

- чоловічих піджаків // Вісник Технологічного університету Поділля. Технічні науки. – 2003. – № 1. – Ч.1. – С.59-62.
2. Азбука подбора прикладных материалов для дублирования тканей. Рекомендации фирмы "Хензель Текстиль" (Германия). – 2002. – 16 с.
3. И.Ю.Эскин. Выставка УМВ-2006 // Швейная промышленность. – 2006. – № 4. – С. 31-34.
4. Бондар К.І., Терещенко Т.Д., Дубач В.С. Довідник швейного обладнання провідних фірм: Навчальний посібник. – Хмельницький: ХНУ, 2006. – 162 с.
5. Типовая техническая документация по конструированию, технологии изготовления, организации производства и труда, основным и прикладным материалам, применяемым при изготовлении мужских костюмов. – М.: ЦНИИТЭИлегпром, 1983. – 183 с.

Надійшла 7.11.2008 р.

УДК 677.024.07.017

А.М. СЛІЗКОВ, В.Ю. ЩЕРБАНЬ, С.М. КРАСНИЦЬКИЙ
Київський національний університет технологій та дизайну

СТОХАСТИЧНІ ЗАДАЧІ В ДОСЛІДЖЕННІ ЗМІНИ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

В статті розглядаються питання, які пов'язані із застосуванням деяких стохастичних задач в дослідженні зміни властивостей текстильних матеріалів з подальшою можливістю прогнозувати такі зміни.

Практично на всіх етапах людської діяльності, яка пов'язана із створенням або експлуатацією промислових виробів доводиться мати справу з явищем змінювання їх властивостей, які використовуються для одержання певних результатів зазначеної діяльності або самі являються результатами такої діяльності.

Об'єкти та методи дослідження

Об'єктами дослідження є властивості текстильних матеріалів, математичні методи зміни та перетворення властивостей текстильних матеріалів в процесі їх функціонування.

Постановка завдання.

Нехай деякий процес призначений спеціально для створення певного текстильного матеріалу. Такий процес є послідовністю тих чи інших дій, що застосовуються до початкових (вихідних) матеріалів. На різних етапах такого процесу мають місце належні перетворення властивостей певних матеріалів, що й приводить до створення потрібного виробу. Процес експлуатації текстильних виробів супроводжується їх зношуванням, що означає направлену зміну тих їх властивостей, які характеризують їх придатність для подальшої експлуатації. Однею з важливих задач прогнозування властивостей текстильних матеріалів є визначення часу, за який властивості виробу (устаткування) досягнуть заданої (потрібної) множини станів. При цьому процес зміни властивостей (надалі ПЗВ) текстильних матеріалів часто має характерні риси стохастичного (імовірнісного, випадкового) процесу [2-4].

Результати та їх обговорення.

При побудові математичних моделей ПЗВ буває доцільно виділяти той процес, вплив якого спричиняє зміну властивостей (надалі ЗВ) текстильного матеріалу. Зокрема, таким процесом є виробничий процес, у рамках якого і створюється текстильний виріб. При аналізі конкретних варіантів буває необхідним давати схематичний або навіть детальний опис цього процесу, з аналізом його фізичної сутності.

В інших випадках, коли для опису ситуації застосовуються ті чи інші математичні моделі, процес, який впливає на ЗВ, може зображатися математичною моделлю, що носить феноменологічний характер і свідомо ігнорує реальні деталі того, що має місце у дійсності. Прикладом тут може бути модель удару, що використовується при дослідженні процесів накопичення пошкоджень [1], де процес, що спричиняє пошкодження, моделюється імовірнісною схемою Бернуллі.

Визначимо, що процес, який спричиняє ЗВ текстильного матеріалу або визначає його хід, буде називатися процесом впливу (надалі ПВ). В подальшому подекуди використовується термін «рівень властивостей», який є неформальним, але який повинен чітко визначатися у конкретних випадках. Наприклад, це може бути значення лінійної густини волокнистого продукту, процентний вміст складових у суміші, ступінь зносу зразків з текстильних матеріалів тощо. Конкретні значення «рівня властивостей», будуть називатися *станами* ПЗВ. Сукупність станів ПЗВ буде називатися його *фазовим простором*.

Виділимо два важливі типи задач ПЗВ, маючи на увазі, що зазначені процеси розвиваються, змінюючи з часом своє положення у фазовому просторі.

У задачах, які умовно назвемо задачами першого типу, вважається, що час, в який спостерігається ПЗВ, не є заздалегідь обмеженим. При цьому фіксується деяка множина станів і вивчається час досягнення вказаної множини процесом ЗВ. В задачах цього типу загальний час спостереження ПЗВ не є фіксованим.

В задачах другого типу, навпаки, процес спостерігається на часовому проміжку фіксованої довжини або в фіксовані моменти часу. Вивчається питання про стани, в яких опиняється ПЗВ у кінцевий момент зазначеного часового проміжку або у вказані моменти часу. В обох випадках вважається відомим початковий

стан процесу ЗВ, а сам час може бути дискретним або неперервним. В задачах цього типу загальний час спостереження ПЗВ є фіксованим.

До задач першого типу відносяться наступні. В процесі зміни властивостей інколи потрібно визначити час, за який властивості виробу (устаткування) досягнуть заданої (потрібної) множини станів. ПЗВ часто має характерні риси стохастичного (імовірнісного, випадкового) процесу [2-4]. У таких випадках має сенс поставити більш загальну задачу. Ця задача полягає у визначенні середньої величини часу, за який ПЗВ досягає заданої множини станів. При цьому мова може йти про зразок матеріалу, який знаходиться під впливом циклічних навантажень доти, доки не трапиться його руйнування. І тоді знаходять середнє значення кількості циклів навантажень до руйнування зразка.

Інколи, при визначенні доцільного набору імовірнісних характеристик часу досягнення заданої множини станів даним ПЗВ, можна ставити задачу про знаходження не тільки середнього значення кількості циклів навантажень до руйнування, як в попередній задачі, а й про визначення дисперсії цієї величини, моментів різних порядків, квантилів та оцінки функції її розподілу.

Наведемо приклади задач другого типу. При заданому часовому інтервалі спостереження визначити стан, в якому опиниться ПЗВ в останній момент спостереження. Зауважимо, що ця задача включає в себе формально і більш загальну задачу про визначення стану процесу в довільний фіксований момент часу з заданого часового інтервалу спостереження (досить назвати момент часу, про який йде мова, «останнім» моментом спостереження). Врахування стохастичності ПЗВ у даному прикладі веде до дещо більш загальної постановки задачі.

Якщо в умовах попередньої задачі потрібно визначити довірчу множину для стану ПЗВ в останній момент спостереження (під довірчою множиною вважається така множина станів ПЗВ, в якій з заданою ймовірністю опиниться вказаний процес в останній момент спостережень).

Виділимо один частинний випадок попередніх задач. Розглянемо ПЗВ текстильних матеріалів, що перероблюються у певному виробничому процесі при створенні того чи іншого виробу. Задача полягає в з'ясуванні питання, які саме доцільні властивості буде мати остаточний продукт такого процесу. Важливим є розв'язання вказаного питання в термінах початкового стану ПЗВ y^0 , під яким розуміється стан вихідних матеріалів (мається на увазі значення достатньо повного набору характеристик якості зазначених матеріалів).

Якщо точне розв'язання сформульованого питання неможливе, то бажано дати відповідь на питання наступної задачі. В умовах попередньої задачі потрібно знайти довірчу множину стану ПЗВ в термінах вектора y^0 .

Дві останні задачі можуть бути узагальнені в тому напрямку, щоб визначити стан або довірчу множину станів кінцевого виробу в термінах не тільки початкового стану y^0 , а й вектору тих чи інших впливових факторів.

Наступні дві задачі є принципово важливими, хоча в реальних ситуаціях одержати їх точні розв'язки є досить проблематичним. Одна з них полягає в тому щоб знайти імовірнісний розподіл стану ПЗВ в останній момент спостереження.

Розв'язок другої задачі повністю характеризує імовірнісні аспекти поведінки ПЗВ. Для довільних фіксованих моментів часу t_1, \dots, t_n з інтервалу спостереження T знайти сумісний імовірнісний розподіл станів ПЗВ в моменти t_1, \dots, t_n .

Розглянемо приклад розв'язання задач другого типу за допомогою математичної моделі. Визначимо деякий виробничий процес, кінцевий продукт якого створюється за скінченну кількість N етапів. Течія і результати кожного k -го етапу процесу ($1 \leq k \leq N$) залежать від значення певного (взагалі кажучи, векторного) контрольованого параметру $x^k = (x_1^k, \dots, x_{n_k}^k)$, $1 \leq k \leq N$ (вектор виробничих умов етапу) і значенням вектора ознак (характеристик якості) продукту $y^{k-1} = (y_1^{k-1}, \dots, y_{m_{k-1}}^{k-1})$ ($1 < k \leq N$), які даний продукт набув на попередньому ($k-1$)-му етапі – «вхід» етапу. «Вихід» k -го етапу характеризується значенням вектора ознак $y^k = (y_1^k, \dots, y_{m_k}^k)$. Вектор y^0 характеризує початковий набір ознак текстильного матеріалу, з якого виготовлюється виріб. Цей вектор, як і вектори x^k , $1 \leq k \leq N$, вважаються відомими. За означенням, виробничий процес завершується задовільно, якщо вектор ознак y^N останнього N -го етапу належить заздалегідь визначеній підмножині евклідового простору R^{m_N} .

Дії кожного етапу виробничого процесу направлені на зміну в потрібному напрямі значення вектора ознак. З математичної точки зору це означає, що існують певні залежності, яким повинні задовольняти параметри процесу x^k і вектори ознак продукту y^j . З іншого боку, виробничим процесам притаманна певна стохастичність: відомо, що навіть при найбільшому можливому степені налагодженості виробництва буде існувати та або інша дисперсія параметрів властивостей продукту (координат вектору ознак) [2-4]. Останнє зауваження означає, що в математичні залежності, про які щойно йшла мова, повинні бути включені випадкові складові.

На практиці, щоб уникнути необґрунтованого ускладнення досліджень, часто припускають, що вказані залежності можливо представити у явному вигляді відносно змінних y^k :

$$\begin{aligned}
 y^1 &= f^1(x^1; y^0; \theta^1; \varepsilon^1), \\
 y^2 &= f^2(x^1, x^2; y^0, y^1; \theta^2; \varepsilon^2), \\
 &\dots\dots\dots \\
 y^k &= f^k(x^{k-q}, \dots, x^k; y^{k-r}, \dots, y^{k-1}; \theta^k; \varepsilon^k), \\
 &\dots\dots\dots \\
 y^N &= f^N(x^{N-q}, \dots, x^N; y^{N-r}, \dots, y^{N-1}; \theta^N; \varepsilon^N).
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

де $f^k, k = 1, \dots, N$ – деякі функції; $\theta^k = (\theta_1^k, \dots, \theta_{l_k}^k)$ – параметри залежностей (на відміну від введених вище параметрів технологічного процесу); ε^k – випадкові складові.

Наявність у виразі f^k , крім змінних y^{k-1}, y^k, x^k , ще й деяких змінних з числа $\{y^j, j \leq k-2\}$ та $\{x^j, j \leq k-1\}$ пояснюється тим, що у загальному випадку апріорі неможливо виключити ситуацію залежності від так званих лагових змінних [5, 6]. Зрозуміло, що на базі математичної моделі (1), в принципі, можливо визначити довірчу множину для значення кінцевого вектора ознак y^N через значення векторів $x^{N-q}, \dots, x^N; y^{N-r}, \dots, y^{N-1}$.

Наприклад, нехай експериментальні данні дають змогу застосувати загальну лінійну модель регресійного аналізу [7, 8], так що кожному компоненту y_j^N вектора y^N можна представити у вигляді

$$y_j^N = (\theta^j)'z + \xi, \tag{2}$$

де вектор-стовпець z утворюється всіма скалярними компонентами векторів $x^{N-q}, \dots, x^N; y^{N-r}, \dots, y^{N-1}$; і, можливо, деякими функціями вказаних компонент; θ^j – вектор-стовпець коефіцієнтів; $'$ – знак транспонування; ξ – випадкова величина.

Надаючи у достатньо великій кількості n значень зазначеним компонентам, утворимо матрицю експерименту Z . Тоді, як відомо [5, 7, 8], для довільного значення z_* вектора z довірчий інтервал рівня $1 - \alpha$ для відповідного значення y_j^N дається виразом

$$\hat{y}_j^N(z_*) \pm t_{n-p}^{\alpha/2} S(v_* + 1)^{1/2}, \tag{3}$$

де \hat{y}_j^N – оцінка величини y_j^N з (3.2) за методом найменших квадратів; p – розмірність вектора z ; $t_{n-p}^{\alpha/2}$ – квантиль рівня $\alpha/2$ розподілу Стюдента з $n - p$ степенями свободи; S – оцінка дисперсії величини ξ за моделлю $y_j^N, v_* = z_*'(Z'Z)z_*$.

Однією з очевидних можливостей реального використання виразів типу (3) у розглянутих задачах є послідовне адекватне оцінювання величин $y_j^k, k = 1, \dots, N$ за допомогою моделей (1) з застосуванням інтервальної оцінки (3) на останньому кроці.

Наведемо приклад виконання щойно визначеної послідовності дій. Розглянемо процес перетворення властивостей для виготовлення чистововняної пряжі [9]. Весь виробничий процес зміни властивостей волокнистого продукту від волокна до пряжі розподілявся на ділянки у відповідності до кожного окремого виробничого перетворення (жмутки, стрічка, рівниця, пряжа). Для цього використовуємо результати вимірювань (бази даних) більше 20 партій чистововняної пряжі. При цьому позначимо, що y^0 – вектор ознак сировини; $y^k = (y_1^k, y_2^k)'$ – вектор ознак продукту для етапу $k = 1$ (наприклад $-y_1^1$); $y^k = (y_1^k, y_2^k, y_3^k)'$ – вектор ознак продукту для етапу $k = 2$ (наприклад $-y_1^2$) тощо.

Перелік похідних властивостей волокон та жмутків, досліджувані властивості (параметри) волокнистих продуктів, структури баз даних, структури відгуків, а також структури математичних моделей були визначені у відповідності до попередніми матеріалами [10].

За допомогою ЕОМ (ПК) та пакету прикладних програм обробки статистичних даних «Statgraphics» plus for Windows отримані адекватні математичні моделі лінійних залежностей волокнистих продуктів в процесі зміни їх властивостей у відповідності з виробничим процесом.

Для прикладу нижче наведені отримані математичні моделі (при $P_0=0,95$) для наступних продуктів:

- жмутків після тіпання:

$$Y_1^1 = 16,5 - 0,6 Y_2^0 - 0,123 Y_3^0 + 0,096 Y_4^0 - 0,4 Y_5^0; \tag{4}$$

$$Y_2^1 = 181,87 - 0,763 Y_1^0 - 6,139 Y_2^0 + 1,12 Y_6^0; \tag{5}$$

де Y_1^1 – поверхнева густина жмутка після тіпання, г/см²; Y_2^1 – коефіцієнт варіації за поверхневою густиною жмутка після тіпання, %; Y_1^0 – довжина волокна, мм; Y_2^0 – тонина волокна, мкм; Y_3^0 – питоме розривальне зусилля волокна, сН/мтекс; Y_4^0 – лінійна густина волокна, мтекс; Y_5^0 – поверхнева густина жмутка до тіпання, г/см²; Y_6^0 – коефіцієнт варіації за поверхневою густиною жмутка до тіпання, %.

- чесаної стрічки:

$$Y_1^2 = 478,28 - 2,632 Y_1^0 - 11,63 Y_2^0 - 223,8 Y_1^1 \tag{6}$$

$$Y_2^2 = 19,39 - 0,08 Y_1^0 - 0,373 Y_2^0 - 0,035 Y_2^1; \tag{7}$$

$$Y_3^2 = 0,959 - 0,025 Y_2^0 + 2,271 Y_1^1; \tag{8}$$

де Y_1^2 – лінійна густина чесаної стрічки, ктекс; Y_2^2 – коефіцієнт варіації стрічки за лінійною густиною, %; Y_3^2 – ступінь розпрямленості та паралелізації волокон стрічки, – .

.....
- рівниці:

$$Y_1^{14} = 0,0112 Y_1^{13} + 0,408 Y_3^{13} ; \quad (9)$$

$$Y_2^{14} = -22,35 + 2,0 Y_2^{13} + 20,0 Y_3^{13} ; \quad (10)$$

$$Y_3^{14} = 1,008 Y_3^{13} + 0,0009 Y_2^{14} + 0,00071 Y_{79}; \quad (11)$$

$$Y_4^{14} = 29,74 - 44,068 Y_1^{14} - 0,322 Y_{77}; \quad (12)$$

$$Y_5^{14} = 0,743 Y_2^{14} + 6,524 Y_3^{14} - 0,428 Y_{79}; \quad (13)$$

де Y_1^{13} – лінійна густина стрічки попереднього переходу, ктекс; Y_2^{13} – коефіцієнт варіації за лінійною густиною стрічки, %; Y_3^{13} – ступінь розпрямленості та паралелізації волокон стрічки, – ; Y_1^{14} – лінійна густина рівниці, текс; Y_2^{14} – коефіцієнт варіації за лінійною густиною рівниці, %; Y_3^{14} – ступінь розпрямленості та паралелізації волокон рівниці, – ; Y_4^{14} – питома розривальне зусилля рівниці, мН/текс; Y_5^{14} – коефіцієнт варіації за крутінням рівниці, %; Y_{77} – коефіцієнт крутіння рівниці, -; Y_{79} – витяжка, -.

- пряжі

$$Y_1^{15} = -0,0145 + 0,176 Y_1^{14} - 0,0022 Y_{87} ; \quad (14)$$

$$Y_2^{15} = -7,817 - 0,333 Y_2^{14} + 11,667 Y_3^{14} ; \quad (15)$$

$$Y_3^{15} = 29,126 + 120,81 Y_1^{15} + 0,242 Y_{84} ; \quad (16)$$

$$Y_4^{15} = 23,969 Y_1^{15} + 0,681 Y_2^{15} ; \quad (17)$$

$$Y_5^{15} = 27,014 Y_3^{14} - 481,22 Y_1^{15} + 1,739 Y_{84} ; \quad (18)$$

де Y_1^{15} – лінійна густина пряжі, текс; Y_2^{15} – коефіцієнт варіації за лінійною густиною пряжі, %; Y_3^{15} – питома розривальне зусилля пряжі, мН/текс; Y_4^{15} – коефіцієнт варіації за крутінням пряжі, %; Y_5^{15} – відносне видовження на момент розірвання пряжі, %; Y_{84} – коефіцієнт крутіння пряжі, -; Y_{87} – витяжка, -.

ВИСНОВКИ

1. Обґрунтована доцільність застосування деяких типів стохастичних задач для визначення зміни властивостей текстильних матеріалів.

2. Отримані математичні моделі (4 – 18) зміни властивостей волокнистих продуктів в виробничому процесі отримання чистововняної пряжі.

3. За допомогою отриманих математичних моделей можливо прогнозувати зміни властивостей чистововняної пряжі залежно від особливостей сировини при збереженні певного виду устаткування та послідовності виробничого процесу.

Література

1. Богданов Дж., Козин Ф. Вероятностные методы накопления повреждений. – М.: Мир, 1989 – 343 с.
2. Севостьянов Л.Г. Методы и средства исследования механико-технологических процессов текстильной промышленности. – М.: МВТУ им. А.Н. Косыгина, ООО «Совъяз Бево», 2007 – 646 с.
3. Мостеллер Ф., Тьюки Дж. Анализ данных и регрессия, в 2-х т. – М.: Финансы и статистика, 1982, т.1 – 320 с., т.2. – 240 с.
4. Основы управления технологическими процессами (под редакцией Райбмана Н.С.). – М.: Наука, 1978, – 440 с.
5. Кендалл М.Дж., Стьюарт А. С. Статистические выводы и связи. – М.: Наука, 1973 – 900 с.
6. Джонстон Дж. Эконометрические методы. – М.: Статистика, 1980 – 446 с.
7. Себер Дж. Линейный регрессионный анализ. М.: Мир, 1980 – 456 с.
8. Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. – Москва-Санкт-Петербург-Киев: ДИАЛЕКТИКА, 2007 – 912 с.
9. Слізков А.М. Застосування системного аналізу для розв'язання практичних задач текстильного виробництва // Вісник КНУТД, № 5, 2006
10. Слізков А.М., Щербань В.Ю., Красницький С.М. Застосування принципів ідентифікації в системі прогнозування властивостей текстильних матеріалів // Вісник КНУТД, № 4, 2008.

Надійшла 6.11.2008 р.