

УДК 681.5: 519.7

В.І. Корнієнко, Л.В. Будкова

ДВНЗ «Національний гірничий університет», Дніпропетровськ

## ІДЕНТИФІКАЦІЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ТРАФІКУ В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

*Проведено оцінку ефективності методики ідентифікації та прогнозування складних процесів у телекомунікаційних мережах за експериментальними сигналами АТС з системами комутацій: ДНІПРО, EWSD та F-1500. При моделюванні процесів ідентифікації та прогнозування сигналів використовувались програма Fractan та програми, функціонуючі в програмному середовищі MATLAB. Для прогнозування сигналів були використані лінійний, нейронечіткий, нейровейвлетний та нейромережевий адаптивні фільтри-апроксиматори. Як показник ефективності прогнозування використовувалась відносна середньоквадратична похибка.*

**Ключові слова:** ідентифікація, прогнозування, комутаційна система, кореляційна ентропія, показник Херста, розмірність фазового простору, глибина прогнозу.

### Вступ

У мережах передачі даних з пакетною комутацією спостерігається поступове збільшення обсягу трафіку, тому виникає потреба в його ідентифікації та прогнозуванні для попередження перевантажень в мережі й уникнення погіршення якості послуг.

**Постановка завдання.** Трафік (обсяг переданої та отриманої інформації за одиницю часу) є одним з найважливіших фактичних показників роботи мережі. Даний потік інформації є нелінійним та стохастичним. Останні дослідження показують, що телекомунікаційний трафік для більшості видів сервісів є самоподібним (фрактальним) [1].

Розвиток телекомунікаційних мереж супроводжується їх плануванням. Тому підприємствам зв'язку потрібно прогнозувати трафік для визначення управлінських рішень по розробці заходів в частині проектування ресурсів мережі, забезпечення комутаційної ємності, достатньої для обслуговування абонентів [2].

Розв'язання указаних завдань можливо досягнути шляхом високої точності планування, проектування і розвитку засобів телекомунікацій, заснованих на статистичних даних та необхідному математичному апараті з використанням прогнозування [3]. Це дозволить збалансувати навантаження на маршрутизатори, комутатори і канали зв'язку та, таким чином, підвищити надійність і ефективність роботи мережі.

Отже, актуальною задачею є ідентифікація та прогнозування складних процесів у телекомунікаційних мережах за експериментальними часовими реалізаціями навантаження (трафіку).

**Мета статті.** Виконання ідентифікації та прогнозування нелінійних стохастичних процесів у телекомунікаційних мережах за методикою [4], що включає визначення режиму роботи породжуючої системи та її характеристик, синтез математичних

моделей, а також оцінку ефективності прогнозування процесів.

### Ідентифікація експериментальних сигналів

Для ідентифікації використовувались експериментальні сигнали трафіку автоматичних телефонних станцій (АТС) на базі систем комутацій:

- ДНІПРО (сигнал 1);
- EWSD (сигнал 2);
- F-1500 (сигнал 3).

Системи ДНІПРО та EWSD надають абонентам розширений набір послуг зв'язку: інтегральне обслуговування, обмін даними і обмін голосовою інформацією, в той час як комутаційна система F-1500 – тільки останню. Також АТС на базі систем комутації ДНІПРО та EWSD є зоновими, а АТС на базі системи комутації F-1500 – міською. Ці особливості побудови та використання систем обумовлюють відмінності їх трафіків.

При моделюванні процесів ідентифікації та прогнозування сигналів 1–3 використовувались програма Fractan [5] та програми, розроблені у середовищі MATLAB.

Побудова фазових портретів сигналів при розмірності  $d \leq 3$  і варіації затримки не дозволили знайти закономірність руху. Це може бути викликано або великим рівнем шуму в сигналах, або перебуванням процесів, що породжують, у несталому режимі, або тим, що розмірність їх фазового простору більше 3.

Після побудови часових реалізацій сигналів, їх кореляційних функцій, спектрів та вейвлет перетворень за їх видом можна сказати:

- для сигналів 1 і 2 – про нерегулярність процесів, що їх породжують. Це впливає зі стохастичного вигляду часових реалізацій сигналів, їх кореля-

цінні функції мають експоненціальний вигляд, а їх спектр нагадує спектр флікер-шуму. Це свідчить про те, що спектральна потужність сигналу приблизно зворотнопропорційна частоті. Для таких сигналів події недавнього минулого впливають на процес набагато сильніше, ніж події віддаленого минулого. Крім того, їх вейвлет перетворення мають самоподібний (фрактальний) характер (гілляста структура зберігається на різних масштабах);

– для сигналу 3 – про стохастичність процесу, що породжує. Це впливає зі швидкого спаду автокореляційної функції. Енергія спектра сигналу представлена як в області низьких, так і високих частот. Також за видом вейвлет перетворення можна зробити висновок, що сигнал проявляє самоподібні (фрактальні) властивості.

Підтвердженням цих результатів може бути показник Херста, який дозволяє класифікувати часові ряди та визначити еволюцію породжуючих їх систем [6]. В результаті розрахунків [5] значення показника Херста для сигналів склали:  $H_1 = 0,8734$ ,  $H_2 = 0,8844$ ,  $H_3 = 0,6788$ . Тобто це персистентні ряди: якщо вони зростають (убувають) в попередній період, то, ймовірно, що вони зберігатимуть цю тенденцію певний час в майбутньому.

Значення кореляційних ентропій і розмірностей атракторів сигналів склали:  $K_{C_1} = 0,433$  і  $D_{C_1} = 3,584$ ,  $K_{C_2} = 0,425$  і  $D_{C_2} = 3,823$ ,  $K_{C_3} = 0,752$  і  $D_{C_3} = 5,830$ . Таким чином, всі породжуючі процеси знаходяться в хаотичному режимі.

Розмірність фазового простору  $d$ , починаючи з якої  $D_C$  перестає змінюватися, є мінімальною розмірністю вкладення атрактору, тобто найменшою цілою розмірністю фазового простору, який містить весь атрактор [6]. Для її розрахунку використовують формулу Мане:

$$d \geq 2D_C + 1, \quad (1)$$

але на практиці таке значення  $d$  виявляється завищеним, тому часто обмежуються простором розмірності  $d \geq D_C$ . Таким чином,  $d_1 \leq 5$ ,  $d_2 \leq 5$  і  $d_3 \leq 7$ .

Для оцінки значення  $d$  знизу будувалися залежності  $D_C(d)$ . З їх аналізу випливає, що розмірність атрактора  $D_{C_1} (D_{C_2}, D_{C_3})$  перестає зростати при

розмірності фазового простору  $d_1 \geq 4 (d_2 \geq 4, d_3 \geq 5)$ .

Таким чином визначено, що  $4 \leq d_1 \leq 5$ ,  $4 \leq d_2 \leq 5$  та  $5 \leq d_3 \leq 7$ . При цьому інтервали точної передбачуваності (глибина прогнозу) склали  $T_{C_1} = 3,72$  такту дискретизації,  $T_{C_2} = 3,79$  такту і  $T_{C_3} = 2,14$  такту відповідно.

### Прогнозування трафіку навантажень

Для прогнозування сигналів використовувались: лінійний (Лін), нейронечіткий (ANFIS), нейровейвлетний (НВ) та нейромережевий (НС) адаптивні фільтри-апроксиматори (АФА) [7, 8]. На їх входи подавали відповідні часові реалізації зі своїми розмірностями  $d$  (глибиною пам'яті  $d-1$ ). Реалізації розбивалися на навчальну і перевірочну послідовності нарівно, а прогноз виконувався глибиною до 10 тактів. Як показник ефективності прогнозування використовували відносну середньоквадратичну похибку між реальними та прогнозованими значеннями сигналу перевірочної послідовності.

В якості лінійного фільтра-апроксиматора був використаний КІХ-фільтр 8-го порядку з шагом адаптації, що дорівнює 0,75.

Для створення нейронечіткого АФА була використана адаптивна нейронна система нечіткого висновку структури Сугено з дзвіноподібною функцією належності та 15 епохами навчання.

В НВ АФА використовувались вейвлети типу «симлет» 5-го порядку з 2 рівнями розкладання, а також каскадна нейронна мережа з 32 нейронами в прихованому шарі з сигмоїдальними функціями активації та 1 лінійним нейроном у вихідному шарі.

В НС АФА була використана каскадна багат шарова нейронна мережа прямого поширення з 64 нейронами в прихованому шарі з сигмоїдальними функціями активації та 1 лінійним нейроном у вихідному шарі. Кількість циклів навчання не перевищувала 300.

Результати розрахунків середньоквадратичних похибок для прогнозування експериментальних сигналів на 10 тактів наведені в табл. 1 та через дріб на інтервалі точної передбачуваності  $T_C$ . Графіки залежності похибок наведені на рис. 1.

Таблиця 1

Відносна похибка прогнозування, %

Тип АФА	Системи комутації		
	ДНІПРО	EWSD	F-1500
Лін	13,6/12,6	18,5/17,2	18,6/18,3
ANFIS	7,7/6,3	11,6/9,6	12,0/11,9
НВ	10,0/9,4	12,3/11,3	13,9/12,7
НС	9,1/7,5	12,2/11,8	12,1/11,0

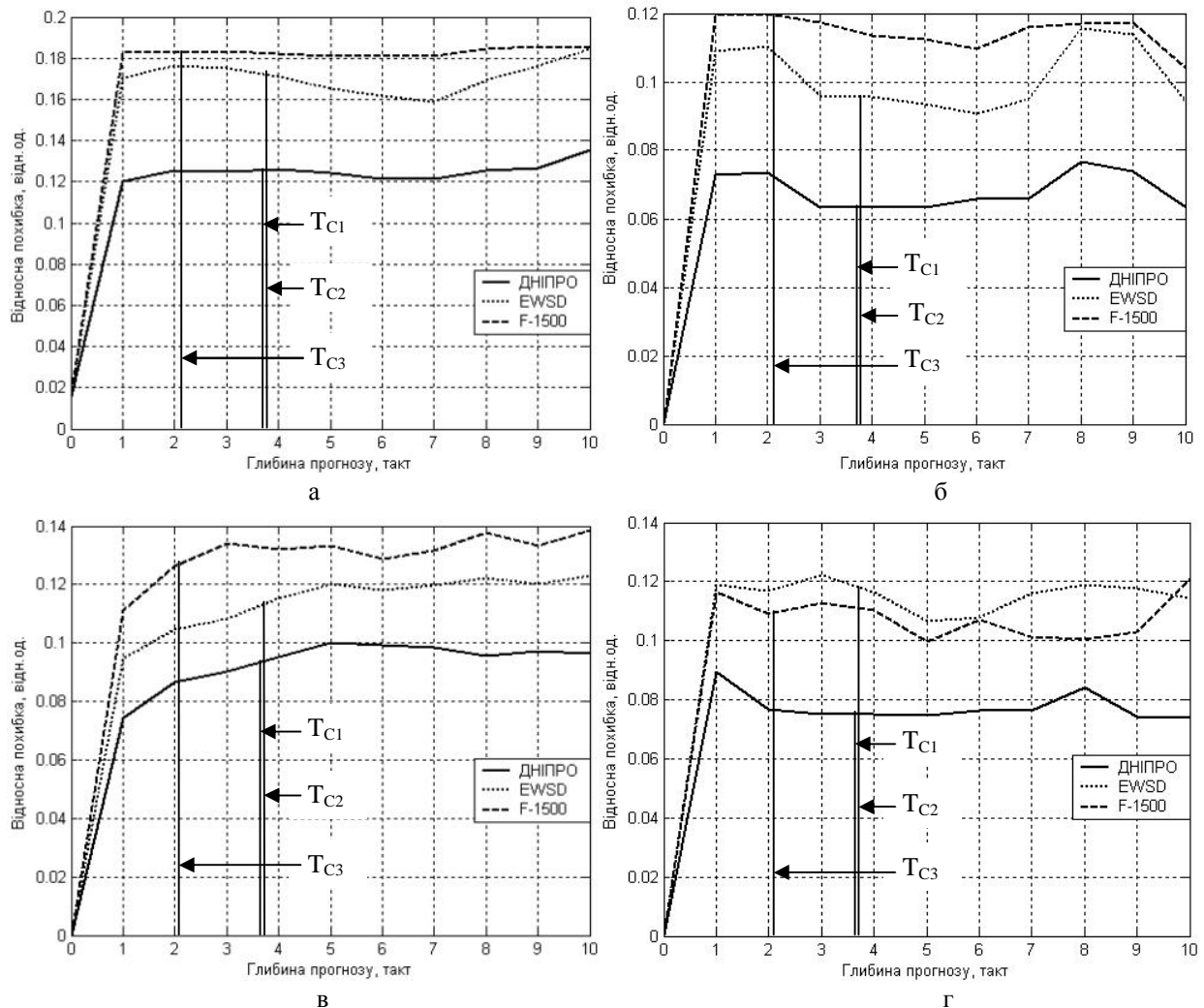


Рис. 1. Залежність відносної похибки прогнозування від глибини прогнозу для різних АФА: лінійного (а), нейронечіткого (б), нейровейвлетного(в) та нейромережевого (г)

Результати моделювання підтвердили нелінійність породжуючих процесів, оскільки похибки прогнозування нелінійних АФА значно менші в порівнянні з лінійним АФА.

НВ АФА та НС АФА близькі за точністю прогнозування, але останній потребує в десятки раз більше часу на навчання.

Порівнюючи НВ АФА та ANFIS, можна зробити висновок, що останній має в цілому менші значення похибки прогнозування.

Статистична перевірка показала, що запропоноване прогнозування адекватне з імовірністю 0,99 розглянутим експериментальним сигналам при глибині прогнозу до 10 тактів.

### Висновки

Визначено, що трафіки трьох різних АТС є нелінійними стохастичними процесами, для прогнозування яких найменші похибки має АФА на основі адаптивної нейронної системи нечіткого висновку.

Похибка прогнозування навантаження міської АТС на базі системи комутації F-1500 – найбільша,

що можна пояснити відсутністю в ній можливості інтегрального обслуговування та передачі даних.

Подальші дослідження мають бути спрямовані на розробку методів оптимізації вибору базисних функцій моделей (структурно-параметричної ідентифікації) породжуючих процесів.

### Список літератури

1. Осин А.В. Влияние самоподобности речевого трафика на качество обслуживания в телекоммуникационных сетях: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.12.13 «Системы, сети и устройства телекоммуникаций» / Осин Андрей Владимирович; Московский гос. ун-т сервиса. – М., 2005. – 20 с.
2. Каграманзаде А.Г. Прогнозирование и проектирование телекоммуникационных сетей / А.Г. Каграманзаде. – Баку: Бакинский Университет, 1998. – 242 с.
3. Афанасьева К.Е. Алгоритмы адаптивного оценивания и прогнозирования трафика предприятия связи: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации» / Афанасьева Ксения Евгеньевна; Южно-Урал. гос. ун-т. – Челябинск, 2008. – 19 с.
4. Корнієнко В.І. Ідентифікація та прогнозування стохастичних природних процесів за часовими реалізаці-

ями / В.І. Корнієнко, Л.В. Будкова // Науковий вісник Національного гірничого університету. – 2010. – № 11-12. – С. 118-122.

5. Шустер Г. Детерминированный хаос. Введение / Г. Шустер. – М.: Мир, 1988. – 256 с.

6. Сычев В. Фрактальный анализ. Программа Fractan 4.4. / В. Сычев [Электронный ресурс]. – Режим доступа до ресурсу: – <http://imrb.ru/~sychyov/>.

7. Круглов В.В. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети / В.В. Круглов, М.И. Дли, Р.Ю. Голунов. – М.: Солон, 1996. – 348 с.

8. Корнієнко В.І. Нейронне вейвлет прогнозування та ідентифікація складних сигналів та об'єктів керування / В.І. Корнієнко, Г.В. Кузнецов, І.В. Гарнак // Міжнародний науково-технічний журнал «Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія». – 2009. – С. 38-44.

Надійшла до редколегії 25.11.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф. М.О. Алексєєв, ДВНЗ «Національний гірничий університет», Дніпропетровськ.

#### ИДЕНТИФИКАЦИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТРАФИКА В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

В.И. Корниенко, Л.В. Будкова

Проведена оцінка ефективності методики ідентифікації та прогнозування складних процесів в телекомунікаційних мережах по експериментальним сигналам АТС з системами комутації: ДНЕПР, EWSD і F-1500. При моделюванні процесів ідентифікації та прогнозування сигналів використовувалися програма Fractan і програми, функціонуючі в програмній середі MATLAB. Для прогнозування сигналів були використані лінійний, нейронно-нечіткий, нейровейвлетний і нейросетевий адаптивні фільтри-апроксиматори. Як показувач ефективності прогнозування використовувалася відносна середньквадратична погрешність.

**Ключевые слова:** ідентифікація, прогнозування, комутаційна система, кореляційна ентропія, показувач Херста, розмірність фазового простору, глибина прогнозу.

#### IDENTIFICATION AND PREDICTION OF TRAFFIC IN TELECOMMUNICATION SYSTEMS

V.I. Korniyenko, L.V. Budkova

The efficiency estimation of method of difficult processes authentication and prognostication is conducted in telecommunication networks on the basis of the dial offices experimental signals with the switching systems: DNEPR, EWSD and F-1500. Processes designing of signals identification and prediction the program Fractan and programs, functionings in the software environment of MATLAB, were used. For prognostication of signals were utilized linear, neuro-fuzzi, neuro-wavelet and neuronet adaptive filters-approximations. The relative error was utilized as an efficiency index of prediction.

**Keywords:** identification, prediction, switching system, cross-correlation entropy, index of Khersta, dimension of phase space, depth of prediction.