

„ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”

Ахієзер Олена Борисівна

УДК 519.218+620.92

**МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ НЕСТАЦІОНАРНИХ
СТОХАСТИЧНИХ ЕНЕРГОПОТОКІВ НА ОСНОВІ ТРИКУТНОЇ
МОДЕЛІ**

Спеціальність 01. 05. 02 –математичне моделювання
та обчислювальні методи

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2007

Дисертацією є рукопис

Робота виконана у Національному технічному університеті "Харківський політехнічний інститут" Міністерства освіти і науки України, м. Харків.

Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор

Піротті Євген Леонідович,

Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", професор кафедри комп'ютерної математики та математичного моделювання.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор

Дмитрієнко Валерій Дмитрович,

Національний технічний університет

"Харківський політехнічний інститут",

професор кафедри обчислювальної техніки та програмування.

кандидат технічних наук,

Бакуменко Ніна Станіславівна,

Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут»,
доцент кафедри інформатики.

Захист відбудеться "___" _____ 2007 р. о ___ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.07 у Національному технічному університеті "Харківський політехнічний інститут" за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут"

Автореферат розісланий "___" _____ 2007 р.

Вчений секретар

спеціалізованої вченої ради

І.П. Гамаюн

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Недолік аналітичної бази спектрального аналізу для окремих класів нестационарних процесів висунув на перший план необхідність розв'язання задачі, пов'язаної з побудовою принципово нових методів та нової техніки їх дослідження. При цьому слід мати на увазі, що найчастіше нестационарні випадкові процеси, що вивчаються, являються унікальними та їх неможливо повторити при статистично подібних умовах.

Одним з перспективних підходів дослідження нестационарних випадкових процесів є їх представлення як кривих у спеціальному гільбертовому просторі за допомогою універсальних та трикутних моделей. Це дає можливість будувати деякі «елементарні» нестационарні процеси та, крім того, за допомогою універсальних моделей сформувати з них більш загальні класи нестационарних випадкових функцій або послідовностей. Для цього можна використовувати добре розроблений апарат функціонального аналізу, зокрема теорію трикутних моделей, для побудови кореляційної та спектральної теорії нестационарних випадкових процесів, розв'язання низки задач та прогнозування.

Маючи на увазі, що на практиці повторення експериментів не завжди можливе з різних причин, дуже важливо мати можливість будувати математичну модель нестационарного стохастичного процесу, який дозволяє проводити імітаційне моделювання поведінки як складних систем у заданих умовах, так і конкретних механізмів.

Важливою передумовою для розв'язання поставленої задачі є створення математичної моделі, яка враховувала б основні фізичні властивості досліджуваного процесу та була б узгодженою з поставленими практичними завданнями. Актуальність розглянутої задачі полягає у виборі та обґрунтуванні такої математичної моделі, що дозволяє розробляти ефективні алгоритми обробки даних та отримувати достовірні статистичні висновки з метою подальшого їх імітаційного моделювання.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Роботу виконано на кафедрі комп'ютерної математики та математичного моделювання НТУ «ХП» у рамках держбюджетної теми МОН України «Розробка статистичних і нейромережевих методів та інформаційних технологій комп'ютерного моніторингу складних систем в умовах невизначеності» (№ ДР 0106U005167) та госпдоговірної теми "Создание перспективных движителей" (ВАТ «ХТЗ ім. С. Орджонікідзе»), де здобувач був виконавцем окремих розділів.

Мета і задачі дослідження. Метою даного дослідження є розробка математичної моделі нестационарних стохастичних енергопотоків на основі трикутної моделі на прикладі питання споживання енергоресурсів для підвищення точності прогнозу. Досягнення поставленої мети вимагало розв'язання таких

задач:

1. Провести огляд сучасного стану питання з метою порівняння відомих методів аналізу нестационарних стохастичних процесів, а також відомих моделей для отримання початкових даних для дослідження.

2. Дати опис окремих класів нестационарних процесів у гільбертовому просторі в термінах кореляційних функцій.

3. Побудувати математичні моделі розглянутих класів нестационарних стохастичних процесів на базі кореляційної теорії за допомогою трикутних моделей для розв'язання задач статистичної обробки та прогнозу.

4. З метою перевірки запропонованої моделі провести дослідження добового споживання електричної енергії та імітаційне моделювання поведінки динамічної системи.

5. На основі експериментальних даних дати довірчу оцінку з заданим рівнем надійності запропонованої моделі.

Об'єкт дослідження. Нестационарний стохастичний процес добового споживання електричної енергії в межах окремої області.

Предмет дослідження. Методи моделювання та статистична обробка експериментальних даних, пов'язаних з енергопоказами.

Методи дослідження. Опис окремих класів нестационарних процесів у гільбертовому просторі ґрунтується на методах теорії випадкових процесів, функціонального аналізу, теорії лінійної алгебри та лінійних операторів; побудова математичних моделей розглянутих класів нестационарних стохастичних процесів ґрунтується на теорії чисельних методів розв'язання систем диференціальних рівнянь та теорії функцій комплексної змінної; перевірка адекватності запропонованої моделі здійснюється за допомогою теорії ймовірностей та математичної статистики.

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Вперше розглянуто класи нестационарних еволюційно поданих стохастичних процесів, що породжуються диференціальними рівняннями для їх кореляційних функцій. Розв'язання цих рівнянь у явному вигляді дозволяє отримувати нові спектральні розклади вказаних класів нестационарних випадкових процесів.

2. Удосконалено математичні моделі для нестационарних випадкових процесів, які мають дискретний або неперервний спектр у гільбертових просторах, що надало можливість отримати вигляд кореляційної функції та записати систему рекурентних диференціальних співвідношень для відновлення окремих стохастичних процесів.

3. Вперше отримано спектральний розклад для нестационарних стохастичних процесів спеціального вигляду, які мають неперервний спектр зосереджений в точці або дискретний спектр.

4. Створено метод короткочасного прогнозу добового споживання електричної енергії на основі запропонованих трикутних моделей.

5. Знайшла подальший розвиток імітаційна модель, що описує нестационарні випадкові процеси, які відбуваються у гідравлічній системі трансмісії транспортних засобів.

Практичне значення одержаних результатів. На основі проведених досліджень була запропонована модель нестационарного випадкового процесу. Реалізована:

- для добового споживання електричної енергії на прикладі Харківської області. Прогноз, який отримано на основі проведених розрахунків дав точність, що на 1,5 % вище, ніж у моделей, які використовувались раніше.

- для моделювання різних випадкових впливів на ходові системи, трансмісію, та робоче місце водія гусеничних тракторів на ВАТ «ХТЗ ім. С.Орджонікідзе». Одержаний економічний ефект від впровадження результатів ґрунтується на скороченні термінів досліджень нової техніки та модернізації існуючої.

Одержані в дисертації теоретичні результати використовуються в навчальному процесі кафедри комп'ютерної математики та математичного моделювання НТУ «ХПІ» в курсі «Випадкові процеси».

Особистий внесок здобувача. Всі основні положення дисертації, які виносяться на захист, отримані здобувачем особисто. Серед них: запропоновано модель кореляційної функції векторного стохастичного процесу при різних спектрах оператора; отримано спектральний розклад окремих стохастичних процесів; розглянуто нестационарний стохастичний процес, що породжується диференціальним рівнянням для його кореляційної функції.

Апробація результатів дисертації. За результатами дисертаційної роботи зроблено доповіді на IV міжнародній науковій конференції ім. академіка М.Кравчука (Київ, 1995); на міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми інформатики и моделирования» (Харків, 2001); на міжнародній конференції «Теория функций и математическая физика» (Харків, 2001); на V, X міжнародних науково-практичних конференціях «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» (Харків, 1996, 2002); на Всеукраїнській науково-методичній конференції «Проблеми та зміст фундаментальної освіти сучасного інженера» (Харків, 2004), на IX міжнародній науково-технічній конференції «Автомобильный транспорт: проблемы и перспективы» (Севастополь, 2006).

Публікації. За основними результатами дисертаційної роботи опубліковано 10 наукових праць, серед них 7 у фахових виданнях ВАК України.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається з вступу, 5 розділів, висновків, 4 додатків. Повний обсяг дисертації складає 203

сторінку; 8 ілюстрацій по тексту; 18 таблиць по тексту; 4 таблиці на 4 сторінках; 4 додатка на 37 сторінках; 114 використаних літературних джерел на 10 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ

У вступі шляхом аналізу та порівняння відомих математичних моделей з розробленими обґрунтовано актуальність теми дисертації, відзначено зв'язок роботи з науковими темами, сформульовано мету і задачі дослідження, визначено об'єкт, предмет і методи дослідження, показано наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, розкрито питання апробації результатів дисертації на конференціях та їх висвітлення у друкованих працях.

У першому розділі на основі аналітичного огляду літературних джерел описано особливості аналізу нестационарних стохастичних процесів та методів їх статистичної обробки, а також проведено аналіз існуючих математичних моделей кореляційних функцій та спектральних розкладів.

Результати огляду показали, що існує два основних метода обробки нестационарних стохастичних процесів. Перший метод полягає у тому, що стохастичний процес заданий у випадку певної функції розподілу. Однак, для практичного використання функція розподілу є не дуже придатною характеристикою. Тому обмежуються вивченням тих властивостей стохастичних процесів, які визначаються кореляційною функцією. Аналіз будь-яких стохастичних процесів за допомогою кореляційної функції, як теоретико-імовірнісної характеристики, в загальному випадку неможливо використовувати для нестационарних випадкових процесів.

За іншим методом стохастичний процес розглядають як криву у відповідному гільбертовому просторі. Це дає можливість подати процес у операторному вигляді. Оператор, що визначає стохастичний процес, включають до локального вузлу, характеристики якого можливо визначити системою диференціальних рівнянь. Головною перевагою цього методу є те, що за допомогою кореляційної функції стохастичного процесу визначена інфінітезимальна функція, яка є мірою відхилення випадкового процесу від стаціонарного та допомагає знаходити ранг нестационарності процесу.

Проведений порівняльний аналіз існуючих методів визначення та обробки нестационарних стохастичних процесів показав, що відомі методи аналізу та моделювання не позбавлені деяких недоліків, а тому існує об'єктивна необхідність побудови нових та удосконалення існуючих математичних моделей для деяких класів нестационарних стохастичних процесів.

У другому розділі проаналізована можливість одержання математичних моделей для кореляційних функцій стохастичних процесів, якщо ці функції задовольняють відомим диференціальним рівнянням. Крім того, за допомогою трикутних моделей операторів, що визначають нестационарний стохастичний

процес, отримані математичні моделі для інфінітезимальних кореляційних функцій, на базі яких можливо одержувати зображення для кореляційних функцій нестационарних процесів.

В роботі розглядається стохастичний процес $\xi(t)$, породжений задачею Коші. При певних обмеженнях на $A(t)$, які зручно формулювати в термінах $K(t,s)$, можливо провести аналіз стохастичного процесу $\xi(t)$. У прикладних задачах частіше приходять до рівнянь у часткових похідних для кореляційної функції $K(t,s)$. У зв'язку з цим представляють інтерес класи нестационарних еволюційно зображених випадкових процесів, що породжуються рівняннями для кореляційних функцій. При цьому для оператора $A(t)$ одержують нелінійні еволюційні операторні рівняння. Розв'язання цих рівнянь у явному вигляді надає можливість отримувати нові спектральні рішення деяких класів нестационарних випадкових кривих.

1. Якщо кореляційна функція задовольняє рівнянню

$$\frac{\partial^2 K}{\partial t \partial s} - \alpha K = 0, \quad (1)$$

де α – дійсна постійна величина. Тоді функція $K(t,s)$ має вигляд

$$K(t,s) = \int_0^{2\pi} e^{i(t-s)\sqrt{\alpha} \cos \lambda - (t+s)\sqrt{\alpha} \sin \lambda} dF(\lambda), \text{ де } F(\lambda) \text{ – функціонал обмеженої ва-}$$

ріації, що не убуває.

Особливе значення має рівняння (1), якщо $\alpha = 1$ і оператор A задовольняє умові $I - A^* A = \langle \square, g \rangle g$, де g – каналовий вектор оператора A . Тоді для кореляційної функції має місце наступне представлення

$$\frac{\partial^2}{\partial t \partial s} K(t,s) - K(t,s) = -\varphi(t) \overline{\varphi(s)}, \text{ де } \varphi(t) = \langle e^{itA} \xi_0, g \rangle. \text{ У даному випадку інфі-}$$

нітезимальна кореляційна функція $W(t,s) = \varphi(t) \overline{\varphi(s)}$. Якщо стохастичний диси-

пативний процес є асимптотично затухаючим, то $K(t,s) = \int_0^{\infty} W(t+\tau, s+\tau) d\tau$.

Далі у роботі розглядаються різні випадки повних дисипативних операторів у відповідних модельних просторах.

У випадку дискретного спектру модельний простір реалізується у вигляді гільбертового простору ℓ^2 . В цьому випадку кореляційну функцію стохастичного процесу знаходимо з співвідношення

$$K(t,s) = \int_0^{\infty} \varphi(t+\tau) \overline{\varphi(s+\tau)} d\tau, \quad (2)$$

де $\varphi(t) = \sum_{k=1}^{\infty} C_k \Lambda_k(t)$, $\sum_{k=1}^{\infty} |C_k|^2 < \infty$, а $\Lambda_k(t)$ – спеціальні λ - функції, що однозначно обчислюються за спектром оператора A .

Таким чином, в роботі побудовані математичні моделі кореляційних функцій нестационарних стохастичних процесів та в деяких випадках отримані математичні моделі й самих випадкових процесів.

У третьому розділі для широких класів нестационарних стохастичних процесів за допомогою спектральної теорії несамосполучених або неунітарних операторів отримані спектральні розклади, що є аналогами спектральних розкладів для стаціонарних стохастичних процесів. Одержані спектральні розклади дозволяють розглядати випадковий процес як суперпозицію елементарних випадкових величин.

Методи побудови спектральних розкладів нестационарних стохастичних процесів ґрунтуються на тому, що спектром лінійно представленого процесу є спектр оператора A .

Отримані спектральні розклади для окремих трикутних моделей у відповідних гільбертових просторах: оператор A має дискретний спектр і діє у модельному просторі ℓ^2 . Має місце розклад

$$\xi(t) = \sum_{k=1}^{\infty} \psi_k(t) \xi_k, \quad (3)$$

де $\langle \xi_k, \xi_j \rangle = \delta_{kj}$; функції $\psi_k(t)$ можливо визначити з системи рекурентних рівнянь:

$$i \frac{d\psi_k(t)}{dt} + \lambda_k \psi_k(t) = \langle \sigma u_k(t), z_k \rangle, \quad (4)$$

$$\psi_k(0) = \psi_{k,0}, \quad u_{k+1}(t) = u_k(t) - i\psi_k(t)z_k, \quad u_1(t) \equiv 0, \quad (5)$$

де $\{z_k\}_{k=1}^{\infty}$ – послідовність каналових випадкових величин, $\sigma = 2\text{Im} A$. В

дисертаційній роботі розв'язок системи (4) - (5) записано в загальному вигляді, який є зручнішим для вирішення теоретичних та практичних задач.

Таким чином, одержано розклади нестационарних стохастичних процесів у випадку дискретного та неперервного спектрів утворюючих операторів.

У четвертому розділі проаналізовано процес добового споживання електричної енергії, обґрунтовано можливість застосування нестационарного стохастичного процесу як математичної моделі енергоспоживання. Запропоновано методику прогнозу добового споживання електричної енергії. Здійснено експериментальну перевірку побудованої моделі.

Побудову моделі здійснено на основі аналізу погодинного споживання електроенергії окремої області протягом одного місяця. Маючи ансамбль реалі-

зацій $x_i(t)$ ($i = \overline{1, 28}$) стохастичного процесу, значення енергоспоживання в момент часу t отримано усередненням по ансамблю.

Використовуючи критерій інверсій, обґрунтовано наявність тренду в усередненому процесі $x_{i\delta}(t)$. В роботі доведено чому для моделювання тренду використовуємо поліном шостого ступеня. Оскільки $W(n, n + \tau) \neq 0$, маємо нестационарний стохастичний процес. Доведено, що нестационарний стохастичний процес є дисипативним і має кінцевий ранг нестационарності.

На базі розробленої у розділі 3 математичної моделі нестационарного стохастичного процесу, для прогнозного процесу $x_{i\delta}(t)$ маємо розклад

$$x_{i\delta}(t) = \sum_{\hat{e}=1}^n \psi_{\hat{e}}(t) \xi_k, \quad (8)$$

де ξ_k – детерміновані функції $\langle \xi_k, \xi_j \rangle = \delta_{kj}$, а функції $\psi_k(t)$ задовольняють системі рекурентних рівнянь

$$\frac{d\psi_k}{dt} + \lambda_k \psi_k = \sum_{\alpha=1}^r u_{k,\alpha}(t) \sqrt{\omega_\alpha} M a_\alpha \overline{\xi_k}, \quad (9)$$

$$u_{k+1,\alpha}(t) = u_{k,\alpha}(t) - \sqrt{\omega_\alpha} M \xi_k \overline{a_\alpha} \psi_k(t), \quad (10)$$

$$\psi_k(t)|_{t=0} = \psi_k(0), u_{1,\alpha}(t)|_{t=0} = 0, (\alpha = \overline{1, n}), \quad (11)$$

де a_α – базис у модельному просторі ℓ^2 та $M a_\alpha \overline{a_\beta} = \delta_{\alpha\beta}$, ω_α – власні значення оператора $2 \text{Im } A$.

В дисертаційній роботі рішення системи (9) - (11) зведено до зручнішого для розв'язання подальших теоретичних і практичних задач вигляду. Тоді розклад (8) приймає вид:

$$x_{i\delta}(t) = A_0 + \sum_{k=1}^{2n+1} A_k \cos(kt - \theta_k). \text{ Враховуючи початкові}$$

дані, обчислені усереднені прогнози значення для добового споживання електричної енергії. На основі реальних статистичних даних проведено оцінку ефективності методу прогнозу.

Таким чином, запропоновано алгоритм статистичної обробки та побудови математичної моделі добового споживання електричної енергії, що враховує нестационарний характер стохастичного процесу.

У н'ятому розділі на базі математичної моделі кореляційної функції нестационарного стохастичного процесу з дискретним спектром, побудованої у розділі 2, розроблено методику комп'ютерного імітаційного моделювання тиску в циліндрах системи трансмісії; проведено серію імітаційних експериментів з метою моделювання та статистичного обґрунтування адекватності розроб-

леної моделі.

Оскільки тривалість кожної експериментально отриманої реалізації кінцева ($T=100$ с.), спектр даних реалізацій дискретний. Таким чином, для дослідження отриманого стохастичного процесу можливо використовувати висновки розділу 2.

Це надає можливості представити кожну реалізацію $X_\nu(t)$ ($\nu = \overline{1, 11}$) стохастичного процесу $X(t)$ наступним чином: $X_\nu(t) = Y_1^\nu(t) + Y_2^\nu(t)$,

$Y_1^\nu(t) = a_0^\nu$, $Y_2^\nu(t) = \sum_{w=1}^{10} a_w^\nu \sin(\omega t + \theta_\omega^\nu)$, де θ_ω^ν – початкові фази. В роботі доведено, що кореляційна функція стохастичного процесу $X_\nu(t)$ має вигляд

$$K_{X_\nu(t)}(\tau) = |a_0^\nu|^2 + \sum_{w=1}^{10} 2\pi |a_w^\nu|^2 \cos \omega t.$$

Отримана крива спектральної густини, яка має два явно виражених максимуми. В результаті проведеного аналізу, знайдено коефіцієнти для формулюючої динамічної ланки, що представлена у вигляді послідовного з'єднання двох коливальних динамічних ланок. Для розв'язку системи диференціальних рівнянь динамічних ланок використано чисельний метод Рунге-Кутта.

На основі розробленої математичної моделі та обґрунтованих методів статистичного аналізу створено програму для автоматизованої обробки та імітаційного моделювання тиску. Адекватність розробленої моделі досліджуваному явищу підтверджується наступними аргументами:

- використовуючи чисельні значення реалізацій експериментальних досліджень та результатів імітаційного моделювання, отримано вибірккові коефіцієнти кореляції, що підтверджують прямий тісний зв'язок; отже ці дані можливо порівнювати між собою за різними характеристиками;

- за допомогою t -критерію Ст'юдента доведено статистичну значущість отриманих вибірккових коефіцієнтів кореляції.

Таким чином, побудована імітаційна модель стохастичного процесу є якісною апроксимацією емпіричних даних.

У додатку приведені документи, що підтверджують практичне значення і впровадження результатів дисертаційної роботи, а також їхнє використання у навчальному процесі.

ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі розв'язана актуальна науково-прикладна задача із створення математичних моделей, що описують нестационарні випадкові процеси у різних технічних та економічних системах, на основі використання трикутних представлень. Основні результати роботи полягають у наступному:

1. Проведений порівняльний аналіз існуючих методів визначення та обробки нестационарних стохастичних процесів показав, що відомі методи аналізу та моделювання мають вагомні недоліки, а тому існує об'єктивна необхідність побудови нових та удосконалення існуючих математичних моделей для деяких класів нестационарних стохастичних процесів.

2. Дано опис нестационарних стохастичних процесів у гільбертовому просторі з дискретним або неперервним спектром в термінах кореляційних функцій та в окремих випадках побудовано математичні моделі кореляційних функцій.

3. Одержано зміни вигляду математичної моделі кореляційної функції, якщо метрика модельного простору відмінна від стандартної, тобто має вагову функцію.

4. Побудовані математичні моделі нестационарних стохастичних процесів з дискретним спектром на базі кореляційної теорії за допомогою трикутних моделей для розв'язання задач статистичної обробки та прогнозу.

5. Для широких класів нестационарних стохастичних процесів за допомогою спектральної теорії несамосполучених або неунітарних операторів отримано спектральні розклади, що є аналогами спектральних розкладів для стационарних стохастичних процесів. Одержані спектральні розклади дозволяють розглядати випадковий процес як суперпозицію елементарних випадкових величин.

6. На підґрунті розглянутих моделей запропоновано методіку прогнозу добового споживання електричної енергії та здійснено експериментальну перевірку побудованої моделі. Прогноз, який отримано на основі проведених розрахунків дав точність, що на 1,5 % вище, ніж у моделей, які використовувались раніше.

7. На основі розробленої математичної моделі та обґрунтованих методів статистичного аналізу створено методіку для автоматизованої обробки та імітаційного моделювання тиску у трансмісії транспортних засобів.

8. Моделі випадкових процесів, які були використані на реальних об'єктах пройшли статистичну перевірку на адекватність з рівнем надійності 0,95.

9. Результати роботи впроваджені в АК «Харківобленерго», на ВАТ «ХТЗ ім. С.Орджонікідзе» та у навчальному процесі НТУ «ХПІ».

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Ахиезер Е.Б. Об одном классе нестационарных случайных процессов, порождаемых эволюционными уравнениями в гильбертовом пространстве // Вестник Харьковского государственного политехнического Университета. – Харьков: ХГПУ, 1997. - №7. - С.9-14.

2. Ахиезер Е.Б. Применение корреляционной функции для выделения не-

которых классов нестационарных случайных процессов. // Механіка та машинобудування. – Харків: НТУ «ХПІ», 2001. - №1,2. – С.189-192.

3. Ахиезер Е.Б., Пиротти Е.Л. Определение спектра случайных векторных полей. // Системи обробки інформації. Збірник праць. – Харків: ХВУ, 2001. – Вип. 6(16). – С. 3-6.

Здобувачем запропоновано математичні моделі кореляційної функції векторного стохастичного процесу при різному спектрі утворюючого оператора.

4. Ахиезер Е.Б., Пиротти Е.Л. Операторный метод вычисления вероятностных характеристик случайных процессов в транспортных средствах. // Механіка та машинобудування. – Харків: НТУ «ХПІ», 2002. - №1. – С.49-56.

Здобувачем отримано спектральні розклади нестационарных стохастичних процесів достатньо чималої тривалості.

5. Ахиезер Е.Б., Пиротти Е.Л. Гармонические представления случайных процессов в динамических системах. // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». – Харків: НТУ «ХПІ», 2003. - №6. – С. 157-161.

Здобувачеві належить методика побудови математичних моделей нестационарных стохастичних процесів, що породжуються диференціальними рівняннями для їх кореляційних функцій.

6. Ахиезер Е.Б. О векторных неоднородных полях в гильбертовых пространствах. // Вісник Харківського університету, серія «Математика, прикладна математика і механіка». – Харків: ХДУ. 1999. - №458. – С.194-204.

7. Ахиезер Е.Б. Спектральные разложения векторных неоднородных случайных полей. // Вісник Харківського університету, серія «Математика, прикладна математика і механіка». – Харків: ХДУ. 2000. - №475. – С.341-346.

8. Ахиезер Е.Б. Вычисление корреляционных матриц некоторых случайных процессов. // Материалы международной научно-технической конференции «Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье». – Харьков, Мишкольц, Магдебург: ХГПУ, МУ, МТУ, 1996. – С.13.

9. Ахиезер Е.Б. Спектральные представления векторных полей в гильбертовых пространствах. // Тезисы докладов международной конференции «Теория функций и математическая физика». – Харьков: ХНУ ім. В.Н. Каразіна, 2001. – С.4.

10. Ахиезер Е.Б., Пиротти Е.Л. Применение треугольных моделей в построении математической модели возмущенного движения. // Тези доповідей Всеукраїнської науково-методичної конференції «Проблеми та зміст фундаментальної освіти сучасного інженера». – Харків: НТУ «ХПІ», 2004. – С.89-90.

Здобувачеві належить розробка математичної моделі нестационарного дискретного випадкового процесу.

АНОТАЦІЇ

Ахієзер О.Б. Математичне моделювання нестационарних стохастичних енергопотоків на основі трикутної моделі – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи (технічні науки). – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, 2007.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню задач розробки математичної моделі нестационарних стохастичних енергопотоків на основі трикутної моделі.

У дисертаційній роботі для нестационарних стохастичних процесів, що задовольняють відомим диференціальним рівнянням, побудовані математичні моделі кореляційних функцій. В окремих випадках отримані математичні моделі для самих випадкових процесів. Крім того показано як зміниться вигляд математичної моделі кореляційної функції, якщо метрика модельного простору відмінна від стандартної. За допомогою спектральної теорії несамополучених або не унітарних операторів одержано розклади нестационарних стохастичних процесів у випадку дискретного та неперервного спектрів утворюючих операторів. З урахуванням нестационарності стохастичного процесу енергоспоживання, запропоновано методику прогнозу добового споживання електричної енергії. Експериментально здійснено перевірку побудованої моделі. Розроблено методику комп'ютерного імітаційного моделювання тиску в циліндрах системи трансмісії на базі математичної моделі кореляційної функції нестационарного стохастичного процесу з дискретним спектром.

Ключові слова: математична модель, імітаційне моделювання, нестационарний стохастичний процес, ідентифікація, трикутна модель, спектральний розклад, кореляційна функція, апроксимаційний метод перетворення, адекватність математичної моделі, енергоспоживання.

Ахизер Е.Б. Математическое моделирование нестационарных стохастических энергопотоков на основе треугольной модели. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.05.02 – математическое моделирование и вычислительные методы (технические науки). – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт, Харьков, 2007.

Диссертационная работа посвящена разработке математической модели нестационарных стохастических энергопотоков на основе треугольной модели.

На основе анализа особенностей нестационарных стохастических процессов и методов статистической их обработки обоснована необходимость использования треугольных моделей для построения новых и усовершенствования имеющихся математических моделей отдельных классов нестационарных сто-

хастических процессов. В работе проанализирована возможность получения математических моделей для корреляционных функций стохастических процессов в том случае, когда эти функции удовлетворяют известным нелинейным дифференциальным уравнениям. Кроме того, при помощи треугольных моделей операторов, определяющих нестационарный стохастический процесс, получены математические модели для инфинитезимальных корреляционных функций, на основе которых возможно получить представление для корреляционных функций рассматриваемых нестационарных процессов, а в некоторых случаях получены математические модели и самих нестационарных стохастических процессов.

На стадии решения задач устойчивости, управления и оптимизации нестационарных процессов возникает необходимость введения нестандартных метрик. В связи с этим в работе показано, как изменится представление математической модели корреляционной функции в том случае, если метрика модельного пространства имеет весовую функцию.

Для нестационарных стохастических процессов в случае дискретного и непрерывного спектра их оператора получены разложения нестационарных стохастических процессов. Это даёт возможность рассматривать стохастический процесс как суперпозицию элементарных случайных величин.

На основе проведенного анализа обоснована возможность использования нестационарного стохастического процесса как математической модели посуточного потребления электрической энергии. Предложена методика прогнозирования посуточного потребления электроэнергии на основе анализа почасового потребления электроэнергии отдельной областью на протяжении одного месяца, учитывая его нестационарный характер. С помощью регрессионного анализа определены доверительные интервалы для индивидуальных средних значений часового потребления электроэнергии. Значения почасового потребления электроэнергии того же месяца следующего года, полученные экспериментально, подтверждают эффективность построенной математической модели.

Базируясь на математической модели корреляционной функции нестационарного стохастического процесса с дискретным спектром, разработана методика компьютерного имитационного моделирования давления в цилиндрах трансмиссии. Проведено серию имитационных экспериментов, которые статистически подтверждают адекватность построенной модели.

Ключевые слова: математическая модель, имитационное моделирование, нестационарный стохастический процесс, идентификация, треугольная модель, спектральное разложение, корреляционная функция, аппроксимационный метод преобразования, адекватность математической модели, энергопотребление.

Akhiezer E.B. Mathematical design of nonstationary stochastic power

stream based on triangular model. -Manuscript.

*Thesis for a candidate's degree by speciality 01.05.02 – **mathematical modeling and computational approaches**. National Technical University “Kharkiv Politechnical Institute”, Kharkiv, 2007.*

Dissertation work is devoted to the decision of tasks of development of mathematical model of nonstationary stochastic power stream based on three-cornered model.

In dissertation work for nonstationary stochastic processes, which satisfied with the known differential equation, built mathematical models of correlations functions. In some cases got mathematical models for itself casual processes. In addition it is shown as the type of mathematical model of correlation function will change, if birth-certificate of model space different from standard. By the spectral theory of not self-conjugate or not unitary operators the curricula of nonstationary stochastic processes are got in the case of discrete and continuous spectrums of formative operators. Taking into account nonstationaryness of stochastic process of energy consumption, the method of prognosis of day's consumption of electric energy is offered. Verification of the built model is experimentally carried out. The method of computer imitation design of pressure is developed in the cylinders of the system of transmission on the base of mathematical model of correlation function of nonstationary stochastic process with a discrete spectrum.

Keywords: mathematical model, imitation design, nonstationary stochastic process, authentication, three-cornered model, spectral decomposition, correlation function, approximation method of transformation, adequacy of mathematical model, energy consumption.