

## МЕТОД ПРОГНОЗУВАННЯ ЗАВАНТАЖЕНОСТІ СЕРВЕРУ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ

*В роботі використано феноменологічний підхід до аналізу квазіперіодичних квазістаціонарних процесів, до яких можна віднести динаміку навантаження серверу телекомунікаційної мережі. Виявлення значних коливань складових дозволяє будувати об'єктивні прогнози завантаженості та оцінювати надійність прогнозування завантаженості серверу телекомунікаційної мережі.*

**Ключові слова:** телекомунікаційна мережа, сервер, прогнозування, екстраполяція, квазістаціонарний процес.

### Вступ

**Постановка задачі.** Сучасні телекомунікаційні системи характеризуються великою кількістю різнорідного трафіку, який передається між серверами, комутаторами та маршрутизаторами у мережах. Трафік – узагальнений термін, яким позначають інтенсивність руху, транспортування; потік, навантаження на комунікаційну систему (звернення, кількість переданих за одиницю часу пакетів або повідомлень) в різних системах, мережах, в тому числі телекомунікаційних та транспортних мережах, а також обсяг переданих або прийнятих даних.

Аналіз вимог, які пред'являються до доставки даних у сучасних телекомунікаційних мережах, показав, що при передачі цього трафіку необхідно забезпечити не тільки безпомилковість (достовірність), але й своєчасність та достатньо високу оперативність доставки інформаційних повідомлень. Але методи підвищення оперативності передачі даних в телекомунікаційних мережах з сучасними протоколами доступу і управління, критеріями і обмеженнями, враховуючих особливості передачі різного роду даних досліджені недостатньо.

Одним з методів підвищення оперативності передачі інформації у телекомунікаційній мережі є зменшення навантаження на сервери за рахунок використання різного виду алгоритмів маршрутизації трафіку.

Це зменшення навантаження на сервери телекомунікаційній мережі можливо досягти за рахунок прогнозування їх завантаженості. При цьому, якщо завантаженість визнана більшою, ніж може допустити сервер, необхідно перенаправити трафік на інші сервери та маршрутизатори, за допомогою яких здійснюється маршрутизація у телекомунікаційній мережі.

З цієї точки зору, коливання значення трафіку у мережі можливо представити у вигляді деякої функції. У свою чергу, цю функцію можливо представити у вигляді суми деяких майже періодичних сигналів. Таким чином, об'єктом дослідження є процес

дискретного представлення в часі майже періодичного сигналу  $f(t_i)$ , де  $t_i$  – відрхунки часу, а  $f(t_i)$  має вигляд:

$$f(t) = A_0 + \sum_{k=1}^N (A_k + \psi_k(t)) \sin(\omega_k t + \varphi_k + \xi_k(t)),$$

де  $A_k$ ,  $\omega_k$ ,  $\varphi_k$  – деякі константи;  $\psi_k(t)$ ,  $\xi_k(t)$  – випадкові функції від часу з нульовим математичним сподіванням та обмеженою дисперсією  $\delta_k$ ;  $k$  – індекс сумування.

Метою дослідження є екстраполяція  $f(t_i)$  шляхом визначення  $A_k$ ,  $\omega_k$ ,  $\varphi_k$  та оцінка похибки прогнозування.

Це надасть можливість прогнозувати навантаження на сервер, для подальшої оптимізації структури телекомунікаційної мережі та підвищення оперативності передачі даних у ній.

### 1. Огляд існуючих методик

Для апроксимації сигналів тригонометричними поліномами пошук коефіцієнтів  $A_k$ ,  $\varphi_k$  не викликає труднощів, і можуть бути визначені декількома способами, з яких найпоширенішим є метод найменших квадратів. Для пошуку ж основних власних частот задача не є тривіальною і всі існуючі методики не є універсальними, мають свої недоліки та переваги.

Для наочності переваг та недоліків використання перетворення Фур'є для пошуку основних частот сигналу, що досліджується, на рис. 1 наведено частотно-амплітудну характеристику сигналу  $1-2\sin(3t)+\sin(3.1t)+\cos(0.1t)$ , коли  $t$  змінюється від 0 до 6 включно (рис. 1).

Конкретний приклад показує неточність визначення основної частоти  $\omega_1 = 3$ , та відсутність ознак присутності частот  $\omega_2 = 0.1$  та  $\omega_3 = 3.1$ . Відповідно до отриманих результатів основним виявленим недоліком є нездатність перетворення Фур'є адекватно виявити частоти, що мають період більший за час спостереження.

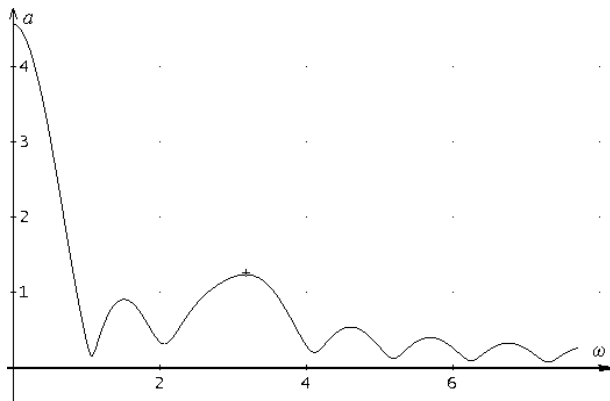


Рис. 1. Частотно-амплітудна діаграма Фур'є перетворення функції  $1-2\sin(3t)+\sin(3.1t)+\cos(0.1t)$

Розклад в ряд Фур'є має ті ж недоліки, але зокрема враховує лише частоти, період яких кратний часу спостереження.

Автокореляційний аналіз також є досить поширеним в пошуках основних частот раціонально кратного періоду спостереження за сигналом. Тут шукається кореляція сигналу з його копією зі зсувом в часі на  $h$ . Відповідно, у випадку наявності періоду  $T = h$ , матимемо локальний максимум кореляції. Графік автокореляційної функції показано на рис. 2.

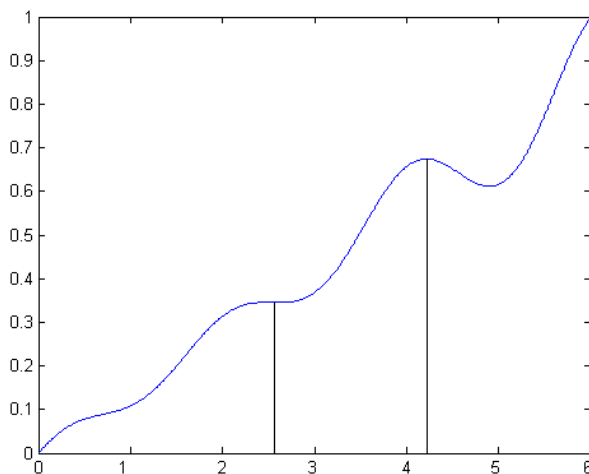


Рис. 2. Результат автокореляційного аналізу функції  $1-2\sin(3t)+\sin(3.1t)+\cos(0.1t)$

Для заданого набору  $g_k(t)$ , шукають наближення:

$$f(x) = \sum_{k=0}^N a_k g_k(t) + Y(t),$$

де  $k$  – індекс сумування,  $a_k$  – шукані коефіцієнти,  $N+1$  – кількість заданих функцій базису,  $Y(t)$  – випадковий шум, що не підлягає апроксимації.

Головним недоліком методики є залежність якості наближення від заданого базису  $g_k(t)$ . Відповідно  $g_k(t)$  повинно бути як можна повним та не містити лінійно (майже) залежні функції. При наявності майже лінійно залежних функцій в базисі наближення, алгоритм дає неправдоподібно великі коефі-

цієнти  $a_k$  (як приклад можна взяти явище биття близьких частот, де проміжок наближення забезпечує віднімання амплітуд, а в процесі екстраполяції – складання).

Генетичні алгоритми за подобою авторегресії вимагають наявності базових функцій  $g_k(t)$ , але до апроксимаційного поліному входять лише деякі з них, що пройшли через "штучний відбір".

Головною ідеєю алгоритму є вибірка підмножини з головної множини апроксимаційних функцій  $g_k(t)$ , що краще відповідають критерію відбору (максимальна кореляція, мінімальне відхилення, мінімальне середньоквадратичне відхилення, тощо). З отриманої підмножини будується повний набір комбінацій нових апроксимаційних функцій  $g_k^*(t)$ . Цикл відбору повторюється до припинення покращення наближення.

Превагою алгоритму є побудова більш простих апроксимаційних поліномів, що дає можливість значно розширити початковий (базисний) набір  $g_k(t)$ . Також генетичні алгоритми більш стійкі до використання майже лінійно залежних функцій в якості базисних.

Виділення частот генетичним алгоритмом проводиться з базисних коливних функцій з наперед заданого частотного проміжку. Точність пошуку напряму залежить від кількості базових функцій та їх частот. Можливе виділення коливних складових з періодом, що значно перевищує час спостереження сигналу.

До недоліків можна віднести залежність якості апроксимації від початкового набору функцій  $g_k(t)$  та, завдяки відкиданням з базису деяких функцій, в більшості отримання не найкращого апроксимаційного наближення в заданому базисі.

Недоліки методу компенсуються значним заощадженням часу розрахунків.

## 2. Послідовне вилучення трендів за допомогою методу найменших квадратів

В основі методики полягає визначення функції  $g(t) = A + B\sin(\omega t) + C\cos(\omega t)$ , що має найменше середнє квадратичне відхилення від  $f(t)$ .

Сам метод найменших квадратів не дає можливості точно знайти  $\omega$ , але ставить однозначну відповідність коефіцієнтів  $A, B, C$  від значення  $\omega$ , що дозволяє будувати функцію середнього квадратичного відхилення:

$$s(\omega) = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} (f(t_i) - g(t_i))^2.$$

Знайдемо часткові похідні  $s(\omega)$  та прирівняємо їх до нуля, утворюючи систему рівнянь, розв'язок якої дає мінімум середньоквадратичного відхилення:

$$s'_A(\omega) = 2A + 2B\sin(\omega t) + 2C\cos(\omega t) - 2f(t) = 0,$$

$$\begin{aligned} s'_B(\omega) &= 2A\overline{\sin(\omega t)} + 2B\overline{\sin^2(\omega t)} + \\ &+ 2C\overline{\sin(\omega t)\cos(\omega t)} - 2\overline{f(t)\sin(\omega t)} = 0, \\ s'_C(\omega) &= 2A\overline{\cos(\omega t)} + 2B\overline{\sin(\omega t)\cos(\omega t)} + \\ &+ 2C\overline{\cos^2(\omega t)} - 2\overline{f(t)\cos(\omega t)} = 0. \end{aligned}$$

Тут для спрощення записів введено позначення середнього арифметичного:

$$\frac{1}{n} \sum_i \theta(t_i) = \overline{\theta(t)},$$

де  $n$  – кількість доданків,  $i$  – індекс сумування,  $\theta(t)$  – вираз, середнє значення якого шукається.

Саме сумування багатьох значень приводить до значного збільшення часу розрахунків, але цей час можна значно зменшити, якщо виміри в часі проводилися з однаковим кроком  $h$ . В цьому випадку суми синусів та косинусів можна визначити за конкретними формулами.

Наведемо вивід загальних формул знаходження середнього арифметичного значень синусів та добутку синуса на косинус. Інші формули виводяться аналогічно.

За формулою Муавра

$$e^{jx} = \cos(x) + j \cdot \sin(x), \text{ де } j = \sqrt{-1},$$

сума:

$$\sum_{i=0}^{n-1} \sin(\omega t_0 + \omega h \cdot i) = \text{Im} \left[ e^{j\omega t_0} \sum_{i=0}^{n-1} (e^{j\omega h})^i \right]$$

є геометричною прогресією з коефіцієнтом  $e^{j\omega h}$ . Тут, якщо взяти замість уявної частини суми дійсну частину, матимемо суму косинусів.

Скориставшись співвідношенням суми геометричної прогресії:

$$\sum_{i=0}^{n-1} \sin(\omega t_0 + \omega h \cdot i) = \text{Im} \left[ e^{j\omega t_0} \frac{e^{j\omega h n} - 1}{e^{j\omega h} - 1} \right].$$

Для отримання остаточної формули для розрахунків повернемося знову до синусів та косинусів залишивши лише уявну, а потім лише дійсну частини:

$$\begin{aligned} \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} \sin(\omega t_0 + \omega h \cdot i) &= \\ &= \frac{\cos(\omega(t_0 - h/2)) - \cos(\omega(t_0 + h(n-1/2)))}{2n \sin(\omega h / 2)}, \\ \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} \cos(\omega t_0 + \omega h \cdot i) &= \\ &= \frac{-\sin(\omega(t_0 - h/2)) + \sin(\omega(t_0 + h(n-1/2)))}{2n \sin(\omega h / 2)}. \end{aligned}$$

За повною аналогією шукаються суми квадратів та добутку синуса на косинус, попередньо використавши тригонометричні перетворення зниження ступеня:

$$\frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} \sin^2(\omega t_0 + \omega h \cdot i) =$$

$$\begin{aligned} &= \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} \frac{1}{2} (1 - \cos(2\omega t_0 + 2\omega h \cdot i)) = \\ &= \frac{1}{2} + \frac{\sin(\omega(2t_0 - h)) - \sin(\omega(2t_0 + h(2n-1)))}{2n \sin(\omega h)}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} \cos^2(\omega t_0 + \omega h \cdot i) &= \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} \frac{1}{2} (1 + \cos(2\omega t_0 + 2\omega h \cdot i)) = \\ &= \frac{1}{2} + \frac{-\sin(\omega(2t_0 - h)) + \sin(\omega(t_0 + h(2n-1)))}{2n \sin(\omega h)}; \end{aligned}$$

$$\frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} \cos(\omega t_0 + \omega h \cdot i) \sin(\omega t_0 + \omega h \cdot i) =$$

$$\begin{aligned} &= \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} \frac{1}{2} \sin(2\omega t_0 + 2\omega h \cdot i) = \\ &= \frac{\cos(\omega(2t_0 - h)) - \cos(\omega(2t_0 + h(2n-1)))}{4n \sin(\omega h)}. \end{aligned}$$

Завдяки таким співвідношенням розрахунок коефіцієнтів для системи рівнянь можна значно пришвидшити, бо замість восьми сум «чесно» рахують лише три суми.

Розв'язком системи рівнянь є значення коефіцієнтів  $A, B, C$ , що визначає функцію мінімуму середнього квадратичного відхилення від частоти  $s(\omega)$ . Мінімум  $s(\omega)$  дає значення циклічної частоти  $\omega$ , при якій середньоквадратичне наближення тригонометричною функцією буде найкращим на проміжку дослідження експериментальних даних.

Пошук мінімуму  $s(\omega)$  проводиться чисельно, але для запобігання впливу паразитних мінімумів, що відображають частоти ортогонального базису Фур'є, початкове розбиття повинно мати крок не більший за  $\frac{2\pi}{3(t_n - t_0)}$  (чотири точки на півперіод).

Для  $1-2\sin(3t)+\sin(3.1t)+\cos(0.1t)$  залежність середнього квадратичного відхилення від частоти матиме вигляд рис. 3.

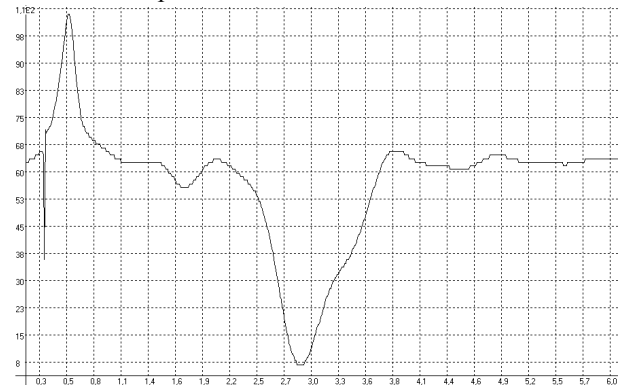


Рис. 3. Середнє квадратичне відхилення апроксимації функції  $1-2\sin(3t)+\sin(3.1t)+\cos(0.1t)$  синусоїдою заданої частоти

Після виділення основного наближення-тренду, шукається різниця

$$f(t_i) - g(t_i),$$

до якої шукають наступний тренд. Результатом є наближення:

$$f(t) \approx \sum_{k=1}^N (A_k + B \sin(\omega_k t) + C_k \cos(\omega_k t)).$$

Характерною рисою, що відрізняє метод від вейвлет та Фур'є перетворення, є відображена наявність значного компонента малої частоти. Саме можливість пошуку таких частот виправдовує значне збільшення обчислень, але послідовне виділення трендів має менший об'єм обчислень, ніж генетичні алгоритми. Також великою перевагою методу є можливість використання нерівномірних в часі вимірювань сигналу.

### 3. Оцінка похибок екстраполяції

Будь яке прогнозування не є абсолютно точним, бо з часом об'єкт дослідження змінює свої параметри, впливають похибки вимірювань та завади. Тому важливою частиною процесу прогнозування є оцінювання похибки прогнозу, що дає змогу для систем керування підготувати меншу кількість запобіжних заходів.

### 4. Імовірнісна оцінка похибки прогнозування

Якщо процес є ергодичним, то для нього справедливе співвідношення:

$$\tau_p = \frac{1}{R_y(0)} \int_0^{\infty} |R_y(s)| ds.$$

Тут  $\tau_p$  – порядок часу, на який має сенс прогнозування процесу, а:

$$R_y(s) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} y(x)y(x-s) dx - \left( \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} y(x) dx \right)^2$$

є кореляційною функцією досліджуваного сигналу.

При проведенні пошуку рівняння регресії у вигляді тригонометричного багаточлену дістанемо середнє квадратичне відхилення  $s(\omega_k)$  і, також, таблицю функції відхилень наближення від еталонних значень  $f_{k+1}(t_i)$ . Якщо прийняти відхилення  $f_{k+1}(t_i)$  випадкову величину, що підпорядкована нормальному закону розподілу з нульовим математичним сподіванням та середнім квадратичним відхиленням  $s(\omega_k)$ , можна оцінити час надійного прогнозування. Нехай допустима норма відхилення реального сигналу від прогнозу є  $b$ , ймовірність того що ця норма не буде перевищена є  $P_H$ , тоді ймовірність отримання прогнозу в межах допустимих значень буде:

$$P_H \leq \left( \frac{1}{\sqrt{2\pi \cdot s(\omega_k)}} \int_{-b}^b \exp(-l^2 / (2s(\omega_k))) dl \right)^n,$$

де  $n$  – кількість кроків прогнозу;  $l$  – змінна інтегрування. В цьому випадку час прогнозування  $t_H = hn$ , з ймовірністю  $P_H$  є надійним для дозволеного відхилення  $[-b; b]$ .

Така оцінка похибки є не гарантованою і у більшості випадках сильно завищеною.

### 5. Оцінка похибки апроксимації та екстраполяції за допомогою узагальненого ряду Тейлора

Узагальненням ряду Тейлора є рівність:

$$f(t) = f(t_0)v_0(t-t_0) + f'(t_0)v_1(t-t_0) + \dots + f^{(n)}(t_0)v_n(t-t_0) + \int_{t_0}^t F(\tau)v_n(t-\tau)d\tau,$$

де  $f(t)$  – функція, яку наближають,  $v_i(t-t_0)$  – розв'язки деякого лінійного диференціального рівняння  $D[v] = 0$  порядку  $N$  з початковими умовами  $v_i^{(k)}(t-t_0) = \delta_{i,k}$ . Тут  $\delta_{i,k} = 1$  при  $i = k$ , інакше  $\delta_{i,k} = 0$ .  $F(t)$  – результат дії диференціального оператора  $D[\ ]$  на  $f(t)$ .

Нехай функція  $f(t)$  представлена вибіркою в часі  $f_i$  повністю, тобто виконуються умови Котельнікова-Найквіста. Існує наближення лінійно незалежними функціями:

$$f(t) \approx \sum_{k=1}^N a_k g_k(t),$$

де кожній функції  $g_k(t)$  відповідає диференціальний оператор  $D_k[\ ]$  мінімального порядку. Оператор  $D[\ ]$  має характеристичне рівняння, що є добутком всіх характеристичних рівнянь операторів  $D_k[\ ]$ . Тому існує еквівалентне наближення за узагальненням ряду Тейлора, і  $v_i(t-t_0)$  є лінійною комбінацією

$$v(t-t_0) = \sum_{k=1}^N a_k^* g_k(t).$$

В результаті:

$$f(t) - \sum_{k=1}^N a_k g_k(t) = \int_{t_0}^t F(\tau)v_N(t-\tau)d\tau,$$

де  $v_N(t-t_0)$  шукається як розв'язок задачі Коші  $D[v] = 0$ ,  $v(0) = 0$ ,  $v'(0) = 0$ , ...,  $v^{(N)}(0) = 1$ . Залишається питання про вибір  $t_0$ , але за властивостями інтегралу можна його розкласти на складові:

$$f(t) - \sum_{k=1}^N a_k g_k(t) =$$

$$\int_{t_0}^{t_n} F(\tau)v_N(t-\tau)d\tau + \int_{t_n}^t F(\tau)v_N(t-\tau)d\tau.$$

Значення інтегралу в межах  $[t_0; t_n]$  знаходиться як різниця між виміряним значенням та наближенням, позначимо її  $\Delta_n$ .

За теоремою про середнє, існує таке  $\epsilon$ , що:

$$f(t) - \sum_{k=1}^N a_k g_k(t) = \Delta_n + F(\epsilon) \int_{t_n}^t v_N(t-\tau) d\tau.$$

Як результат, оцінкою похибки прогнозування  $R(t)$  є:

$$|R(t)| \leq |\Delta_n| + \max(|F(t)|) \cdot \left| \int_{t_n}^t v_N(t-\tau) d\tau \right|,$$

при припущенні подальшого обмеження  $F(t)$  на час прогнозування, що цілком істотно для майже стаціонарних сигналів.

У випадку наближенням описаним вище, модуль значень функції  $v_N(t)$  обмежений, тому обмеження похибки прогнозування зростає пропорційно терміну прогнозування. Функція є:

$$v_N(t) = A_0 + \sum_{k=1}^N (B_k \sin(\omega_k t) + C_k \cos(\omega_k t)).$$

З врахуванням початкових умов можна прирівняти відповідні похідні до нуля та похідну порядку  $N$  до одиниці та визначити невідомі коефіцієнти  $A, B, C$ :

$$A_0 + \sum_{k=1}^N C_k = 0; \quad \sum_{k=1}^N \omega_k B_k = 0; \quad \sum_{k=1}^N \omega_k^2 C_k = 0; \quad \dots$$

$$\sum_{k=1}^N (B_k \sin^{(2N+1)}(\omega_k t) + C_k \cos^{(2N+1)}(\omega_k t)) = 1.$$

Це дає можливість визначити обмеження

$$|v_N(t)| \leq |A_0| + \sum_{k=1}^N (\sqrt{B_k^2 + C_k^2}).$$

Тоді більш грубою оцінкою похибки прогнозування є:

$$|R(t)| \leq |\Delta_n| + \max(|F(t)|) \cdot \left( |A_0| + \sum_{k=1}^N \sqrt{B_k^2 + C_k^2} \right) t.$$

Особливістю оцінки  $R(t)$  є універсальність, лише необхідною умовою є повнота представлення функції  $f(t)$  за теоремою Котельнікова-Найквіста та належність базису функцій  $g_k(t)$  до повної множини лінійно незалежних розв'язків деякого диференціального рівняння  $D[g_k(t)] = 0$ .

## 6. Використання результатів

Сигналом для дослідження взято функцію  $3+2 \cdot \sin(0.9 \cdot t)$  з випадковою похибкою на проміжку  $[0;3]$  (рис. 4).

Перетворення Фур'є такого сигналу показано на рис. 5, з якого можна зробити висновок про нездатність методу виділення низьких частот сигналу. Отриманий спектр потужності частотних складових має інформацію лише про шумові складові.

Кращі результати що до виділення частот на цьому прикладі дав автокореляційний аналіз, який показав наявність складової частоти 10 Гц ( $\omega \approx 0.628$ ), але пік відповідності є дуже невиразним (рис. 6). Більш виразна наявність частоти в 10 Гц показало інтегральне вейвлет перетворення (вейвлет Морле, рис. 7).

Частотний аналіз за допомогою критерію найменшого квадратичного відхилення, фрагмент графіку якого показано на рис. 10, показав найкраще наближення при  $\omega = 1.07$ , що хоч не набагато, але краще за інтегральне вейвлет перетворення (для якого ще потрібно підібрати вейвлет-твірну функцію; вейвлет Хаара дає нечітку визначеність довгоперіодичного сигналу з двічі перевищеним результатом, рис. 9).

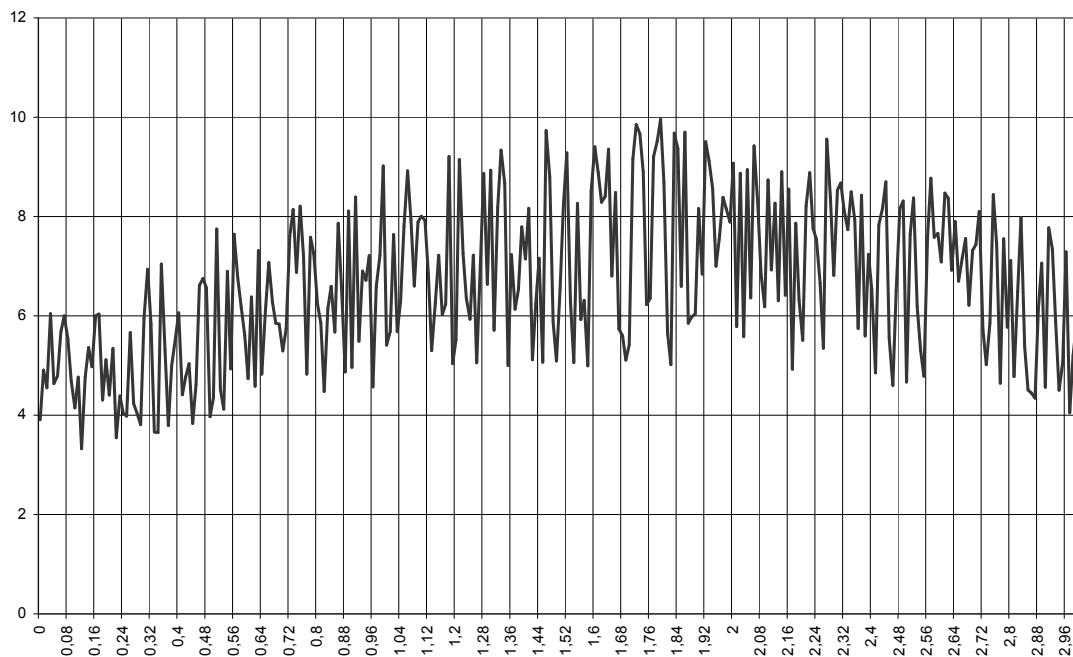


Рис. 4. Результат вимірювання сигналу  $3+2 \cdot \sin(0.9 \cdot t)$  з значною похибкою

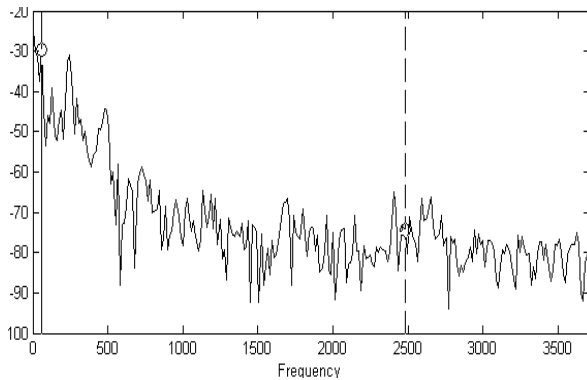


Рис. 5. Перетворення Фур'є сигналу  $3+2\cdot\sin(0.9\cdot t)$  зі значними завадами

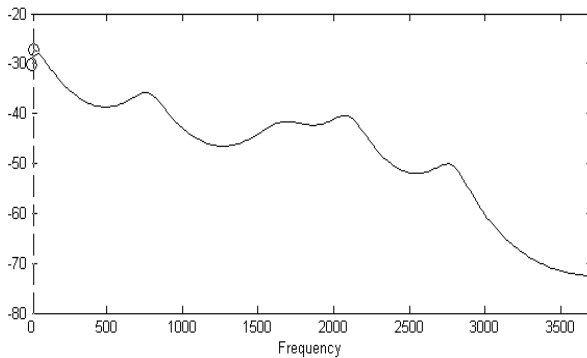


Рис. 6. Автокореляційний аналіз сигналу  $3+2\cdot\sin(0.9\cdot t)$  зі значними завадами

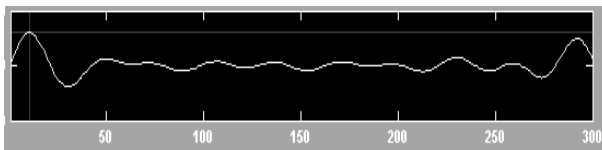


Рис. 7. Інтегральне вейвлет перетворення сигналу  $3+2\cdot\sin(0.9\cdot t)$  зі значними завадами (вейвлет Морле)

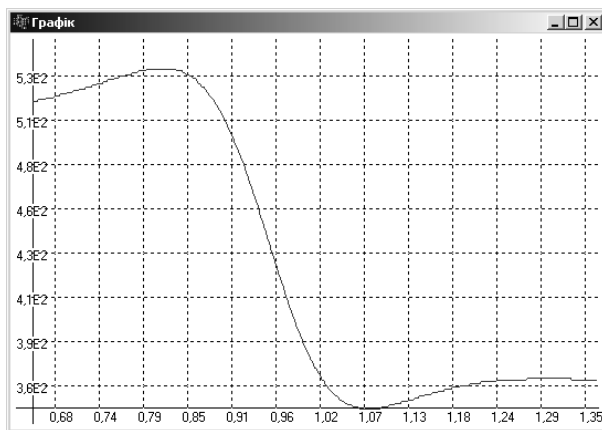


Рис. 8. Пошук відповідності частот сигналу  $3+2\cdot\sin(0.9\cdot t)$  зі значними завадами методом найменших квадратів

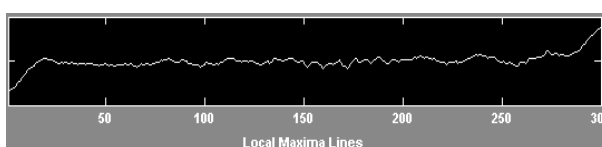


Рис. 9. Інтегральне вейвлет перетворення сигналу  $3+2\cdot\sin(0.9\cdot t)$  зі значними завадами (вейвлет Хаара)

## 7. Використання результатів для прогнозування навантаження телекомунікаційних систем

Розроблена методика використана для автоматизованого прогнозування навантаження на сервер телекомунікаційної мережі, за погодинним об'ємом трафіку.

На рис. 10 показано динаміку навантаження на сервер телекомунікаційної мережі окремо по вихідному та вхідному каналах. Для наочності надійності прогнозування на базі даних за 200 годин функціонування побудовано прогноз, який показано на рис. 11.

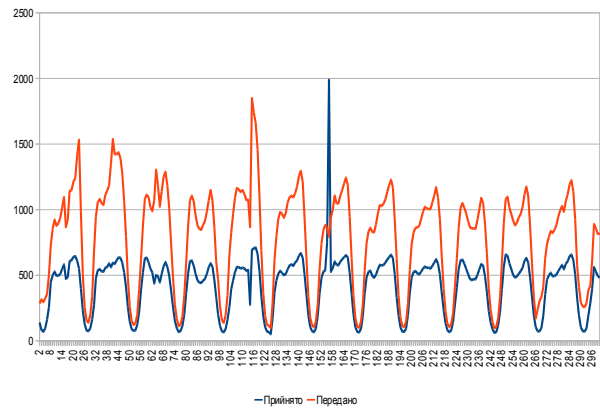


Рис. 10. Графік обсягу вхідного/вихідного трафіку серверу телекомунікаційної мережі погодинно

На більш довготривалих прогнозах система також успішно прогнозує збільшення трафіку під час вихідних днів. На основі довготривалих прогнозувань, адміністратори серверу оперативно мають об'єктивні прогнози розвитку популярності телекомунікаційного ресурсу. Результати прогнозування до впровадження системи опиралися на суб'єктивні судження експертів.

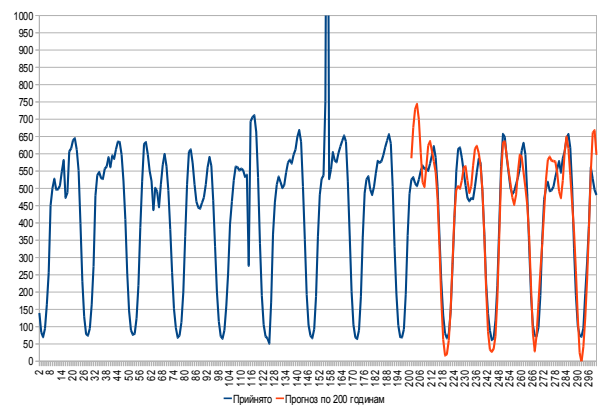


Рис. 11. Погодинний прогноз навантаження по базі в 200 годин

## Висновки

Проведені дослідження показали, що головними характеристиками, що впливають на якість передачі даних у телекомунікаційній мережі, являються

достовірність, своєчасність та оперативність. При цьому, задача забезпечення потрібної якості передачі даних трансформується в оптимізаційну задачу вигляду:

$$\left\{ T \rightarrow \min, \text{ при } P_{\text{перекр}} \leq P_{\text{перекр}_{\text{доп}}}, Q_c \geq Q_{\text{доп}} \right\},$$

де  $P_{\text{перекр}_{\text{доп}}}$  – допустима імовірність перекручень інформаційних пакетів в процесі передачі;  $Q_{\text{доп}}$  – допустима імовірність прийому інформаційного пакету за час  $T$ , не перевищуючи допустимий;  $Q_c$  – імовірність доставки інформаційних пакетів до адресата за час не перевищуючий допустимий;  $P_{\text{перекр}}$  – імовірність перекручень інформаційних пакетів в процесі передачі.

Визначено, що дану задачу можливо вирішити шляхом удосконалення алгоритмів і процедур управління ресурсами телекомунікаційних мереж.

Одним із ефективних напрямків такого удосконалення являється розробка і застосування методів маршрутизації передачі даних у телекомунікаційних мережах.

У результаті проведених досліджень можливо зробити наступні висновки:

1. Розроблено новий алгоритм регресійного аналізу квазіперіодичних процесів, у вигляді яких представляються коливання трафіку у телекомунікаційній мережі.

2. Створено програмне забезпечення, яке реалізує розроблений алгоритм.

3. Підтверджено ефективність використання алгоритму в задачах частотного аналізу та побудови прогнозів завантаженості серверу телекомунікаційної мережі.

4. Визначено оцінки граничних похибок інтеполяції та екстраполяції.

Усі вищеперераховані результати дозволяють підвищити оперативність передачі даних у телекомунікаційній мережі.

## Список літератури

1. Кононенко В.О. Колебательные системы с ограниченным возбуждением / В.О. Кононенко. – М.: Наука, 1964. – 232 с.
2. Блатер К. Вейвлет-анализ. Основы теории / К. Блатер. – М.: Техносфера, 2004. – 274 с.
3. Марчук Г.И. Методы вычислительной математики / Г.И. Марчук. – М.: Наука, 1989. – 608 с.
4. Филер З.Е. Обобщение формулы Тейлора, Ньютона и Лагранжа и их применение к решению дифференциальных и разностных уравнений / З.Е. Филер // Приближенные методы исследования дифференциальных уравнений и их приложения. – Куйбышев: Куйбышевский государственный университет, 1982. – С. 147-157.
5. Кононович Э.В. Частотно-временной анализ рядов солнечной активности / Э.В. Кононович, И.В. Мирнова, В.А. Батулин // Электронный научный журнал «Исследовано в России», URL: <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2006/182.pdf>, 2005г.
6. Дреев О.М. Аппроксимация та прогноз майже періодичних процесів / О.М. Дреев, З.Ю. Філер // Наукові записки. Серія: математичні науки. – Кіровоград: РВВ КДПУ ім. Винниченка, 2006. – Випуск 65. – С. 50-56.
7. Смирнов А.А. Анализ и сравнительное исследование перспективных направлений развития цифровых и телекоммуникационных систем и сетей. / А.А. Смирнов, В.В. Босько, Е.В. Мелешко // Системы обработки информации. – Х.: ХУПС, 2008. – Вип. 7 (74). – С. 120-123.
8. Смирнов А.А. Разработка методики оценки среднего времени обслуживания информационных пакетов в телекоммуникационной сети / А.А. Смирнов, В.В. Босько, Е.В. Мелешко // Системы управления, навигации та зв'язку. – К.: ДП «ЦНДІНУ», 2009. – Вип. 2(10). – С.162-165.
9. Мелешко Е.В. Математическая модель подсистемы управления и обслуживания в многопротокольном узле святы / Е.В. Мелешко // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – Х.: ХУПС, 2010. – Вип. 4(26). – С. 124-128.

Надійшла до редколегії 7.03.2012

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. О.О. Кузнецов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

### МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗАГРУЖЕННОСТИ СЕРВЕРА ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ

А.Н. Дреев, А.А. Смирнов, Е.В. Мелешко, А.В. Коваленко

*В работе использован феноменологичный подход к анализу квазипериодических квазистационарных процессов, к которым можно отнести динамику нагрузки сервера телекоммуникационной сети. Выявление значительных колеблющихся составляющих разрешает строить объективные прогнозы загрузки сервера телекоммуникационной сети.*

**Ключевые слова:** телекоммуникационная сеть, сервер, прогнозирование, экстраполяция, квазистационарный процесс.

### THE METHOD OF THE FORECASTING TO UTILISED CAPACITY OF THE SERVER TO TELECOMMUNICATION NETWORK

A.N. Dreyev, A.A. Smirnov, E.V. Meleshko, A.V. Kovalenko

*In work is used phenomenology approach to analysis of the quasiperiodic quasistationary processes, to which possible refer the speaker of the load of the server to telecommunication network. Discovery significant fluctuating component allows to build the objective forecasts to utilised capacity and value reliability of the forecasting to utilised capacity of the server to telecommunication network.*

**Keywords:** telecommunication network, server, forecasting, extrapolation, quasistationary process.