

ТЕХНОЛОГІЯ ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

УДК 677.017.636

Дейнека І.Г. д.т.н., професор, зав. кафедри
Вишневський О.В. асистент
Мичко А.А. д.т.н., професор

РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПРОЦЕСУ ДЕСТРУКЦІЇ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ, ПРИЗНАЧЕНИХ ДЛЯ КИСЛОТОЗАХИСНИХ ВИРОБІВ

Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля,
e-mail: textiles-snu@mail.ru

У роботі розглядається задача пошуку залежності коефіцієнта повітропроникності тканини від часу впливу кислотами різних концентрацій. Отримано рішення рівняння деструкції. Рівняння деструкції зведене до системи крайових задач, які вирішували методом стрільби. Приватне рішення рівняння деструкції (напівемпірична функція) уточнювалося підбором параметрів способом наймен-ших квадратів - отримано аналітичну формула апроксимації. Системний підхід дозволив створити ви-сокоінтелектуальну систему для проведення віртуальних експериментів, за допомогою яких вдалося уточнити дескриптивні математичні моделі. Проведені чисельні експерименти підтвердили припущення про значимість коефіцієнта повітропроникності як основного.

Ключові слова: математична модель, апроксимація, диференціальне рівняння, деструкція, віртуальний і лабораторний експерименти.

Теоретично-методологічні основи визначення ступеня надійності кислотозахисного одягу від впливу таких мінеральних кислот, як сірчана, соляна, азотна та фосфорна середніх і високих концентрацій пов'язані, насамперед, із хімічною стійкістю волокон які входять до структури спеціальних матеріалів, що використовуються для його виготовлення. Оскільки експериментально було доказано, що бавовняні, вовняні, віскозні, поліамідні (капронові) та інші волокна руйнуються при контакті із мінеральними кислотами середніх і високих концентрацій, то очевидно, що розробка текстильних матеріалів для виготовлення ефективних і конкурентоздатних виробів, які відповідали б вимогам підприємств, що використовують та виготовляють указані агресивні реагенти є актуальною проблемою.

Для її вирішення побудовано математичну модель у вигляді інтерполяційних багаточленів методом найменших квадратів (МНК) і сплайн-апроксимацію з наступним уточненням дескриптивних моделей а також провести чисельний розв'язок рівняння деструкції з подальшою апроксимацією найпростішими залежностями та розробити спеціалізовані прикладні програми для автоматичного прийняття розв'язків при оцінці ступеня руйнування текстильних матеріалів. Експериментальні дані були оброблені методами апроксимації, сплайнами і поліноміальної апроксимації. У дескриптивні математичні моделі були включені задачі математичного програмування, а утворені при формалізації системи диференціальних рівнянь вирішувалися методами Рунге - Кутта і Симпсона.

Системи лінійних рівнянь вирішувалися методом прогону, а нелінійних рівнянь – методом Монте-Карло і уточнювалися методом Коші та Ньютона.

Вирішуючи професійно-орієнтовану задачу в реальному масштабі часу на ПК, ми повинні вибрати тактику, що забезпечує мінімум інтегральної похибки $\varepsilon_{\text{и}}$. Таким чином, вже на стадії алгоритмізації, проводився пошук ефективних моделей, у яких мінімізується похибка і забезпечується висока продуктивність. У програму були включені модулі, які автоматично виявляють вади у вираженнях і способах зберігання даних, для того, щоб їх нейтралізувати.

При вирішенні поставлених задач, на початковому етапі, обмежилися вибором апроксимуючого полінома третього порядку для гратчастих функцій, який включає, як окремий випадок, так і лінійну регресію апроксимації табличних даних. В ідеалі можна вважати, що процес деструкції і зміна величини коефіцієнта повітропроникності описується системою диференціальних рівнянь першого порядку. Для цього необхідні три етапи: загальний підхід, апроксимація кубічною параболою з розпізнаванням функціональної залежності і використовуючи експериментальні дані та чисельний розв'язок рівняння деструкції, здійснити перехід до динаміки досліджуваного процесу, тобто до динамічної моделі.

Спочатку проведемо апроксимацію експериментальних даних [4, 5, 6, 7]. Для цього на

тимчасовому відрізку $[v, u]$ задамо сітку: $x_i = v + (i - 1)h$

де $h = \frac{u - v}{N - 1}$; $i = 1, 2, \dots, N$, а N , у нашому випадку, дорівнює 4. Обчислимо по чотирьом різним

значенням абсцис точки на площині: $((x_1, f_1), (x_2, f_2), (x_3, f_3), (x_4, f_4))$ де $f_i = f(x_i)$ – коефіцієнт повітропроникності. У кожному вузлі сітки зажадаємо виконання рівності $(ax_i^3 + bx_i^2 + cx_i + d) - f_i = 0$, тобто одержимо систему 4-х рівнянь із 4-а невідомими.

Якщо число експериментальних точок, через які проводиться кубічна парабола, більше чотирьох, то число рівнянь, які треба розв'язати, також більше чотирьох. У тому випадку, якщо одержуємо умовну (невизначену) систему рівнянь, застосовуємо метод Жордана-Гаусса. Така система зводиться до еквівалентної і має більш одного розв'язку (нескінченне число розв'язків). При побудові еквівалентної і використовують елементарні операції двох видів: множення на константу й додавання будь-якого рівняння з будь-яким іншим рівнянням системи, помноженим на константу. Константа може бути будь-якого знаку. Введемо критерій згоди, у якому будемо знаходити:

$$\min_{a,b,c,d} S(a,b,c,d) = \sum_{i=1}^N v_i \varepsilon_i^2,$$

тобто зважену середню квадратичну похибку. Шукані параметри одержуємо, розв'язуючи систему чотирьох лінійних («нормальних») рівнянь:

$$\frac{\partial S}{\partial a} = 0; \frac{\partial S}{\partial b} = 0; \frac{\partial S}{\partial c} = 0; \frac{\partial S}{\partial d} = 0.$$

$$\begin{pmatrix} \frac{\sum_{i=1}^N v_i x_i^6}{\sum_{i=1}^N v_i x_i^5} & \frac{\sum_{i=1}^N v_i x_i^5}{\sum_{i=1}^N v_i x_i^4} & \frac{\sum_{i=1}^N v_i x_i^4}{\sum_{i=1}^N v_i x_i^3} & \frac{\sum_{i=1}^N v_i x_i^3}{\sum_{i=1}^N v_i x_i^2} \\ \frac{\sum_{i=1}^N v_i x_i^5}{\sum_{i=1}^N v_i x_i^4} & \frac{\sum_{i=1}^N v_i x_i^4}{\sum_{i=1}^N v_i x_i^3} & \frac{\sum_{i=1}^N v_i x_i^3}{\sum_{i=1}^N v_i x_i^2} & \frac{\sum_{i=1}^N v_i x_i^2}{\sum_{i=1}^N v_i x_i^1} \\ \frac{\sum_{i=1}^N v_i x_i^4}{\sum_{i=1}^N v_i x_i^3} & \frac{\sum_{i=1}^N v_i x_i^3}{\sum_{i=1}^N v_i x_i^2} & \frac{\sum_{i=1}^N v_i x_i^2}{\sum_{i=1}^N v_i x_i^1} & \frac{\sum_{i=1}^N v_i x_i^1}{\sum_{i=1}^N v_i x_i^0} \\ \frac{\sum_{i=1}^N v_i x_i^3}{\sum_{i=1}^N v_i x_i^2} & \frac{\sum_{i=1}^N v_i x_i^2}{\sum_{i=1}^N v_i x_i^1} & \frac{\sum_{i=1}^N v_i x_i^1}{\sum_{i=1}^N v_i x_i^0} & \frac{\sum_{i=1}^N v_i x_i^0}{\sum_{i=1}^N v_i} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a \\ b \\ c \\ d \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{\sum_{i=1}^N v_i x_i^3 f_i}{\sum_{i=1}^N v_i x_i^2} \\ \frac{\sum_{i=1}^N v_i x_i^2 f_i}{\sum_{i=1}^N v_i x_i^1} \\ \frac{\sum_{i=1}^N v_i x_i^1 f_i}{\sum_{i=1}^N v_i} \\ \frac{\sum_{i=1}^N v_i f_i}{\sum_{i=1}^N v_i} \end{pmatrix}, \text{ де } a, b, c, d - \text{ невідомі. Знаходимо їх}$$

ітераційними методами. Далі розглядається система n лінійних рівнянь із n невідомими

$$x_1, x_2, x_3, \dots, x_n, \text{ яка записується у вигляді: } \sum_{k=1}^n a_{ik} x_k = b_i$$

($i = 1, 2, 3, \dots, n$). Якщо визначник цієї системи $\Delta = \det[a_{ik}] \neq 0$, то система має єдиний розв'язок:

$$x_k = \frac{\Delta_k}{\Delta}, \text{ де } (k = 1, 2, 3, \dots, n), \Delta_k - \text{ визначник, що}$$

виходить із Δ , при заміні елементів k – стовпця вільними членами $b_1, b_2, b_3, \dots, b_n$. На рис. 1 наведені результати реалізації алгоритму для випадку обробки тканини зразка 21-83 сірчаною кислотою різної концентрації.

Очевидно, що залежність нелінійна.

Ми побудували математичні моделі у вигляді інтерполяційних багаточленів і у вигляді емпіричних функцій, параметри яких визначали МНК. Далі реалізуємо сплайн-апроксимацію [4, 5, 6, 7].

Отже, сформулюємо (поставимо) задачу математично: побудуємо на тимчасовому відрізку $[v, u]$ сітку

$$x_i = u + ih, \text{ де: } h = \frac{u - v}{N}; i = 0, 1, 2, \dots, N; N -$$

число відрізків довжиною h . У вузлах сітки

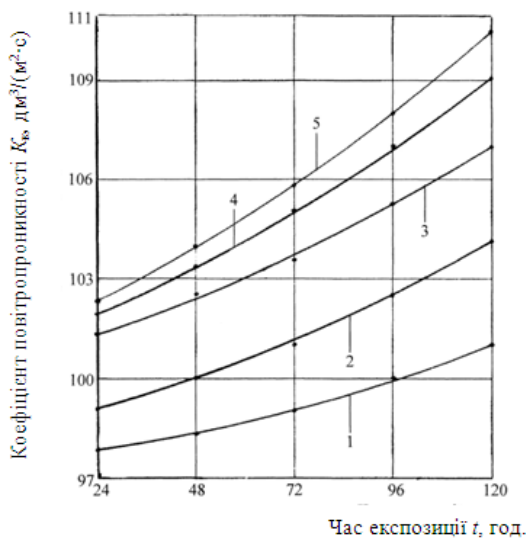


Рис. 1. Залежність коефіцієнта повітропроникності проб спеціальних матеріалів зразка 21 - 83 від часу експозиції H_2SO_4 наступної концентрації: 1 - 50%; 2 - 60%; 3 - 70%; 4 - 80%; 5 - 90%

задаємо $f_i = f(x_i)$ – коефіцієнт повітропроникності, одержуючи $N + 1$ точку на площині і знайдемо $S(x) = ax^3 + bx^2 + cx + d$, що задовольняє заданим умовам:

- 1) $S(x)$ двічі диференційована (природно для $S(x)$);
- 2) на $[x_k, x_{k+1}]$ – $S(x)$ – кубічний многочлен, а $k = 0, 1, 2, \dots, N - 1$;
- 3) у вузлах сітки $f_i \equiv S(x_i)$;
- 4) $S''(x)$ задовольняє крайовим умовам: $S''(u) = f''(u)$, $S''(v) = f''(v)$.

Вичисливши другу похідну від $S(x) = ax^3 + bx^2 + cx + d$, маємо $S''(x) = 6ax + 2b$. Це рівняння прямої, яка з'єднує дві точки (x_{i-1}, f_{i-1}) , (x_i, f_i) , де a , b – поки невідомі (їх легко обчислити, але ми обчислимо усі a , b , c , d пізніше через знову введені невідомі).

Інший варіант формалізації: представляємо $S''(x)$ як суму двох прямих і тоді маємо:

$$S''(x) = M_{i-1} \frac{x_i - x}{h} + M_i \frac{x - x_{i-1}}{h},$$

де M_{i-1} та M_i – також поки невідомі. Проінтегруємо цей многочлен двічі:

$S(x) = M_{i-1} \frac{(x_i - x)^3}{6h} + M_i \frac{(x - x_{i-1})^3}{6h} + A_i \frac{x_i - x}{h} + B_i \frac{x - x_{i-1}}{h}$ де A_i , B_i – константи інтегрування. Вони обчислюються із умови:

$$M_i \frac{h^2}{6} + B_i = f_i;$$

$$M_{i-1} \frac{h^2}{6} + A_i = f_{i-1}.$$

Звідки $A_i = f_{i-1} - M_i \frac{h^2}{6}$; $B_i = f_i - M_{i-1} \frac{h^2}{6}$.

Отже, остаточно маємо:

$$S(x) = M_{i-1} \frac{(x_i - x)^3}{6h} + M_i \frac{(x - x_{i-1})^3}{6h} + (f_{i-1} - \frac{M_i h^2}{6}) \frac{x_i - x}{h} + (f_i - \frac{M_{i-1} h^2}{6}) \frac{x - x_{i-1}}{h},$$

де M_1, M_2, \dots, M_{n-1} – невідомі.

Щоб знайти ці коефіцієнти, продиференціюємо отриманий многочлен і в кожному внутрішньому вузлі сітки прирівняємо ці однобічні похідні:

$$S'(x) = -M_{i-1} \frac{(x_i - x)^2}{2h} + M_i \frac{(x - x_{i-1})^2}{2h} - S'(x_i - 0) = -\frac{h}{6} M_{i-1} + \frac{h}{3} M_i + \frac{f_i - f_{i-1}}{h};$$

$$-(f_{i-1} - \frac{M_{i-1} h^2}{6}) \frac{1}{h} + (f_i - \frac{M_i h^2}{6}) \frac{1}{h}$$

$$S'(x_i + 0) = -\frac{h}{3} M_i + \frac{h}{6} M_{i+1} + \frac{f_{i+1} - f_i}{h};$$

У підсумку маємо:

$$\frac{h}{6} M_{i-1} + \frac{2h}{3} M_i + \frac{h}{6} M_{i+1} = \frac{f_{i+1} - f_i}{h} - \frac{f_i - f_{i-1}}{h}.$$

$$M_{i-1} + 4M_i + M_{i+1} = 6 \frac{f_{i+1} - 2f_i + f_{i-1}}{h^2}, \quad i = 1, N - 1.$$

$$4M_1 + M_2 = 6 \frac{f_2 - 2f_1 + f_0}{h^2} - M_0;$$

$$M_1 + 4M_2 + M_3 = 6 \frac{f_3 - 2f_2 + f_1}{h^2};$$

$$M_2 + 4M_3 + M_4 = 6 \frac{f_4 - 2f_3 + f_2}{h^2};$$

$$M_{N-2} + 4M_{N-1} = 6 \frac{f_N - 2f_{N-1} + f_{N-2}}{h^2} - M_N.$$

Запишемо отриманий результат в матричній формі:

$$\begin{pmatrix} 4 & 1 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 1 & 4 & 1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & 4 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 4 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 & 4 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 1 & 4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} M_1 \\ M_2 \\ M_3 \\ \vdots \\ \vdots \\ M_{N-1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 6f_{41}'' - M_0 \\ 6f_{42}'' \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ 6f_{N-1}'' - M_N \end{pmatrix}$$

У нашому випадку одержуємо систему лінійних алгебраїчних рівнянь із трьох діагональною стрічковою матрицею. Для розв'язку такої задачі потрібний алгоритм, що враховує розрідженість елементів матриці. Розв'язок будемо шукати методом прогону [6, 7]. У результаті інтерполяції з'являється можливість спостерігати за поведінкою коефіцієнта повітропроникності не тільки у вузлах ґрат, але й у будь-який момент часу.

Отже, ми маємо k серій з N експериментів, представлених парами чисел y_i, x_i , де $i = 1, 2, 3, \dots, N$. Загадаємо, щоб добір напівемпіричних функцій і параметрів здійснювався класичним критерієм найменших квадратів, з наступним уточненням дескриптивних моделей. У загальному випадку, маємо великий вибір знань про уточнюючі напівемпіричні функції $f(x)$ [4] (таблиця розкладань у степеневі ряди). У нашому випадку, при роботі зі складною функцією досить перейти до ґратчастої функції, тобто задача зводиться до попередньої. Розпізнати $f(x)$ – це значить зрівняти коефіцієнти її ступеневого ряду з коефіцієнтами апроксимуючого полінома $P_n(x)$, отриманого МНК. У базі знань знайшлася четвірка чисел $(1, 0; -0,5; 0,833333; -1)$ (коефіцієнти

ступеневого ряду функції $Kk_t = \frac{e^t - 1}{t + 1}$), тоді за коефіцієнтами апроксимуючого полінома:

$P_3(x) = 1,004 - 0,498x + 0,8333 - 1x^2 + 0,312 - 17x^3 \dots$ і робимо висновок, що Kk_t шукана функція. Дана операція проводиться динамічно. Залежно від зовнішніх умов (температура, вологість), характеристик матеріалу, природи кислоти тощо, ми одержуємо динамічну математичну модель процесу. Далі переходимо до побудови математичної моделі процесу деструкції хімічно нестійких волокон тканини з наступним ув'язуванням з коефіцієнтом повітропроникності.

Процес росту коефіцієнта повітропроникності обумовлюється деструкцією волокон тканини під дією агресивного середовища. Деструкція хімічно нестійких волокон залежить від часу контакту з агресивним середовищем, а також проходить як по їхній поверхні, так і за обсягом одночасно. Тому кінетика процесу може бути представлена наступними диференціальними рівняннями [1]:

$$\frac{dC_k}{dt} = DL^2C_k - \sum_i KC, \quad (1)$$

$$\frac{dC_p}{dt} = DL^2C_p - KC, \quad (2)$$

де D – коефіцієнт дифузії, L – оператор Лапласа, C_k – концентрація агресивного середовища, C – концентрація здатних до реакції функціональних груп, K – константа швидкості рівноваги реакції деструкції, C_p – різниця концентрації агресивного середовища в об'єкті дослідження.

Для розв'язку та подальшої апроксимації рівняння деструкції необхідно обчислення коефіцієнта дифузії. Існуючі математичні моделі у зв'язку з лінеаризацією і прагненням дослідників до спрощення розрахункових формул, описують процес зміни коефіцієнта дифузії з неприпустимою інтегральною похибкою. Далі, скориставшись теорією подібності, приходимо до наступного результату. Насамперед, зупинимось на аналогії між дифузією і теплопровідністю. Оскільки ці процеси описуються однаковими диференціальними рівняннями, то можна скористатися вже готовими розв'язками з більш розвинутої теорії теплопровідності, замінивши коефіцієнт температуропровідності на коефіцієнт дифузії, а температуру – на концентрацію. Такий підхід часто використовується на практиці. Тоді, основне диференціальне рівняння має вигляд:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\partial^2 T}{\partial Z^2} = \frac{1}{D} \cdot \frac{\partial T}{\partial t}. \quad (3)$$

Його аналітичний розв'язання має такий вигляд:

$$D_{(x,t)} = \frac{qr_0}{k} \int_0^\infty \frac{J_0(x\rho)J_1(x)}{x} \operatorname{erf}\left(\frac{x}{r_0} \sqrt{Dt}\right) dx, \quad (4)$$

де $J_m(x) = \frac{1}{\pi} \int_0^\pi \cos(mt - x \sin(t)) dt$ - інтегральна формула Бесселя для дійсного аргументу, де

$m = 0, 1, 2, \dots$; а $\operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x \exp(-t^2) dt$ - функція похибок.

Інтеграл в розв'язанні визначається чисельно методами Рунге – Кутта та Симпсона. Функції Бесселя нульового і першого порядку розраховуються по інтегральних формулах [4]. Результат представлений у вигляді графіка програми DIS3TRK.pas (рис. 2).

Розглянемо спрощене диференціальне рівняння

$$\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} = D \frac{\partial C}{\partial t}. \quad (5)$$

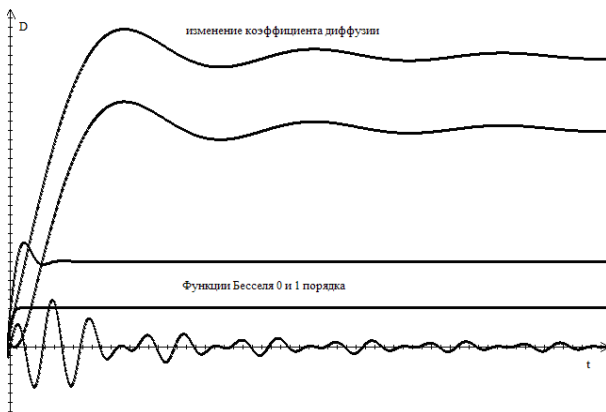
Загальновідомо обмежений розв'язок цього рівняння:

$$D_{(x,t)} = \int_0^\infty \frac{f(s)}{2a\sqrt{\pi t}} \left(\exp\left(-\frac{(x-s)^2}{4a^2 t}\right) - \exp\left(-\frac{(x+s)^2}{4a^2 t}\right) \right) ds.$$

По цій формулі обчислюємо дифузію. Далі проводимо двоетапну апроксимацію отриманих результатів. Деструкція описується диференціальними рівняннями (1, 2), які допускають розв'язок у наступному вигляді:

$$Dd(r,t) = \frac{1}{\sqrt{t^m}} \exp\left(-\frac{r^2 a}{4t}\right), \quad (6)$$

де $m = 1, 2, 3$ відповідно одномірний, двовимірний і тривимірний випадок. На початковому етапі



розглядалися два апроксимуючі рівняння розрахунків деструкції:

$$Dd(t) = Dd_0 \exp((D - D_{n.o.})(t - t_0)),$$

$$Dd(r,t) = \frac{A}{\sqrt{t^m}} \exp\left(-\frac{r^2 a B}{4t}\right),$$

де $D_{n.o.}$ - гранично припустимий коефіцієнт дифузії; $A = K_1 \sin(K_2 t)$, $B = -K_3 t + K_4$ - функції, що враховують концентрацію середовища, швидкість реакції, концентрацію активних груп; $K_i (i = 1..5)$ - визначаються через апроксимацію

Рис. 2. Результати розрахунків коефіцієнта дифузії: D - зміна коефіцієнта дифузії; t - час впливу агресивної рідини

чисельного розв'язку рівняння Фур'є і (або) апроксимацію експериментальних даних.

У якості емпіричної функції на першому етапі дослідження розв'язків рівнянь (1) і (2)

була обрана логістична функція (6). Загальний розв'язок рівняння (3), представлено у вигляді (6), де $m = 1, 2, 3$ відповідно одномірний, двовимірний і тривимірний випадок.

Однак, вираження (6) досить складне при використанні в якості підінтегрального виразу. Тому на другому етапі апроксимації рівняння деструкції (6) замінюється формулою:

$$Dd_k(x,t) = \frac{C_k}{(1+x^2)^{\frac{1}{2}}(1-i) + (1+x^2)^2 i},$$

де C_k - максимуми концентрації в точці і приймає значення 1 або 0 залежно від розташування розрахункової точки.

Порівняльний аналіз показав, що при визначенні деструкції по розробленій нами методиці погрішність розрахунків значно нижче, ніж при розрахунках по наявних у цей час методиках.

Далі будемо дотримуватися наступної тактики [2, 3, 8]. По-перше, проектуємо пряму задачу, у якій

бажана ситуація Kk_t будується за виділений час t . Якщо припускаємо, що інформація про вихідну ситуацію Kk_0 і про алгоритм R нам відома, тоді моделюємо функціональну залежність:

$$S_t = F(S_0, R, t),$$

де F – математична модель (ММ). По-друге, якщо обставини (середовище) вимагають дотримуватися не на пряму, а на зворотню задачу, яка дозволяє знайти вже алгоритм (поведінка) R , знаючи вихідну ситуацію Kk_0 та бажаючи побудувати ситуацію Kk_t за час t :

$$R = G(Kk_t, Kk_0, t).$$

У нашому випадку функція (оператор) G є методом математичного програмування, який описує процес планового переходу з існуючої ситуації до планової. Вирішуючи задачу вибираємо тактику і стратегію так, щоб забезпечити мінімум сумарної похибки:

$$\frac{\min}{\varepsilon} \varepsilon_1 = \varepsilon_{MM} + \varepsilon_{ED} + \varepsilon_M + \varepsilon_A + \varepsilon_O,$$

де ε – вектор помилок (похибок), компоненти якого виступають як додатки. Тут ми використовували тільки ті помилки, на які найчастіше доводиться звертати увагу, а саме: помилки математичної моделі (ММ), експериментальних даних, методу, алгоритмреалізації(А)таобчислювальні.

Далі використовуємо математичне програмування (лінійне (ЛІМП) і нелінійне (НМПП)), яке записується, у нашому випадку у вигляді:

$$\min_x f(x), \quad (7)$$

за умовами:

$$g_k \geq 0, k = \overline{1, m}, \quad (8)$$

$$a \leq x \leq b, \quad (9)$$

де $a, x, b \in S \subset R_n$.

Задача математичного програмування полягає у визначенні вектора $x^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$, який виявився б розв'язком задачі (7-9), тобто компоненти вектора $x \in S \subset R_n$ є шуканими параметрами вихідної задачі. У нашому випадку це коефіцієнт повітропроникності, концентрація кислоти, природа кислоти, характеристика тканини. Математичне програмування (МП), як інструмент формалізації (створення математичної моделі) для зазначеної у даній роботі мети є достатнім для проведення обчислювальних експериментів.

Експериментальні дані були оброблені методом поліноміальної апроксимації та сплайн-апроксимації. Виявлена нелінійна залежність коефіцієнта повітропроникності від часу впливу кислотами різних концентрацій. Отримано розв'язок рівняння деструкції. Рівняння деструкції звели до системи крайових задач, які вирішували методом стрілянини. Приватний розв'язок рівняння деструкції (напівемпірична функція) уточнювався добором параметрів способом найменших квадратів – отримана аналітична формула апроксимації. Чисельний аналіз дозволив установити пряму залежність коефіцієнта повітропроникності від деструкції хімічно нестійких волокон тканини. Системний підхід дозволив створити високоінтелектуальну систему для проведення віртуальних експериментів, за допомогою яких удалося уточнити дескриптивні математичні моделі. Проведені чисельні експерименти підтвердили припущення про значимість коефіцієнта повітропроникності як основного. Для оптимізації параметрів тканини вирішено ряд задач лінійного математичного програмування без обмежень (обмеження вводилися у вигляді штрафних функцій). Розроблено спеціалізований пакет прикладних програм для оцінки коефіцієнта повітропроникності та моніторингу за станом тканини в процесі впливу кислотами різної природи та концентрації.

Література

1. Моисеев Ю.В. Химическая стойкость полимеров в агрессивных средах / Моисеев Ю.В., Заиков Г.Е. – М.: Химия, 1979. – С. 12-18.
2. Симонс Дж. ЭВМ пятого поколения: Компьютеры 90-х годов. – М.: Финансы и статистика, 1985. – 123 с.
3. Мину М. Математическое программирование. – М.: Наука, 1990. – 123 с.
4. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров – М.: Наука, 1968. 720 с.
5. Рейвиндран А., Регсдел К. Оптимизация в технике: в 2 кн. М.: Мир, 1986. Т. 1. 349 с., Т.2. 320 с.
6. Современное состояние теории исследования операций. Под Ред. Н.Н.Моисеева. – М.: Наука, 1979. – 464 с.
7. Бобрышев Д.Н., Рексин В.Э. Управление конфигурацией технических систем. М., 1978, 184 с.
8. Гельфанд И.М., Цейтлин М.Л. Принцип нелокального поиска в системах автоматической оптимизации, ДАН СССР 137, № 2 (1962). С. 295-298.