

ПОБУДОВА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ КІЛЬКОСТІ РІДИНИ ПРИ ВИПАРОВУВАННІ

Бойко Т. В., Запорожець Ю. А.

ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА ЖИДКОСТИ ПРИ ИСПАРЕНИИ

Бойко Т. В., Запорожец Ю. А.

CONSTRUCTION OF A MATHEMATICAL MODEL FOR DETERMINING THE AMOUNT OF LIQUID DURING EVAPORATION

Boiko T. V., Zaporozhets J.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»
м. Київ, Україна
z.juli@bigmir.net

В статті розглянуті явища, що протікають в ході роботи підприємства, а також представлено алгоритм який дозволяє кількісно оцінити об'єми хімічної речовини яка випаровується з поверхні водоймища або з поверхні зливу рідини з промислового об'єкту при його регламентній роботі.

Ключові слова: хімічні речовини, випаровування, техногенний об'єкт, забруднюючі речовини

В статье представлены явления, которые протекают в ходе работы предприятия, а также представлен алгоритм, который позволяет количественно оценить объём химического вещества, который испаряется с поверхности водоема или с поверхности слива жидкости с промышленного объекта при его регламентной работе.

Ключевые слова: химические вещества, испарение, техногенный объект, загрязняющие вещества

The article presents the phenomena that occur during the operation of the enterprise, and also presents an algorithm that allows you to quantify the amount of a chemical substance that evaporates from the surface of a reservoir or from the surface of a liquid from an industrial facility during its routine work.

Keywords: chemicals, evaporation, anthropogenic object, pollutants

Для розрахунку впливу промислового підприємства на навколишнє середовище використовуються методи математичного моделювання і прогнозування, які є теоретичною основою опису фізико-хімічних явищ і процесів, що протікають в складних технічних системах якими є крупні промислові джерела небезпеки.

Для якісної оцінки наслідків ЧС техногенного характеру, а також при нормальному функціонуванні хімічних підприємств використовуються чисельні методи двох видів.

Перша група методів заснована на моделюванні фізико-хімічних явищ і процесів, що приводять до аварійних ситуацій. Ці методи призначені для оцінки параметрів процесів, які використовуються в методиках оцінки наслідків аварій на різних об'єктах або з різним характером наслідків. Деякі з цих методів використовуються для прогнозування концентрацій забруднюючих речовин в атмосферному повітрі або водних об'єктах, визначення токсодоз забруднюючих речовин.

Друга група методів використовується для прогнозування рівнів забруднення середовищ: повітря, водно, рослин, ґрунту і тому подібне і отримання довгострокових прогнозів, а також прогнозу окремих наслідків забруднення і накопичення негативного впливу окремими компонентами екосистеми.

Особливістю багатоасортиментних хімічних виробництв є утворення великого переліку шкідливих інгредієнтів, що викидаються в різні компоненти навколишнього середовища сильно забруднюючі стічні води, як правило, після витягання на локальних установках особливо токсичних елементів (наприклад ртуті і сірки) усереднюються і після необхідної підготовки прямують на закачку в глибокі поглинаючі шари горизонту. Слабо забруднені, біологічно окислювані стічні води усереднюються і прямують на станцію біохімічного очищення, після чого зливаються у водоймища [1].

Для розрахунку кількості поллютанту потрапляючого в навколишнє середовище, а саме процес потрапляння стічних вод з об'єкту в поверхневі води з промислового підприємства, використовуються моделі оцінки параметрів процесів в ході нормального функціонування хімічно небезпечних об'єктів, також дані моделі можуть бути використані при виникненні і розвитку аварійних ситуацій.

Особливістю нормального функціонування хімічно небезпечних об'єктів показав, що при моделюванні фізичних процесів, що протікають в ході роботи підприємства, повинні враховуватися наступні явища:

- Витік з отвору в резервуарі;
- Розтікання рідини по піддону;
- Випаровування рідини з протоки;
- Утворення пароповітряної хмари;
- Факельне горіння струменя рідини;

Побудова математичної моделі для визначення кількості рідини при випаровуванні

Для розрахунку процесу переходу поллютанту з поверхневих вод в атмосферу використовується модель оцінки параметрів процесів в ході нормального функціонування хімічно небезпечних об'єктів. Даний процес представлено у вигляді випаровування хімічної речовини з поверхні водоймища або з поверхні зливу рідини з промислового об'єкту [1].

У основу моделі випаровування покладена теорія Стефанівського потоку. Основним висновком цієї теорії є положення про те, що при температурах навколишнього повітря, низьких в порівнянні з температурою кипіння рідини, процес випаровування лімітується дифузією, а при високих - тепловіддачею. Для більшості хімічних речовин характерний перший режим випаровування. При цьому інтенсивність випаровування W ($\text{кг}/(\text{м}^2\text{с})$) визначається за довідковими і

експериментальними даними. Для не нагрітих вище за температуру навколишнього середовища ЛВЖ за відсутності даних допускається розраховувати W із задовільною точністю за допомогою виразу:

$$W = 10^{-4} \eta \sqrt{M} \cdot P_n \quad (1)$$

де M – молекулярна маса, г/моль; P_n – тиск насиченої пари при розрахунковій температурі рідини t_p , яке визначається за довідковими даними kPa ; η – коефіцієнт, що приймається за табл. 1 залежно від швидкості і температури повітряного потоку над поверхнею випаровування.

Маса перегрітої рідини $m_{пер}$ визначається

$$m_{пер} = \min \left\{ 0.8 m_n; \frac{2c_p (T_s - T_{кип})}{L_{исп}} m_n \right\} \quad (2)$$

де $L_{исп}$ – питома теплота випаровування рідини при температурі перегріву рідини T_s , Дж/кг; m_n – маса перегрітої рідини, що вийшла, кг; $T_{кип}$ – нормальна температура кипіння рідини, К; c_p – питома теплоємність рідини при температурі перегріву рідини, Дж/(кг·К); T_s – температура перегрітої рідини відповідно до технологічного регламенту в технологічному апараті або устаткуванні, К.

Для зріджених вуглеводневих газів (СУГ) за відсутності даних допускається розраховувати питому масу СУГ, що випарувався, з протоки $m_{суг}$, кг/м²:

$$m_{суг} = \frac{M}{L_{исп}} \cdot (T_0 - T_{уг}) \cdot \left\{ 2 \cdot \lambda_M \cdot \sqrt{\frac{t}{\pi \cdot a}} + \frac{5.1 \sqrt{Re} \cdot \lambda_B \cdot t}{d} \right\} \quad (3)$$

де M – молекулярна маса СУГ, кг/моль; $L_{исп}$ – молярна теплота випаровування СУГ при початковій температурі СУГ, Дж/моль; T_0 – початкова температура матеріалу, на поверхню якого розливається СУГ, К; λ_M – коефіцієнт теплопровідності матеріалу,

на поверхні якого розливається СУГ, Вт/(м·К); $a = \frac{\lambda_M}{c_{tb} \rho_{tb}}$, м²/сек, де c_{tb} – теплоємність матеріалу, на поверхні якого розливається СУГ Дж/(кг·К); ρ_{tb} – щільність матеріалу, на поверхню якого розливається СУГ; t – поточний час (сек), що приймається рівним часу повного випаровування СУГ, (≤ 3600 сек); $Re = \frac{ud}{\nu_b}$, де u –

швидкість повітряного потоку, м/с; $d = \sqrt{\frac{4F_n}{\pi}}$ – характерний розмір протоки СУГ, м; ν_b – кінематична в'язкість повітря, м²/с; λ_b – коефіцієнт теплопровідності повітря, Вт/(м·К).

Формула справедлива для $T_{уг} \leq T_{кип}$. якщо $T_{уг} \geq T_{кип}$, то додатково розраховується маса по формулі:

$$m_{\text{пер}} = \min \left\{ 0.8 \cdot m_n; \frac{2c_p(T_s - T_{\text{кип}})}{L_{\text{исп}}} \cdot m_n \right\} \quad (4)$$

Таблиця 1. Значення коефіцієнта η

Швидкість повітряного потоку в приміщенні, м/с	Значення коефіцієнта η при температурі $t, ^\circ\text{C}$, повітря приміщення				
	10	15	20	30	35
0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
0,1	3,0	2,6	2,4	1,8	1,6
0,2	4,6	3,8	3,5	2,4	2,3
0,5	6,6	5,7	5,4	3,6	3,2
1,0	10,0	8,7	7,7	5,6	4,6

Розрахунок горизонтальних розмірів зон, м, що обмежують газо- і пароповітряні суміші з концентрацією пального вище за нижню концентраційну межу розповсюдження полум'я $C_{\text{нкр}}, \%$ (об.), при аварійному надходженні горючих газів і пари не нагрітих легкозаймистих рідин у відкритий простір, визначають по формулах (для випадку, коли розміри зон досягають максимальних значень, а саме при нерухомому повітряному середовищі):

- для горючих газів (ГГ):

$$R_{\text{НКПР}} = 14.5632 \cdot \left(\frac{m_{\text{Г}}}{\rho_{\text{Г}} \cdot C_{\text{НКПР}}} \right)^{0.333} \quad (5)$$

- для пари не нагрітих легкозаймистих рідин (ЛЗР):
по горизонталі:

$$R_{\text{НКПР}} = 3.1501 \cdot \sqrt{K} \cdot \left(\frac{P_{\text{н}}}{C_{\text{НКПР}}} \right)^{0.813} \cdot \left(\frac{m_{\text{п}}}{\rho_{\text{п}} \cdot P_{\text{н}}} \right)^{0.333} \quad (6)$$

$$\rho_{\text{Г,п}} = \frac{M}{V_0 \cdot (1 + 0.00367 \cdot t_p)} \quad (7)$$

по вертикалі:

$$Z_{\text{НКПР}} = 0.12 \cdot \sqrt{K} \cdot \left(\frac{P_{\text{н}}}{C_{\text{НКПР}}} \right)^{0.813} \cdot \left(\frac{m_{\text{п}}}{\rho_{\text{п}} \cdot P_{\text{н}}} \right)^{0.333} \quad (8)$$

де $m_{\text{Г}}$ – маса тих, що поступили у відкритий простір ГГ при аварійній ситуації кг;
 $\rho_{\text{Г}}$ – щільність ГГ при розрахунковій температурі $t_p, ^\circ\text{C}$ і атмосферному тиску, кг/м³; $m_{\text{п}}$ – маса пари ЛЗР, що поступила у відкритий простір за час повного випаровування, але не більш 3600 сек, кг; $\rho_{\text{п}}$ – щільність пари ЛВЖ при розрахунковій температурі і атмосферному тиску; $P_{\text{н}}$ – тиск насиченої пари ЛЗР при

розрахунковій температурі, кПа; K – коефіцієнт, що приймається рівним $K = T / 3600$ для ЛВЖ; T – тривалість надходження пари ЛЗР у відкритий простір, сек; M – молярна маса, кг/кмоль; V_0 – молярний об'єм, рівний $22,413 \text{ м}^3 / \text{кмоль}$;

Як розрахункова температура слід приймати максимально можливу температуру повітря у відповідній кліматичній зоні або максимально можливу температуру повітря за технологічним регламентом з урахуванням можливого підвищення температури. Якщо такого значення розрахункової температури t_p за будь-яких причин визначити не вдається, допускається приймати її рівною 61°C . Значення $R_{\text{нспр}}$, $Z_{\text{нспр}}$ повинні бути прийняті не менше 0,3 м.

Результатом моделювання – отримання кількості речовини яка випаровується з поверхні водоймища.

Розрахунок кількості речовини (аміака) яка випаровується з поверхні водоймища

Розрахунок проводився у програмному середовищі MathCad:

$$V_g := \alpha \cdot V + \frac{G \cdot t}{p_g} + \frac{\pi \cdot d t^4}{4} \cdot L \quad V_g = 0.106$$

$$V_{ob} := F_{ob} \cdot H_{ob} \quad V_{ob} = 0.12$$

$$F_{isp} := F_{ob} \quad F_{isp} = 0.6$$

$$U := \begin{cases} 0 & \text{if } I = 0 \\ 5 & \text{if } I = 1 \end{cases} \quad d := \sqrt{\frac{4 \cdot F_{isp}}{\pi}} \quad d = 0.874$$

$$M_{sug} := F_{isp} \cdot \frac{M}{Lisp} \cdot (T_b - T_g) \cdot \left(2 \cdot \lambda \cdot \sqrt{\frac{t t}{\pi \cdot a}} + \frac{5.1 \cdot \sqrt{U \cdot \frac{d}{v_B}} \cdot \lambda_B \cdot t t}{d} \right) \quad M_{sug} = 0.816$$

В роботі реалізовано модель оцінки параметрів процесів в ході нормального функціонування хімічно небезпечних об'єктів для розрахунку процесу переходу поллютанту з поверхневих вод в атмосферу. Даний процес представлено у вигляді випаровування хімічної речовини, аміака, з поверхні зливу рідини промислового об'єкту

ЛІТЕРАТУРА

1. Рева Г. В., Борисов, П. Ф., Дранишников Л. В. Жартовский В. М., Найверт А. В. Управление технической безопасностью объектов повышенной опасности. Киев, 2005. 493с.