}}} > 2$

$$g_{\Gamma}^{\text{надх}} = K_{\text{отв}} S_{\text{отв}} P_{\text{сис}} \sqrt{\frac{1}{R_{\text{пит}} T} \cdot \frac{2k}{k+1} \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{2}{k-1}}}$$

Витрату, з якою відбувається рух газів із приміщення, можна розрахувати за формулою:

- якщо є отвори на різних рівнях:

$$g_{\text{вит}} = 0,65 S_{\text{прип}} S_{\text{вит}} \rho_{\text{пов}} \sqrt{\frac{2g H \left(1 - \frac{T_0}{T_{\text{гс}}}\right) \frac{T_0}{T_{\text{гс}}}}{S_{\text{прип}}^2 + S_{\text{вит}}^2 \frac{T_0}{T_{\text{гс}}}}}$$

- якщо отвори на одному рівні:

$$g_{\text{вит}} = 0,42 S_{\text{отв}} \rho_{\text{пов}} \sqrt{\frac{2gh_{\text{отв}} \left(1 - \frac{T_0}{T_{\text{гс}}}\right) \frac{T_0}{T_{\text{гс}}}}{\left(1 + 3 \sqrt{\frac{T_0}{T_{\text{гс}}}}\right)^3}}, \text{ кг/с}$$

Якщо за даний час виходу *горючого газу* НКМПП не була досягнута в усьому приміщенні, а тільки в певній частині приміщення, то утворюється *зона вибухонебезпечної загазованості*. Розміри зони вибухонебезпечної загазованості в горизонтальній площині визначають за формулами:

$$X_{\text{НКМПП}} = 1,1314 \cdot L \sqrt{\ln\left(\frac{1,38\varphi_0}{\varphi_H}\right)}, \text{ м,}$$

$$Y_{\text{НКМПП}} = 1,1314 \cdot F \sqrt{\ln\left(\frac{1,38\varphi_0}{\varphi_H}\right)}, \text{ м,}$$

в нерухомому середовищі:

$$k = 0,0253,$$

в рухомому середовищі :

$$k = 0,02828$$

$$Z_{\text{НКМПП}} = kH_{\text{прим}} \sqrt{\ln\left(\frac{1,38\varphi_0}{\varphi_H}\right)}, \text{ м,}$$

$$\varphi_0 = 3,77 \cdot 10^3 \frac{m_{\Gamma}}{\rho_{\Gamma} V_{\text{вільн}}}, \%,$$

$$\varphi_0 = 300 \frac{m_{\Gamma}}{\rho_{\Gamma} V_{\text{вільн}} V_{\text{пов}}}, \%,$$

Час, протягом якого за даних умов аварійного надходження горючого газу в приміщення зона вибухонебезпечних концентрацій пошириться до ймовірного джерела запалювання, можна розрахувати

- за умови відсутності руху повітряних потоків:

$$\tau_{\text{ДЗ}} = 1,92 \cdot 10^{-4} \frac{\rho_{\text{Г}} V_{\text{вільн}} \Phi_{\text{н}}}{g_{\text{Г}}^{\text{надх}}} e^{\left(\frac{R}{1,1314 \cdot L} \right)^2}, \text{ с},$$

- у рухомому середовищі:

$$\tau_{\text{ДЗ}} = 2,4 \cdot 10^{-3} \frac{\rho_{\text{Г}} V_{\text{вільн}} V_{\text{пов}} \Phi_{\text{н}}}{g_{\text{Г}}^{\text{надх}}} e^{\left(\frac{R}{1,1314 \cdot L} \right)^2}, \text{ с},$$

де R – відстань від джерела витікання газу до ймовірного джерела запалювання, м.

Якщо за час аварійної ситуації маса ***пари*** не утворила НКМПП у всьому об'ємі приміщення, то розміри ***вибухо-небезпечної зони*** (горизонтальні розміри $X_{\text{НКМПП}}$, $Y_{\text{НКМПП}}$ та висоту від рівня розливу $H_{\text{НКМПП}}$) розраховують за формулами:

$$X_{\text{НКМПП}} = 1,1958L \sqrt{\left| \frac{\tau_{\text{вип}}}{3600} \ln \left(\frac{1,26\varphi_o}{\varphi_n} \right) \right|} \quad Y_{\text{НКМПП}} = 1,1958F \sqrt{\left| \frac{\tau_{\text{вип}}}{3600} \ln \left(\frac{1,26\varphi_o}{\varphi_n} \right) \right|}$$

$$Z_{\text{НКМПП}} = K_1 H_{\text{прим}} \sqrt{\left| \frac{\tau_{\text{вип}}}{3600} \ln \left(\frac{1,26\varphi_o}{\varphi_n} \right) \right|}$$

$$\varphi_o = \varphi_{\text{нп}} \left(\frac{100m_{\text{пар}}}{\varphi_{\text{нп}} \rho_{\text{пар}} V_{\text{вільн}}} \right)^{K_2}, \%,$$

за умови нерухомого середовища $K_1 = 0,04714$, $K_2 = 0,41$
за умови рухомого середовища $K_1 = 0,3536$; $K_2 = 0,46$;

Якщо в зоні вибухонебезпечної загазованості виникне джерело запалювання, відбудеться вибух, надлишковий тиск якого розраховують за формулами:

- для індивідуальних горючих речовин, що складаються із атомів C, H, O, N, Cl, Br, I, F:

$$\Delta P = (P_{\max} - P_o) \frac{100 m_{\text{пар}} z}{V_{\text{вільн}} \rho_{\text{пар}} \phi_{\text{стм}} K_n}, \text{кПа},$$

- для елементоорганічних індивідуальних рідин а також для сумішей горючих рідин:

$$\Delta P = \frac{P_o Q'_n m_{\text{пар}} z}{V_{\text{вільн}} \rho_{\text{пов}} c_{r_{\text{пов}}} T_{\text{пов}} K_n}, \text{кПа},$$

Для наближених розрахунків коефіцієнт участі пари у вибуху в приміщенні приймають рівним 0,3.

Для приміщень прямокутної форми з відношенням довжини до ширини не більше 5 за умови, що $\phi_{\text{сер}} < 0,5 \phi_{\text{н}}$, коефіцієнт участі горючої пари ЛЗР у вибуху z розраховують за формулами:

- за умови, що $X_{\text{нкмпп}} \leq 0,5L$ та $Y_{\text{нкмпп}} \leq 0,5F$:

$$z = \frac{5 \cdot 10^{-3} \pi}{m_{\text{пар}}} \rho_{\text{пар}} \left(\phi_0 + \frac{\phi_{\text{н}}}{1,25} \right) X_{\text{нкмпп}} Y_{\text{нкмпп}} Z_{\text{нкмпп}}$$

- за умови, що $X_{\text{нкмпп}} > 0,5L$ та $Y_{\text{нкмпп}} > 0,5F$:

$$z = \frac{5 \cdot 10^{-3}}{m_{\text{пар}}} \rho_{\text{пар}} \left(\phi_0 + \frac{\phi_{\text{н}}}{1,25} \right) S_{\text{підл}} Z_{\text{нкмпп}}$$

За початок відліку вибухонебезпечної зони приймають зовнішні габарити апарату чи трубопроводу.

У всіх випадках $R_{\text{заг}}$, $Z_{\text{нкмпп}}$ приймаються не менше 0,3 м.

Якщо в приміщенні працює *примусова вентиляція*, то масу рідини, що випарувалася, необхідно поділити на коефіцієнт, рівний

$$A\tau_{\text{вип}} + 1,$$

де A – кратність повітрообміну, що створюється аварійною вентиляцією, с^{-1} .

Якщо під час аварії відбувся миттєвий викид пари із технологічного апарату, то час $\tau_{\text{вип}} = 0 \text{ с}$.

Завдання на самопідготовку:

Вивчити літературу:

- Тарахно О.В. Теоретичні основи пожежовибухонебезпеки. С. 110 -134.
- Зельдович Я.Б., Баренблат Г.И. и др. Математическая теория горения и взрыва. М., 1980.
- Розловский А.Н. Основы техники взрывопожароопасности при работе с горючими газами и парами.