

вимогами до кваліфікації виробничого персоналу при його роботі з різними CAD/CAM- системами.

Отже можна підвести підсумки наступним:

1. Реінжиніринг із застосуванням сканування дозволяє безшаблонно відновлювати аналітичний еталон поверхні досліджуваного авіаційного об'єкту.

2. Реінжиніринг відтворює точно геометрію наявної досліджуваної поверхні виробу і, якщо поверхня має ушкодження і інші дефекти, то це необхідно враховувати в проектувальних розрахунках перед побудовою аналітичного еталону АО.

3. Реінжиніринг дозволяє створювати електронний прототип АО, що може бути використано в операціях контролю при виготовленні виробу або його подальшого удосконалення.

#### Список літератури

1. Бычков И.В., Майорова Е.В. Решение задачи обратного инжиниринга для авиационных деталей с использованием лазерных сканеров. *Проблеми створення та забезпечення життєвого циклу авіаційної техніки*: зб. тез доп. міжнар. наук.-техн. конф. Харків: Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харк. авіац. ін-т», 2018. С. 43.

2. Бычков И.В., Майорова Е.В., Супонина В.О. Технология контроля бесконтактными методами деталей ЛА. *Інтегровані комп'ютерні технології в машинобудуванні*: зб. тез доп. міжнар. наук.-техн. конф.: Харків, 2018. С. 15.

3. Сучасні методи координатних вимірювань в авіа- та ракетобудуванні: навч. посіб. / І. В. Бичков, К. В. Майорова, І. О. Воронько та ін. Харків: Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т». 2019. С. 96.

УДК 519.246.8

*Назаренко Н. П., викладач*

*Кременчуцький льотний коледж Харківського національного університету внутрішніх справ, м. Кременчук, Україна*

## ФРАКТАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЧАСОВИХ РЯДІВ У СИСТЕМАХ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ

Вид часового ряду – дискретної послідовності відліків, має сигнали на виході практично всіх сучасних вимірювальних пристроїв, що використовують цифрову обробку, в тому числі, систем передачі інформації і багатьох інших вимірювальних систем. Експериментально встановлено, що часові ряди даних, отримані при вивченні таких систем, мають фрактальні властивості (самоподібність, фрактальна розмірність тощо), що дає можливість прогнозувати їх динаміку, виявляти приховані кореляції, цикли тощо.

Один з універсальних підходів до виявлення самоподібності ґрунтується на методі DFA (Detrended Fluctuation Analysis) – універсальному методі обробки рядів вимірювань [1]. Метод DFA є варіантом дисперсійного аналізу,

що дозволяє досліджувати ефекти тривалих кореляцій в нестационарних рядах. При цьому аналізується середньоквадратична похибка лінійної апроксимації в залежності від розміру відрізка апроксимації. В рамках цього методу спочатку здійснюється приведення даних до нульового середнього (віднімання середнього значення  $F$  з часового ряду  $F(k)$ ,  $k = 1, 2, \dots, N$ ) і будується випадкове блукання  $y(k)$ :

$$y(k) = \sum_{i=1}^k (F_i - (F)_N). \quad (1)$$

Далі ряд значень  $y(k)$ ,  $k = 1, 2, \dots, N$  розбивається на відрізки, що перекриваються, довжиною  $n$ , в межах кожного з яких методом найменших квадратів визначається рівняння прямої, що апроксимує послідовність  $y(k)$ . Знайдена апроксимація  $y_n$  ( $y_n(k) = ak + b$ ) розглядається як локальний тренд. Далі обчислюється середньоквадратична похибка лінійної апроксимації  $D(n)$  при широкому діапазоні значень  $n$ :

$$D(n) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y(k) - y_n(k))^2}. \quad (2)$$

У разі, коли залежність  $D(n)$  має статичний характер  $D(n) \sim n^a$  (наявність лінійної ділянки при подвійному логарифмічному масштабі  $\ln(D) \sim a \ln(n)$ ), можна говорити про існування скейлінгу.

Якщо позначити через  $X_i$  член ряду кількості датчиків системи передачі інформації, що передали дані за одиницю часу  $t$  ( $t = 1, 2, \dots, N$ ), то функція автокореляції для цього ряду  $X$  визначається за формулою:

$$F(k) = \frac{1}{N-k} \sum_{i=1}^{N-k} (X_{k+i} - m)(X_i - m); \quad (3)$$

де  $m$  – середнє значення ряду  $X$ , яке в подальшому, не обмежуючи спільності, будемо вважати рівним 0 (це досягається переприсвоєнням значенням  $X_t$  значення  $X_t - m$ ). Передбачається, що ряд  $X$  може містити приховану періодичну складову.

Відомо, що функція автокореляції володіє властивістю: якщо прихована періодична складова існує, то її значення асимптотично наближається до квадрату середнього значення вихідного ряду [1].

Якщо розглянутий ряд періодичний, тобто може бути представлений як:

$$X_t = \frac{a_0}{2} + \sum_{m=1}^{\infty} a_m \cos(n\omega t + \theta_m); \quad (4)$$

то його функція автокореляції буде дорівнює:

$$F(k) = \frac{a_0^2}{2} + \frac{1}{2} \sum_{m=1}^{\infty} a_m^2 \cos(n\omega t). \quad (5)$$

Цей результат показує, що функція автокореляції періодичного ряду також є періодичною, містить основну частоту і гармоніки, але без фазових кутів  $\theta_m$ .

Розглянемо числовий ряд  $X$ , який є сумою деякої змістовної складової  $N$  і синусоїдального сигналу  $S$ :

$$X_t = N_t + S_t. \quad (6)$$

Знайдемо функцію автокореляції для цього ряду (значення зведені до середнього  $m = 0$ ):

$$F(k) = \frac{1}{N-k} \sum_{t=1}^{N-1} X_{k+1} X_t = \frac{1}{N-k} \sum_{t=1}^{N-k} (X_{k+t} S_{k+t})(X_t + S_t) = \frac{1}{N-k} \sum_{t=1}^{N-1} X_{k+1} X_t + \\ + \frac{1}{N-k} \sum_{t=1}^{N-1} S_{k+1} S_t + \frac{1}{N-k} \sum_{t=1}^{N-1} X_{k+1} S_t + \frac{1}{N-k} \sum_{t=1}^{N-1} S_{k+1} X_t. \quad (7)$$

Очевидно, перший доданок виразу (7) є неперіодичною функцією, що асимптотично прагне до нуля. Оскільки взаємна кореляція між  $N$  і  $S$  відсутня, то третя і четверта складові цього виразу також прагнуть до нуля. Таким чином, найзначніший ненульовий внесок становить другий доданок, що являє собою автокореляцію сигналу  $S$ , тобто функція автокореляції ряду  $X$  залишається періодичною.

#### Список літератури

1. Аксенов В. Ю., Сорокин А. А., Дмитриев В. Н. Сенсорные сети для линейно расположенных объектов. *Инновационные технологии и управление, образования, промышленности «АСТИНТЕХ-2010»* : материалы Международной научной конференции, 11–14 мая 2010 г. 2010. Т. 1. С. 87–89.

УДК 681.513.7

*Терещенко К. В., курсант*

*Научный руководитель: Капустин А. Г., к.т.н., доцент, профессор кафедры Белорусская государственная академия авиации, г. Минск, Республика Беларусь*

### НЕЧЕТКИЙ РЕГУЛЯТОР НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА

Системы с использованием нечеткой логики относятся к интеллектуальным системам. Интеллектуальные системы регулирования применяются при управлении сложными объектами с плохо изученной динамикой, к таким объектам относится синхронный генератор.

Условия работы данных объектов и нагрузок недостаточно известны и существенно непостоянны (с дрейфом параметров, характеристик объекта управления и среды эксплуатации). К такой системе регулирования относится *fuzzy logic controller* (нечеткий регулятор). Эффективность нечеткого регулятора обусловлена регулирующим воздействием, которое зависит от получаемых сигналов согласно созданным правилам. Правила создаются на основе лингвистических переменных (термов) и присвоенных весов для предсказания входных данных, а значит более эффективного регулирования выходного сигнала. Регуляторы на основе интеллектуальной системы