
**Міністерство освіти і науки України
Національний університет
«Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»**



Матеріали

**IX Всеукраїнської науково-технічної конференції
«Створення, експлуатація і ремонт
автомобільного транспорту та
будівельної техніки»
30 квітня 2026 р.**

Полтава 2026

системи промислового інтернету речей або інтеграція з уже наявними системами контролю технологічних процесів.

Наступний етап передбачає аналітичну обробку отриманої інформації. У процесі аналізу визначаються допустимі межі зміни параметрів, а також встановлюються закономірності їх поведінки за різних режимів експлуатації.

На завершальному етапі впроваджується система автоматичного формування попереджень про можливий ризик відмови обладнання. Такі системи можуть генерувати повідомлення для інженерного персоналу або формувати рекомендації щодо планування ремонтних заходів.

Застосування алгоритмів машинного навчання значно підвищує ефективність таких систем, оскільки дозволяє одночасно враховувати велику кількість взаємопов'язаних факторів. Це особливо актуально для складних виробничих комплексів, де технічний стан окремих елементів може залежати від сукупного впливу кількох параметрів експлуатації.

Таким чином, предиктивне обслуговування можна розглядати як один із ключових практичних інструментів підвищення ефективності управління промисловим обладнанням. Його впровадження дозволяє підвищити надійність роботи виробничих систем, зменшити кількість аварійних зупинок та оптимізувати витрати на технічне обслуговування.

Література

1. Moubray J. *Reliability-Centered Maintenance*. 2nd ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1997. 448 p. URL: <https://www.sciencedirect.com/book/9780750633587/reliability-centered-maintenance> (дата звернення 04.03.26р.)
2. Jardine A. K. S., Lin D., Banjevic D. *A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance*. *Mechanical Systems and Signal Processing*. 2006. Vol. 20, No. 7. P. 1483–1510. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2005.09.012> (дата звернення 04.03.26р.)
3. ISO 17359:2018. *Condition monitoring and diagnostics of machines — General guidelines*. Geneva: International Organization for Standardization, 2018. 44 p. URL: <https://www.iso.org/standard/63116.html> (дата звернення 04.03.26р.)

УДК 693.6.002.5

В. Г. Михайлик, аспірант

М. В. Шаповал, к.т.н., доцент

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИФУЗІЙНОЇ ПРОНИКНОСТІ СЕРЕДОВИЩА МАТЕРІАЛУ ЗАМКНЕНОЇ КАМЕРИ КОМПЕНСУЮЧОГО ПРИСТРОЮ

Негерметичність внаслідок дифузії в тій чи іншій мірі властива всім ущільненням. Дифузія (взаємна проникність двох або декількох дотичних речовин) обумовлена різницею концентрацій C однієї речовини в іншій. Дифузію середовища

через замкнену камеру розподіляють на ступні стадії: 1) поглинання рідини (газу) ущільнювачем – сорбція (коефіцієнт сорбції α_1 , м/с); 2) дифузія середовища через матеріал замкненої камери (коефіцієнт дифузії D_p , м²/с); 3) виділення (десорбція) середовища з другої сторони матеріалу (коефіцієнт сорбції α_2 , м/с).

При стаціонарному процесі на основі першого закону Фіка через перегородку товщиною l і площею S , масовий Q_{mS} , кг/с, і об'ємний Q_S , м³/с, витрати середовища пропорційні градієнту концентрацій $dC/dx \approx \Delta C/l$

$$\begin{aligned} Q_{mS} &= \psi_S \frac{dC}{dx} S \approx \psi_S \frac{\Delta C}{l} S; \\ Q_S &= \psi_S \frac{q_p S}{l}, \end{aligned} \quad (1)$$

$$\text{де } \psi_S = \left(\frac{1}{\alpha_1 l} + \frac{1}{D_p} + \frac{1}{\alpha_2 l} \right)^{-1} - \text{функція проникності, м}^2/\text{с};$$

q_p – ступінь набухання – відносний склад середовища в матеріалі ущільнювача, що визначається за кінетичними кривими набухання $q(t)$.

Витрати Q_{mS} і Q_S дуже малі по відношенню з іншими видами витоків. Найменшу проникність забезпечують метали, потім щільні пластмаси, найбільш проникні еластomers та гумотканинні матеріали. В якості характеристики ущільнення використовують питому проникність одиниці площі в одиницю часу. При розташуванні ущільнень в ряд за ступенем зростання витоків діафрагмові балонного типу (сильфоні) ущільнення можна прийняти за еталон самих найменших витоків. Втрати на просочування складають менше 10^{-14} м³/(м²·с).

Дифузійна проникність за контактною поверхнею замкненої камери, ущільнень.

Область контакту ущільнення з ущільнюючою поверхнею відрізняється неоднорідністю структури. В ній немає повної суцільності, що властива матеріалу основних деталей, і можна виділити ділянки контакту поверхневих плівок, пустоти, ділянки контакту матеріалу камери, ущільнювача та ущільнюваної поверхні. Механізм контактної дифузії складний і кількісно не вивчений. Однак практично при будь-яких експериментах з визначення коефіцієнта дифузії неявно знаходять контактну дифузійну проникність по периметру ємностей, камер, мембран. Для контактної дифузії в рівняння (1) введено наступні поправки:

1) висота зони контакту приблизно рівна параметру шорсткості R_z , тому $S = B \cdot R_z$;

2) з урахуванням порожнин в області контакту її складає $k_1 l$ ($k_1 < 1$);

3) внаслідок більш рихлої структури поверхневих плівок коефіцієнт $\psi_{Sk} = k \psi_S$. Тоді масова витрата і питома проникність

$$Q_{mSk} = k \cdot \psi_S \cdot \frac{\Delta C \cdot B \cdot R_z}{k_1 \cdot l};$$

$$\bar{Q}_{Sk} = \frac{Q_{Sk}}{\rho} = k \cdot \psi_S \cdot \frac{q_p}{k_1 \cdot l}.$$
(2)

Витоки внаслідок контактної дифузії пропорційні периметру ущільнення.

Дифузійна проникність через пневмоблон замкненої камери (мембрану) товщиною l . Замкнена камера (мембрана), що розділяє середовища A і B (рис. 1) з концентраціями речовини C_1 і C_2 , при тривалому впливі характеризується деякою дифузійною проникністю.

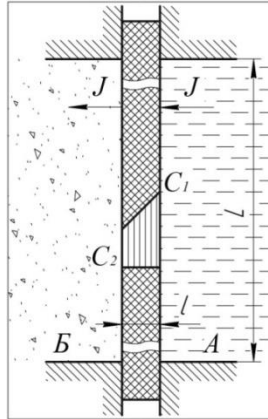


Рисунок 1 — Схема дифузії в плоскій пластині, що розділяє два середовища

Процес масопереносу розподіляють на три стадії:

1) розчинення середовища з концентрацією C_1 в поверхневому шарі A замкненої камери мембрани (характеризується коефіцієнтом поверхневого масообміну α_1 , м/с);

2) дифузія середовища через матеріал замкненої камери (характеризується коефіцієнтом дифузії в матеріалі замкненої камери D , м²/с), відрізняється лінійним розподіленням концентрації C за товщиною $C = (C_1 - C_2) \cdot x/l + C_2$;

3) десорбція з другої сторони замкненої камери в середовище з концентрацією C_2 (характеризується коефіцієнтом α_2 , м/с). При стаціонарному процесі щільності потоків однакові ($J_1 = J_2$), тому маса речовини, що проходить через площу S протягом часу t :

$$m = -D \cdot (C_2 - C_1) S \cdot t / l,$$
(3)

де $P = D \cdot h$ — коефіцієнт дифузії, м²/с,

$$D = \left[(\alpha_1 l)^{-1} + D^{*-1} + (\alpha_2 l)^{-1} \right]^{-1}.$$
(4)

Коефіцієнт дифузії газів і парів визначають також із рівняння (2.102), в якому на основі закону Генрі об'ємну концентрацію C_v замінюють перепадом парціальних тисків: де h — коефіцієнт сорбції або розчинності, м³/ (м³·Па). Об'ємні витрати, м³/с

$$Q_F = \frac{D \cdot h \cdot \Delta p_i \cdot S}{l} \text{ або } Q_F = \frac{P \cdot h \cdot \Delta p_i \cdot S}{l}, \quad (5)$$

де $P = D \cdot h$ – коефіцієнт газопроникності, $\text{м}^2/(\text{с} \cdot \text{Па})$.

Коефіцієнти сорбції h і волого проникності P_g при дифузії рідких середовищ і розрахунку масової витрати $Q_{m\phi}$, кг/с , вимірюють відповідно в $\text{кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{Па})$ і $\text{кг}/(\text{м} \cdot \text{с} \cdot \text{Па})$. При дифузії через перегородку із порожнини з рідиною в порожнину з повітрям (рис. 1) $C_2 \approx 0$, тому можна використати данні про ступінь набухання q для визначення градієнта концентрації в рівнянні: $\Delta C = \rho \cdot q_{p1}$ (ρ – щільність рідини).

$$\text{Вираз для об'ємних витрат приймає вигляд } Q_F = \frac{D \cdot q_p \cdot S}{l}.$$

Модель перегородки, зображено на (рис. 1) використовують для визначення коефіцієнта дифузії D на основі рівняння Дайнеса-Баррера [1, 2]

$$D = \frac{l^2}{6t_D}, \quad (6)$$

де t_D – час запізнювання, протягом якого у камері B не спостерігається поява диффундируючої із камери A речовини. Дане рівняння являється рішенням рівняння першого закону Фіка для руху фронту диффундируючої речовини із камери A до камери B [1, 2].

Відповідно до ДСТУ 8931:2019, ДСТУ 7150:2010, ДСТУ 7147:2010 коефіцієнт дифузії визначають по кінетичній кривій набухання зразка діаметром $d = 50$ мм і довжиною $l = 3$ мм. У формулу $D = 0,0494 \cdot l^2 / t_0$ слід підставляти час t_0 , що знайдений за кінетичною кривою і відповідний набуханням $0,5q_{pm}$.

Вплив температури і напруження.

На процес дифузії значно впливає температура. На основі уявлень про активаційний механізм дифузії можна описати рівнянням $D = Ae^{-U/(RT)}$, де U – умовна енергія активації, Дж/моль . Якщо відомий коефіцієнт дифузії D_0 при температурі T_0 , то можна визначити D при температурі T

$$D = D_0 \cdot e^{U \cdot \Delta T / (RT_0 \cdot T)}, \quad (7)$$

де $\Delta T = T - T_0, \text{К}$; $R = 8,3 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$, для еластомерів в середовищі нафтових мастил $U \approx 55 \text{ кДж/моль}$ при $T_0 = 333 \text{ К}$ [84, 85].

Залежність коефіцієнта дифузії від температури для еластомерів показана в табл. 1. Встановлено, що проникність полімеру при деформуванні змінюється: при всебічному стисненні – зменшується, при розтягуванні – збільшується, що можна пояснити зміною вільного об'єму в структурі полімеру. Коефіцієнт дифузії при всебічному стисненні $D \cdot 10^{13} \text{ м}^2/\text{с}$ для РЖ гумах складає [1, 5-7]: 3,8 і 1,6 – для гум на основі СКН-40 відповідно при $p = 0$ і МПа ; 3,3 і 1,5 – для гуми на основі СКМС-10 при тих же значеннях p [1, 5, 6, 7].

Таблиця – 1 Коефіцієнт дифузії рідин для виробів із еластомерів

Виріб	Каучук	Рідина	$D \cdot 10^{13}$, м ² /с, при температурі, °С		
			25	60	90
Мембрана (замкнений балон)	СКН-26	РМЦ	0,15	1,3	8,4
		АУ	0,19	1,7–1,9	11,0
		МГЕ-10А	0,24	2,8	14,0
	СКН-18	Фреон-12	–	–	900,0
	СКН-26		–	–	200,0
	СКН-26+ СКН-18	МГЕ-10А	0,60	7,0	35,0
	СКН-26+ СКН-18	АУ	0,42	3,9	24,0
Мембрана (замкнений балон)	СКФ-26	Спирт етиловий	50	–	–
Тканина прогумована М47-1	СКН-26	АМГ-10	0,88	7,6	51,0
		АГМ	0,53	4,6	31,0
		АУП	0,62	5,4	35,0
Рукав	СКН-18+наірит	МГЕ-10А	60	700	4000,0

В полімерах і пластмасах на дифузійні характеристики [1, 2] впливає утворення тріщин при розтягненні. При напруженні $\sigma < (0,35...0,4)\sigma_T$ помітних змін D немає, починаючи з $\sigma < (0,4...0,5)\sigma_T$ процес переносу середовища в матеріалах прискорюється.

Література

1. Портенко М. І. Процеси дифузії в середовищі з мембранами // Пр. Ін-ту математики НАН України. – 1995. – 10. – 200 с.
2. Портенко М. І. Дифузія в середовищах з напівпрозорими мембранами. – К.: Праці Інституту математики НАНУ, 1994
3. Суберляк О.В. Технологія переробки полімерних та композиційних матеріалів. Підручник / О.В. Суберляк, П.І. Баітанник – Львів: Видавництво «Растр-7», 2007. – 376 с.
4. Теоретичні основи та технологія виробництва полімерних композиційних матеріалів : навч. посіб. / Е. О. Спорягін, К. Є. Варлан. – Д. : Вид-во ДНУ, 2012. – 188 с.
5. Суберляк О.В., П. І. Баітанник. Технологія переробки полімерних та композиційних матеріалів: підруч. для студентів ВНЗ; М. освіти і науки України. 2-ге вид. Львів: Растр-7, 2016. 456 с.
6. Суберляк О.В., П.І. Баітанник Технологія переробки полімерних та композиційних матеріалів: підручник. Львів: Растр-7, 2015. 256 с.
7. Гаркуша О.М., Махно С.М., Приходько Г.П. Структурні особливості та властивості полімерних нанокомпозитів при низьких концентраціях наповнювача Хімія, фізика та технологія поверхні.- 2010. Т.1, №.1.- С.103-110