

УДК 625.7/8

СТАТИСТИЧНИЙ КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ ГЕОСИНТЕТИЧНИХ МАТЕРІАЛІВ

І.П. ГАМЕЛЯК

Національний транспортний університет

Л.А.ДМИТРЕНКО

Київський національний університет технологій та дизайну

Розглянуто теоретичні основи статистичного контролю якості сучасних геосинтетичних матеріалів (ГМ). Представлена методика випробувань і проведені дослідження ґраток і геотекстилів для дорожнього будівництва. Удосконалені карти якості при контролі виробничого процесу виготовлення та використання геосинтетичних матеріалів. Розроблені програмні модулі для реалізації карт в прикладних пакетах (MathCad і EXEL). Карти можуть бути впроваджені на підприємствах які випускають ГМ та в дорожній галузі України

Задача статистичного керування процесами – забезпечення і підтримка на прийнятному і стабільному рівні, що гарантує відповідність продукції і технологічних операцій встановленим вимогам.

Головний статистичний інструмент, який використовують для цього, – контрольна карта – графічний засіб представлення і зіставлення інформації, що базується на послідовності вибірок, що віддзеркалює поточний стан процесу, із межами, встановленими на основі мінливості, яка внутрішньо властива процесу. Метод контрольних карт допомагає визначити, чи дійсно процес досяг статистично керованого стану на правильно заданому рівні. Мета контрольних карт – знайти не природні зміни в даних для процесів, які повторюються, і дати критерії для виявлення недоліків статистичного керування якістю.

Об'єкт та методи досліджень

У 70 – 90 - х роках минулого століття були сформульовані принципи встановлення толерантних допусків на показники якості ДБМ, показана правильність введення статистичних методів контролю якості виготовлення сумішей та матеріалів. Подальші спроби введенню статистичних методів в управління якістю будівництва доріг [1–2] не набули поширення через відсутність відповідного програмного забезпечення та високу вартість машинного часу. Поява нових геосинтетичних матеріалів в останні роки вимагає встановлення розрахункових характеристик матеріалів для управління якістю продукції. Деякі методи та приклади побудови контрольних карт приведені в нормах [3].

Постановка завдання

Мета роботи – привести алгоритм розрахунку та впровадити карти якості при контролі виробничого процесу виготовлення та використання геосинтетичних матеріалів в дорожніх конструкціях.

Результати та їх обговорення

Для оцінювання параметрів на основі вибірки об'ємом n зі значеннями x_1, x_2, \dots, x_n рекомендується використовувати наступні незміщені оцінки: математичного очікування (середнього значення) μ та середньоквадратичного відхилення s (СКВ) [3 – 4]. В математичному пакеті *MathCad* для вказаних характеристик є вбудовані функції: – для середнього значення **mean(x)** для середньоквадратичного – **stdev(x)**. В середовищі *EXEL* є відповідні вбудовані функції: *AVERAGE* – повертає середнє арифметичне аргументів, та *STDEV* – обчислює стандартне відхилення на основі вибірки.

Формула для визначення однобічного інтервалу знизу і зверху для μ при відомому значенні σ має вид:

$$\mu_{\text{нижн.}}^{\text{верх.}} = \bar{x} \mp u_{1-\alpha} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}. \quad (1)$$

де $u_{1-\alpha} = z$ – нормована нормально розподілена змінна (стандартна нормальна змінна) $z = 1,95$ при $P=95\%$; $z = 2,58$ при $P=99,9\%$.

У пакеті *MathCad* вказана формула реалізується у вигляді виразів для нижньої та верхньої границі

$$\mu_{\text{нижн.}} = qnorm\left(\alpha, \mu, \frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right), \mu_{\text{верх.}} = qnorm\left(1 - \alpha, \mu, \frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right). \quad (2)$$

При невідомому σ математичне очікування розподілене у відповідності з t – розподілом, вперше вивченим англійським статистиком В.С. Госсетом (псевдонім Стьюдент).

В середовищі *EXEL* вбудована функція *TDIST* повертає щільність ймовірності t – розподілу Стьюдента, а в *MathCad* використовується функція $dt(x, d)$, де d – ступінь вільності ($d > 0$).

Довірчий інтервал для математичного очікування визначають за формулою:

$$\mu_{\text{нижн.}}^{\text{верх.}} = \bar{x} \mp t_{1-\alpha; f} \cdot \frac{s}{\sqrt{n}}. \quad (3)$$

Тут α позначає ймовірність помилки, а $t_{1-\alpha; f} = (1 - \alpha)$ – коефіцієнт розподілу Стьюдента (квантиль t – розподілу з $f = n - 1$ ступенями свободи).

Довірчий інтервал для дисперсії σ^2 може бути побудований на основі χ^2 розподілу

$$\frac{s^2 (n - 1)}{\chi_{n-1; \alpha/2}} < \sigma^2 < \frac{s^2 (n - 1)}{\chi_{n-1; 1-\alpha/2}}. \quad (4)$$

Функція *CHIDIST* у середовищі *EXEL* повертає однобічну ймовірність, а функція *CHIINV* – обернене значення однобічної ймовірності розподілу хі-квадрат. У математичному пакеті *MathCad* є вбудована функція *qchisq*($\alpha, n-1$), яка повертає квантилі розподілу хі-квадрат. Тоді формули для нижньої та верхньої межі СКВ мають вид

$$s_{.n} = \sqrt{\frac{qchisq(\alpha, n-1)}{n-1}} \sigma, s_{.s} = \sqrt{\frac{qchisq(1-\alpha, n-1)}{n-1}} \sigma. \quad (5)$$

Довірчий інтервал для коефіцієнту варіації $C_v = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100\%$ (при $C_v < 350\%$ і $n > 12$) знаходиться між значеннями [3]

$$CV_n = \frac{1}{1 - k\sqrt{1 + 2 \cdot C_v^2}} \cdot C_v, CV_s = \frac{1}{1 + k\sqrt{1 + 2 \cdot C_v^2}} \cdot C_v, \text{ де } k = \frac{z}{\sqrt{2 \cdot (n-1)}}, \quad (6)$$

де z – стандартне значення ймовірності нормального розподілу у відповідності з необхідною довірчою ймовірністю і двох або одностороннім критерієм.

Середня лінія \bar{x} – карти є математичне очікування \bar{x} , тобто μ . Математичне очікування s визначається за формулою

$$E(s) = \sqrt{\frac{2}{n-1}} \cdot \frac{\Gamma\left(\frac{n}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{n-1}{2}\right)} \cdot \sigma \quad (7)$$

де Γ – гамма-функція. Межі ККЯ є межами 99% - ного (межі втручання) і 95%-ного (застережливі межі) інтервалів розкиду.

Враховуючи приведені вище залежності (1–7), достатньо просто реалізувати контрольні карти на виробництві.

Методика випробувань

Випробування виконані в лабораторії «Текстиль – ТЕСТ» ГНДІ метрології, сертифікації та управління якістю в структурі КНУТД, яка акредитована відповідно до вимог ДСТУ ISO/IEC 1702. Методика випробувань прийнята згідно нормативних документів, діючих в Україні [5 – 6].

Об'єктом досліджень вибрано жорсткі ґраток GR-1 та 3 марки термічно скріпленого водонепроникного нетканого геотекстилю, виготовленого з 100% поліпропіленових нескінченних волокон. Випробування виконані на розривній машині фірми Time Groupe Inc. з максимальним навантаженням до 500 кг. Ширина зразків геотекстилю 50 мм (рис. 1).. При повторних випробуваннях використовувалась стандартна швидкість навантаження 20 мм/хв. для геотекстилів та 50 мм/хв. для ґраток. Відстань між захватами відповідно 500 та 400 мм. Форма і розміри зразків жорстких ґраток приймалася згідно європейських норм (рис. 2).



Рис. 1. Схема випробувань геотекстилів



Рис. 2. Схема випробувань жорсткої ґратки

Результати випробувань

Результати у вигляді графіку «навантаження – видовження» виводяться на екран монітора та записуються у вигляді файлу з розширенням *.txt. Кількість випробувань – по 10 – 30 зразків кожної марки в поздовжньому та поперечному напрямках..

Статистичний аналіз результатів

Приклади залежності «розтягуюче напруження – відносне видовження» при випробуванні 30 зразків геотекстильного матеріалу GT-1 та GT-3 наведено на рис. 3. Порівняння щільності нормального розподілу міцності на розтяг за результатами 30 випробувань термоскріпленого геотекстильного матеріалу різних марок наведено у табл. та на рис. 4.

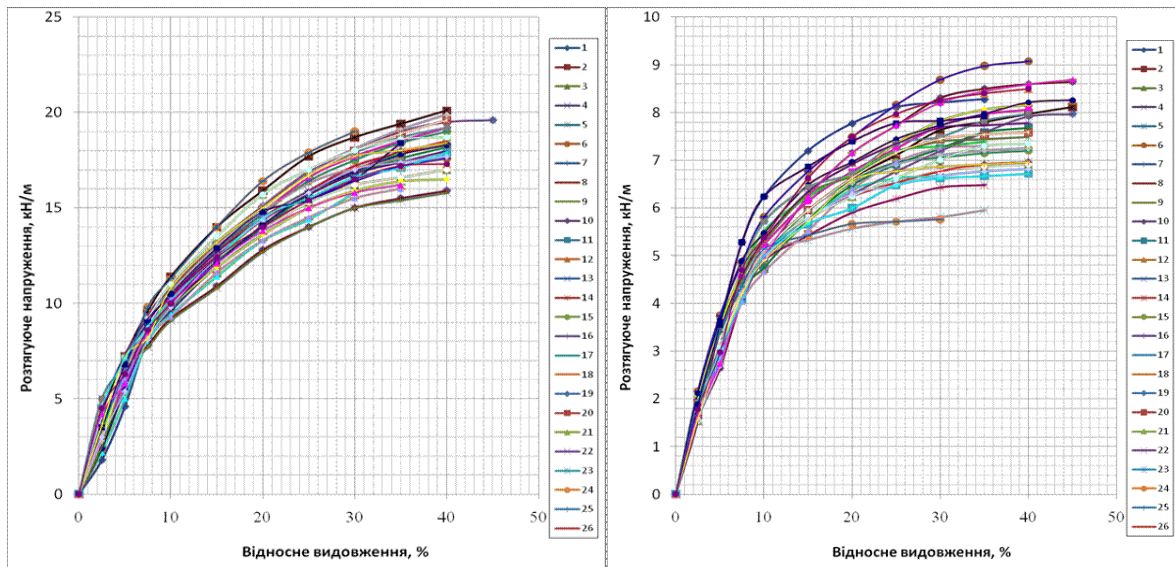


Рис. 3. Залежність розтягуюче напруження – відносне видовження при випробуванні геотекстильного матеріалу GT-1 та GT-3

Таблиця . Порівняння даних випробувань різних марок ГМ

Значення	Мін. <i>MinARV</i>	Мах. <i>MaxARV</i>	Середнє	Стандарт (СКВ)	Коеф. варіації
Міцність при розриві, кН/м					
GT-1	5,28	7,51	6,4	0,68	10,63
GT-2	9,58	13,63	11,6	1,235	10,64
GT-3	16,38	21,12	18,75	1,44	7,7
Відносне видовження, %					
GT-1	25,9	36,84	31,4	3,335	10,63
GT-2	31,51	51,01	41,3	5,947	14,41
GT-3	29,78	45,18	37,5	4,696	12,53

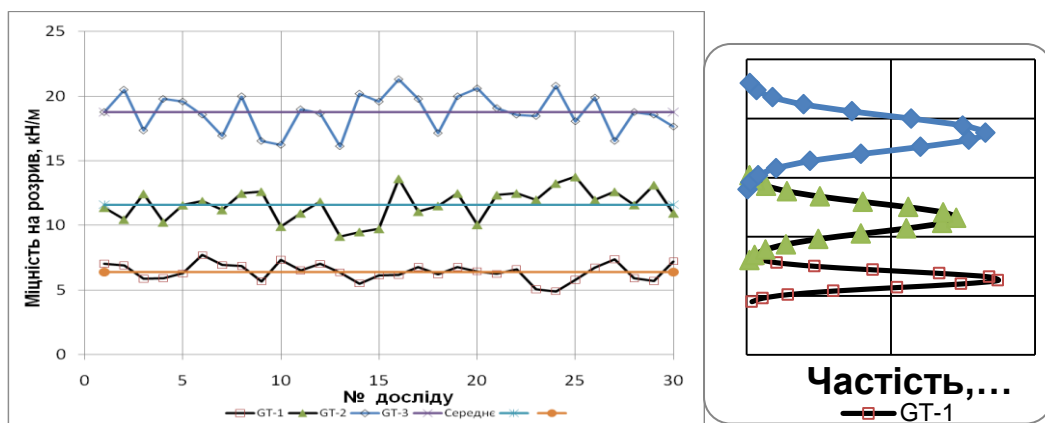


Рис. 4. Порівняння результатів статистичної обробки даних випробувань різних марок геотекстилів з нормальним розподілом

Карта середніх значень з межами втручання в технологічний процес, критичними та попереджувальними межами та 30-ти середніми вибірковими значеннями для середніх значень наведена на рис. 5, а для середньоквадратичних відхилень на рис. 6. Середнє значення міцності на розрив становить

$\mu = 11,6$ кН/м, середньо - квадратичне відхилення $\sigma = 1,275$ кН/м, коефіцієнт варіації $C_v = 10,64$ %.

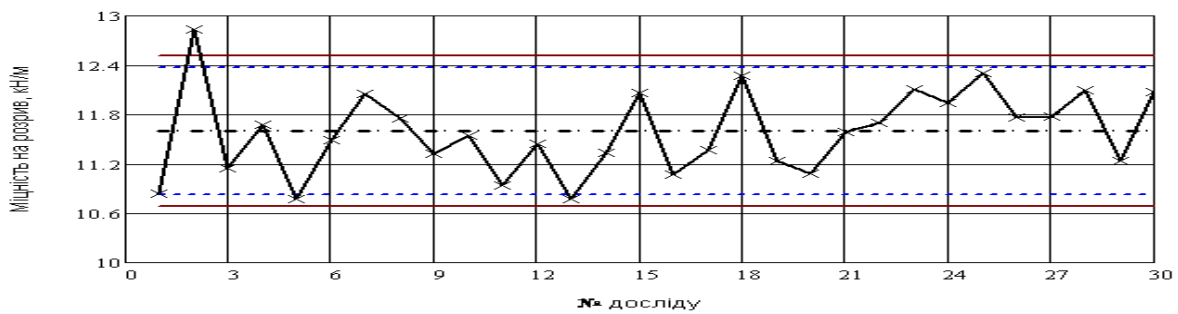


Рис. 5. Карта середніх значень з межами втручання у технологічний процес

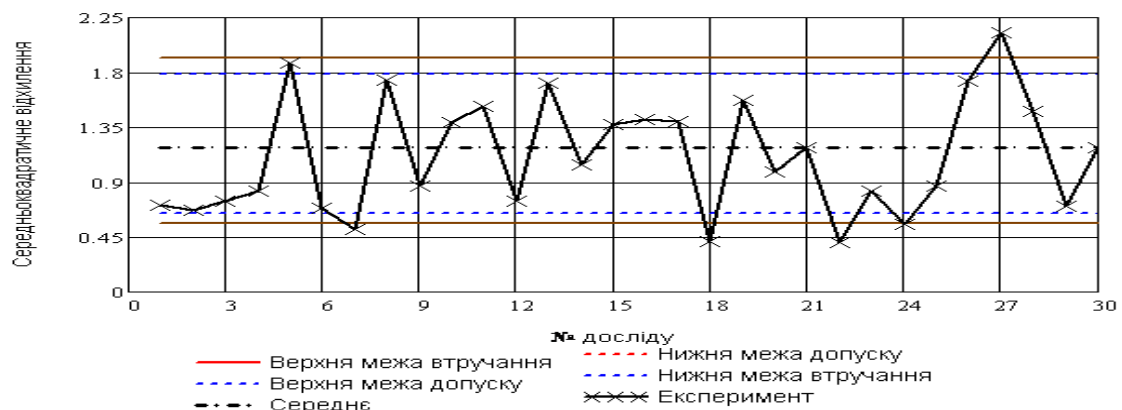


Рис. 6. Карта СКВ з попереджувальними межами та межами втручання

Висновки

Розроблені контрольні карти якості з використанням вбудованих статистичних функцій у сучасних математичних пакетах (MathCad) та середовищі електронних таблиць EXEL. Це дає можливість технологам на фабриках та майстрам на будівельних ділянках щоденно вести контроль якості показників властивостей матеріалів і влаштування шарів конструкцій дорожнього одягу. Зменшення варіації показників властивостей дозволить підвищити надійність та довговічність вітчизняних автомобільних доріг. Результати досліджень необхідно врахувати при розробці ГБН В.2.3–218–544: 2011 «Застосування матеріалів геосинтетичних в дорожніх конструкціях. Основні вимоги» та внесенні Зміни №1 до СОУ 45.2-00018112-025:2007 «Матеріали геосинтетичні. Методи випробувань».

ЛІТЕРАТУРА

1. Сиденко В.М., Рокас С.Ю. Управление качеством в дорожном строительстве. –М.: Транспорт, – 1981. – 256 с.
2. Гамеляк І.П., Гнатів М.Я., Іваниця Ю.П. Неоднорідність фізико-механічних характеристик асфальтобетону // Автостроитель України. – 1997, –№ 4. – с. 14–17.
3. ДСТУ ISO 8258 – 2001 Контрольні карти Шухарта. – Держстандарт України. – 2002. – 32 с.
4. Закс Л. Статистическое оценивание. – М.: Статистика, –1976. – 598 с.
5. ВБН В. 2.3.–218–544: 2008. Споруди транспорту. Матеріали геосинтетичні в дорожньому будівництві.
6. СОУ 45.2–00018112–025: 2007. Матеріали геосинтетичні. Методи випробувань.