

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ НАФТОПРОДУКТІВ НА АТМОСФЕРУ ЗА ДОПОМОГОЮ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Д.Ф.Тимків, Я.М.Семчук, М.А.Наследнікова

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42430,  
e-mail: public@nuing.edu.ua

Досліджено та проаналізовано результати розрахунків розповсюдження викидів із резервуарів у атмосферу. Показано, що процес випаровування має періодичний характер, і забруднення атмосфери відбувається циклічно з різною амплітудою і фазою в циклах за висотою й у часі. Запропоновану математичну модель можна використовувати і для будь-яких видів забруднень довкілля. Її створено з метою визначення швидкості забруднень, а також накопичення інформації про забруднення за будь-який проміжок часу.

Ключові слова: випаровування нафтопродуктів, навколишнє середовище, просторова математична модель

Исследованы и проанализированы результаты расчетов распространения выбросов из резервуаров в атмосферу. Показано, что процесс испарения носит периодический характер, и загрязнение атмосферы осуществляется циклически с разной амплитудой и фазой в циклах по высоте и во времени. Предложенную математическую модель можно использовать для любых видов загрязнений окружающей среды. Она создана для определения скорости загрязнения, а также накопления информации о загрязнении за любые промежутки времени.

Ключевые слова: испарение нефтепродуктов, окружающая среда, пространственная математическая модель

In paper it is explored and analysed outcomes calculations of distribution ejections from tanks in an atmosphere. It is mapped, that process of transpiration has periodic character and air contamination is carried out cyclically with different amplitude and a phase in cycles on height and in time. The offered mathematical model can be used for any kinds of environmental pollution. It is created with the purpose of definition velocity of contamination, and also accumulation of the information on contamination for any time intervals.

Keywords: evaporation of petroleum product, environment, spatial mathematical model

Використання об'єктів переробки нафти, якими є нафтопереробні заводи, розміщені по всій території України, і особливо в західних регіонах, супроводжується широкомасштабним впливом на оточуюче середовище. Оскільки природні ресурси (вода, ґрунт, повітря) є безпосередніми ланками технологічного процесу [1], вони зазнають значного негативного впливу. Негативні наслідки результатів переробки нафти на довкілля пов'язані зі складним технологічним процесом, який здійснюється на нафтопереробних заводах.

При оцінці впливу на навколишнє середовище продукції нафтопереробного комплексу стають всі елементи біосфери, що піддаються змінам: поверхневі та підземні води, оточуюче повітря, ґрунтовий покрив, фауна і флора [2].

На сьогодні питання викидів забруднюючих речовин у атмосферу підприємствами з переробки нафти привертає увагу міжнародних організацій через збільшення парникового ефекту, що зумовлює підвищення температури земної поверхні. Про це говорилось на Кіотському форумі, де 150 країн світу підписали угоду про зменшення викидів у атмосферу, і на Європейській екологічній комісії.

В літературі майже відсутня інформація про моделювання викидів із резервуарного парку, де зберігаються нафта і нафтопродукти. А у наукових працях, присвячених нафтоосховищам, описуються технічні засоби зменшення втрат вуглеводнів, тобто наведена кількісна, а

не якісна характеристика, за якою можна було б оцінити ступінь забруднення навколишнього середовища.

Як бачимо, забруднення довкілля різними типами викидів із урахуванням усіх можливих чинників впливу вивчено ще недостатньо.

Для вирішення цієї проблеми важливе значення має розробка просторової математичної моделі для досліджень викидів забруднень у атмосферу.

З метою створення такої моделі, розглянемо дифузію парів бензину в нерухомому середовищі, яка має вигляд [3]:

$$\nabla^2 c - \frac{1}{D} \frac{\partial c}{\partial t} = -\frac{1}{D} \cdot q(x, y, z, t), \quad (1)$$

де:  $c$  – концентрація дифундуєчої речовини (відношення об'єму, занятого дифундуєчою речовиною, до загального об'єму за умови, що він нескінченно малий);

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} - \text{оператор Лапласа;}$$

$t$  – час;  $D$  – коефіцієнт дифузії, м<sup>2</sup>/с;  $q = f(x, y, z, t)/\rho$ ;  $f(x, y, z, t)$  – інтенсивність внутрішніх джерел маси, кг/м<sup>3</sup>;  $\rho$  – густина маси речовини внутрішнього джерела, кг/м<sup>3</sup>.

Функція  $f(x, y, z, t)$  у такому випадку записується так:

$$f(x, y, z, t) = Q_0 \cdot \sum_{i=1}^{12} \delta(x - x_i) \cdot \delta(y - y_i) \cdot \delta(z - z_i) \times \\ \times \sum_{n=0}^{\infty} [U(t - 2 \cdot n \cdot \Delta t_3) - U(t - (2 \cdot n + 1) \cdot \Delta t_3)] \times \\ \times \left[ \sum_{k=0}^{\infty} U(t - k \cdot \Delta t^*) - U(t - (\Delta t_1 + k \cdot \Delta t^*)) \right]. \quad (2)$$

У (2)  $\delta(x - x_i)$ ,  $\delta(y - y_i)$ ,  $\delta(z - z_i)$  – дельта функції Дірака [58,59,70];  $x_i$ ,  $y_i$ ,  $z_i$  – координати  $i$ -го запобіжного клапана;  $U(t - t_i)$  – одинична функція Хевісайда;  $\Delta t^* = \Delta t_1 + \Delta t_2$ ;  $Q_0$  – потужність одного джерела,  $кз/с$ .

Для довільного моменту часу  $t = t_1$ , але кратного  $\Delta t^*$ , концентрацію парів бензину  $c(x, y, z, t)$  для випадків 4-х і 6-и джерел маси можна подати так:

а) чотири джерела маси,  $z \leq z_1$

$$c(x, y, z, t) = \frac{Q_0}{4 \cdot \pi^2 \cdot D \cdot \delta} \times \\ \times \int_0^{\infty} \left[ \cos \beta \cdot \left( x - \frac{a}{2} \right) + \cos \beta \cdot \left( x + \frac{a}{2} \right) \right] \times \\ \times \int_0^{\infty} \left[ \cos \gamma \cdot \left( y - \frac{b}{2} \right) + \cos \gamma \cdot \left( y + \frac{b}{2} \right) \right] \times \\ \times \sum_{k=1}^l \sum_{r=1}^{r_2} \int(\beta, \gamma, z, t) d\gamma d\beta; \quad (2)$$

б) чотири джерела маси,  $z \geq z_1$

$$c(x, y, z, t) = \frac{Q_0}{4 \cdot \pi^2 \cdot D \cdot \delta} \times \\ \times \int_0^{\infty} \left[ \cos \beta \cdot \left( x - \frac{a}{2} \right) + \cos \beta \cdot \left( x + \frac{a}{2} \right) \right] \times \\ \times \int_0^{\infty} \left[ \cos \gamma \cdot (y - b) + \cos \gamma \cdot y + \cos \gamma \cdot (y + b) \right] \times \quad (3) \\ \times \int_0^{\infty} \left[ \cos \gamma \cdot \left( y - \frac{b}{2} \right) + \cos \gamma \cdot \left( y + \frac{b}{2} \right) \right] \times \\ \times \sum_{k=1}^l \sum_{r=1}^{r_2} \int(\beta, \gamma, z, t) d\gamma d\beta;$$

в) шість джерел маси,  $z \leq z_1$

$$c(x, y, z, t) = \frac{Q_0}{4 \cdot \pi^2 \cdot D \cdot \delta} \times \\ \times \int_0^{\infty} \left[ \cos \beta \cdot \left( x - \frac{a}{2} \right) + \cos \beta \cdot \left( x + \frac{a}{2} \right) \right] \times \\ \times \int_0^{\infty} \left[ \cos \gamma \cdot (y - b) + \cos \gamma \cdot y + \cos \gamma \cdot (y + b) \right] \times \\ \times \sum_{k=1}^l \sum_{r=1}^{r_2} \int(\beta, \gamma, z, t) d\gamma d\beta; \quad (4)$$

г) шість джерел маси,  $z \geq z_1$

$$c(x, y, z, t) = \frac{Q_0}{4 \cdot \pi^2 \cdot D \cdot \delta} \times \\ \times \int_0^{\infty} \left[ \cos \beta \cdot \left( x - \frac{a}{2} \right) + \cos \beta \cdot \left( x + \frac{a}{2} \right) \right] \times \\ \times \int_0^{\infty} \left[ \cos \gamma \cdot (y - b) + \cos \gamma \cdot y + \cos \gamma \cdot (y + b) \right] \times \\ \times \sum_{k=1}^l \sum_{r=1}^{r_2} \int(\beta, \gamma, z, t) d\gamma d\beta, \quad (5)$$

де:  $n$  – кількість циклів спрацювання запобіжних клапанів, що відповідає моменту часу  $t = t_1 = n \cdot \Delta t^*$ , від початку викидів парів бензину в атмосферу;

$$r_1 = [(n + 1) - ((2 \cdot k - 1) \cdot m - r)] \cdot \Delta t^*,$$

$$r_2 = [n - (2 \cdot k - 2) \cdot m] \cdot \Delta t^*$$

$m$  – кількість спрацювань запобіжного клапана резервуара за світлову пору доби (день);

$k$  – число, яке вказує на номер доби від початку викидів парів бензину;

$l$  – максимальне значення для величини  $k$  (номер останньої доби, для одного із моментів якої визначається  $c(x, y, z, t)$ );

$r$  – величина, яка може приймати значення 0, 1, 2, 3, 4 у випадку, якщо  $m = 5$ .

Якщо  $m$  більше 5, наприклад,  $m = 6$ , то  $r$  може приймати значення 0, 1, 2, 3, 4, 5. Ця величина відмінна від нуля тільки для світлової пори останньої доби від початку викидів парів бензину в атмосферу. Для всіх попередніх діб і нічної пори доби  $r = 0$ . Величина  $r = 1$ , якщо до закінчення світлової пори останньої доби не вистачає  $\Delta t^*$  часу,  $r = 2$ , якщо до закінчення світлової пори останньої доби не вистачає  $2 \cdot \Delta t^*$  часу і т. д.

Приклад. Нехай,  $t = t_1 = 57,6$  год.,  $\Delta t^* = 2,4$  год. У такому випадку

$$n = \frac{t_1}{\Delta t^*} = \frac{57,6}{2,4} = 24.$$

Оскільки час одного циклу спрацювання запобіжних клапанів  $\Delta t^* = 2,4$  год., то

$m = \frac{t_g}{\Delta t^*} = \frac{12}{2,4} = 5$  (тут  $t_g$  – час світлової пори доби, прийнято  $t_g = 12$  год.). Момент часу  $t_1 = 57,6$  год припадає на третю добу, тому  $\ell = 3$ . Крім того, момент часу  $t_1 = 57,6$  год. відповідає світловій порі третьої доби, і до її закінчення не вистачає часу  $\Delta t^*$ , тому  $r = 1$ . Враховуючи значення величини  $n, m, r$ , наприклад, за першою формулою (2), будемо мати:

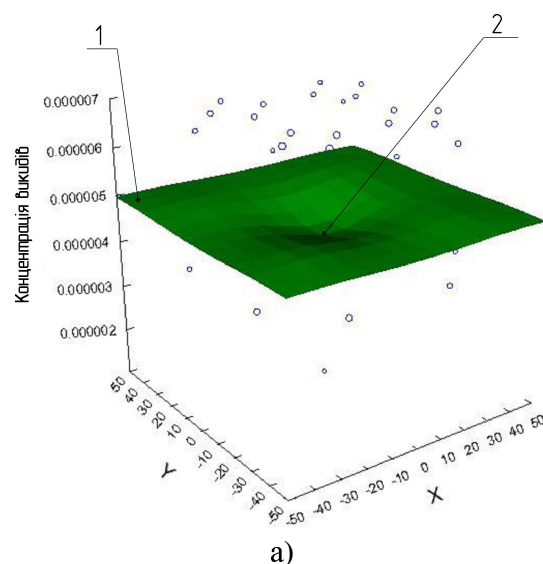
$$c(x, y, z, t)_{t=57,6} = \frac{Q_0}{4\pi^2 D \delta} \times \int_0^\infty \left[ \cos \beta \left( x - \frac{a}{2} \right) + \cos \beta \left( x + \frac{a}{2} \right) \right] \times \int_0^\infty \left[ \cos \gamma \left( y - \frac{b}{2} \right) + \cos \gamma \left( y + \frac{b}{2} \right) \right] \times \left( \sum_{t=1-\Delta t^*}^{n \cdot \Delta t^*} f_1(x, \gamma, z, t) + \sum_{t=1-\Delta t^*}^{n \cdot \Delta t^*} f_1(x, \gamma, z, t) + \sum_{\eta}^{r_2} f_1(x, \gamma, z, t) \right)$$

На основі розробленої математичної моделі будують криві забруднення, за якими визначають концентрацію забруднень в атмосфері від вуглеводневих сполук.

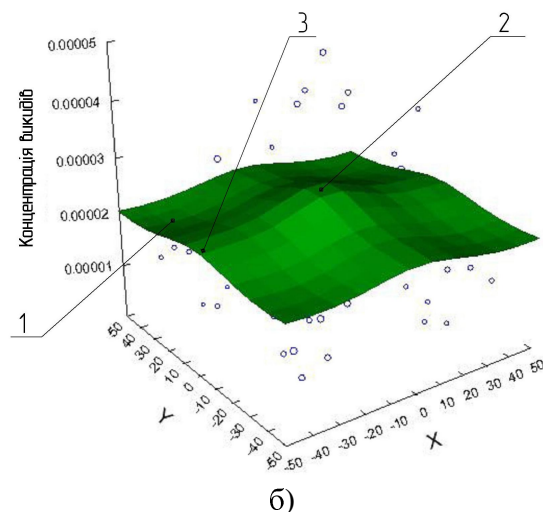
Для реалізації математичної моделі складено програму розрахунку. У результаті реалізації програми видаються концентрації викидів у атмосферному повітрі в межах площини у формі квадрату розмірами  $100 \times 100$  м, причому центр тривимірної координатної системи ( $x = 0$ ;  $y = 0$ ;  $z = 0$ ) розміщено у геометричному центрі виділеної площини, а джерела викидів (дихальні клапани резервуарів) розміщено в геометричному центрі з координатами  $A_1(-20,0)$ ;  $A_2(20,0)$ ;  $A_3(0,-20)$ ;  $A_4(0,20)$ ; апліката всіх джерел викидів відповідала висоті встановленого клапана  $z = 12$  м.

Загальний аналіз графіків свідчить, що процес формування хмар забруднень у атмосфері, викликаний викидами з резервуарів, є коливальним процесом як у просторі, так і у часі. При цьому слід зауважити, що зміна амплітуди процесу суттєво більша в часі, ніж за площею горизонтального повітряного шару, й різко зменшується при відхиленні аплікати від рівня  $z = 12$  м, якому відповідає рівень розміщення джерел викидів.

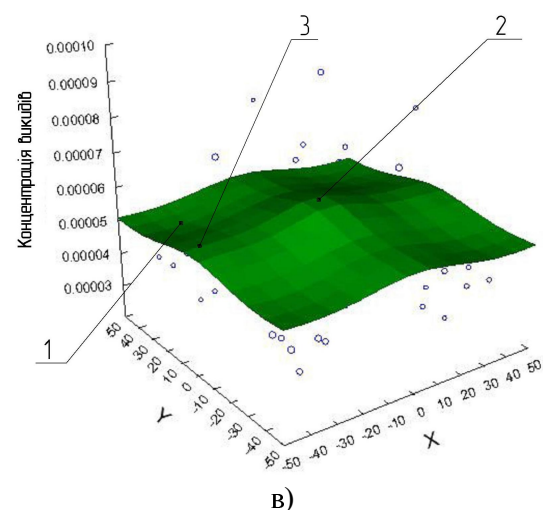
На рівні  $z = 12$  м (рис. 1), де діють чотири точкових джерела викидів, починаючи з моменту часу  $t = 0$  концентрація викидів у атмосфері підвищується майже рівномірно по всій площі й на момент  $t = 2,4$  год. складає  $2 \cdot 10^{-6}$ , а в центрі площини залишається меншою і складає  $3,44 \cdot 10^{-6}$ .



а)  $1 - C = 3,2 \cdot 10^{-5}$ ;  $2 - C = 3,44 \cdot 10^{-6}$



б)  $1 - C = 3,45 \cdot 10^{-6}$ ;  $2 - C = 49,886 \cdot 10^{-6}$ ;  $3 - C = 36,55 \cdot 10^{-6}$



в)  $1 - C = 27,22 \cdot 10^{-6}$ ;  $2 - C = 95,297 \cdot 10^{-6}$ ;  $3 - C = 79,36 \cdot 10^{-6}$

а)  $t=2,4$  год.; б)  $t=7,2$  год.; в).  $t=12$  год.

Рисунок 1 – Результати розрахунку вмісту парів бензину в атмосфері на висоті  $h=12$ м

У наступний момент часу  $t = 7.2$  год. спостерігається тенденція до вирівнювання концентрації викидів по площі площини. У найбільш віддалених точках від центру площини концентрація викидів зросла до  $20 \cdot 10^{-6}$ , а в центрі вона складає  $49.8855 \cdot 10^{-6}$ . Спостерігається зниження концентрації на величину  $11.6795 \cdot 10^{-6}$ . У точках дії джерел викидів концентрації складає  $36.548 \cdot 10^{-6}$ . Відношення максимального значення концентрації до мінімального рівне 2.4943.

У момент часу  $t = 12$  год., продовжується вирівнювання концентрації викидів за площею виділеної території з одночасним зростанням її величини. Мінімальне значення концентрації у найбільш віддалених від центра точках складає  $51 \cdot 10^{-6}$ , а максимальне значення в центрі площини  $95.297 \cdot 10^{-6}$ . Відношення максимальної концентрації до мінімальної складає 1.86856.

Отже, досліджено та проаналізовано результати розрахунків розповсюдження викидів із резервуарів у атмосферу. Показано, що процес випаровування має періодичний характер, і забруднення атмосфери відбувається циклічно з різною амплітудою і фазою в циклах по висоті й у часі.

Дану математичну модель можна використовувати і для інших видів забруднень довкілля. Її створено з метою визначення швидкості забруднень, а також накопичення інформації про забруднення за будь-який проміжок часу.

### *Література*

- 1 Горелик Д.О. Мониторинг загрязнения атмосферы и источников выбросов / Д.О.Горелик, Л.А.Конопелько. – М.: Изд-во стандартов, 1992. – 432 с.
- 2 Бородулин А.И. Моделирование турбулентной диффузии примесей при малых временах распространения / А.И.Бородулин // Изв. РАН (серия: физика атмосферы океана). – 1993. – Т. 29. – №2. – С. 208-212.
- 3 Наследникова М.А. Розробка математичної моделі прогнозування величин викидів забруднюючих речовин на підприємствах нафтопереробної галузі / М.А.Наследникова, Д.Ф.Тимків, Р.Г.Онацко // Науковий вісник ІФНТУНГ. – 2008. – №2. – С. 89-93.

*Стаття поступила в редакційну колегію*

*14.01.10*

*Рекомендована до друку професором*

*В. Я. Грудзом*