

О. О. Архипова

ДОСЛІДЖЕННЯ КОРЕЛЯЦІЙНОГО МЕТОДУ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ МАСКУВАННЯ МОВНОГО СИГНАЛУ

В статті розглянутий кореляційний метод оцінки ефективності адитивного маскування мовного сигналу. Проведено експериментальні дослідження параметра ефективності маскування методом кореляційної обробки спектральної щільності потужності маскуючого й тестового сигналів для української мови. Оцінена адекватність методу обробки.

ВСТУП. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Як правило, гарантований захист мовного сигналу (МС) від несанкціонованого доступу (НСД) не може бути забезпечений виконанням тільки пасивних засобів захисту. У таких ситуаціях необхідно використати активні засоби захисту, що полягають у створенні додаткових акустичних завад у каналах витоку інформації. У результаті раніше проведених досліджень [1, 2] відзначена більш висока ефективність сигналів маскування (СМ) зі спектром «рожевого шуму» в порівнянні із рекомендованими [3] сигналами зі спектром «білого шуму». Однак виконати об'єктивний порівняльний аналіз результатів проведених досліджень неможливо, тому що їх не можна порівняти за методикою випробувань, ідентичністю артикуляційної бригади й відсутності адекватної математичної моделі СМ.

При проектуванні систем технічного захисту мовної інформації від витоку по каналах НСД засобів технічної розвідки супротивника основним параметром, що визначає, як показник ефективності, так і категорію захисту, є залишкова словесна розбірливість. Розрахунок даного параметра проводиться, покладаючись на наступні припущення, які, на нашу думку [4, 5], погіршують точність оцінки параметра ефективності маскування.

1. Інформаційне. Запропоновані методи використовують тестовий сигнал і сигнал маскування, в яких відсутня інформаційна складова. Вважають, що процес на виході тракту реєстрації засобів технічної розвідки супротивника є випадковим з рівномірною спектральною щільністю потужності в межах кожної октавної смуги («білий шум»). Також використовують окремі гармоніки, так звані «рожевий шум» (шум з тенденцією спаду спектральної щільності 3 дБ на октаву у бік високих частот), якому відповідають сигнали промислового генератора ANG2200.

© Архипова О. О., 2009

Наявність інформаційної складової в заваді ускладнює методи підвищення якості й розбірливості мови, тому що в основі багатьох методів (методи, засновані на використанні статистичних моделей мовного сигналу у часовій області; адаптивні компенсатори перешкод; методи, засновані на використанні окремих характерних властивостей мовного сигналу й оцінці спектральних характеристик шуму) лежить припущення про некорельованість маскуючого і інформативного (мовного) сигналів.

2. Статистичне. Мовний сигнал (з врахуванням фрікативних і вибухових фонем) являє собою випадковий процес, тому прийняте припущення про стаціонарність мовного сигналу на інтервалі порядку десятків секунд є неправомірним, оскільки квазістаціонарним можна вважати реалізації мовного сигналу в інтервалі часу $T_p = 15\text{--}27$ мс [6];

3. Методичне. У методиках оперують амплітудним спектром сигналу, вважаючи, що в точку каналу НСД приходить плоске акустичне поле з активним акустичним опором рецептора тиску, що можливо тільки для моногармонічних сигналів. Через те, що мовний сигнал є складним (хвильовим пакетом), у диспергуючому середовищі (повітрі) він розпливається, оскільки швидкості його монохроматичних складових відрізняються одна від одної ($v_{gr} = \frac{d\omega}{dk}$). Фізичний зміст має спектральна щільність потужності (СЩП), що характеризує осереднену на інтервалі T_p енергію сигналу.

У рамках напрямку досліджень, у якості актуальних можна виділити наступні завдання: провести експериментальні дослідження параметра ефективності адитивного маскування мовного сигналу методом кореляційної обробки СЩП маскуючого і тестового сигналів для української мови, що усуває вище вказані недоліки [4]; по результатах досліджень оцінити адекватність методу обробки.

ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

Для оцінки подібності між досліджуваними інформаційним $si(\Delta\omega, t)$ й маскованим $sni(\Delta\omega, t)$ сигналами, застосуємо метод кореляційного аналізу спектральної щільності потужності (СЩП), коефіцієнт кореляційного відношення Пірсона:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^M (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^M (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^M (y_i - \bar{y})^2}}, \quad (1)$$

де x і y – досліджувані СШП інформаційного $s_i(\Delta\omega, t)$ й замаскованого $sn(\Delta\omega, t)$ сигналів, відповідно, \bar{x} і \bar{y} – їх вибіркові середні значення, розраховані (для x) як $\bar{x} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M x_i$.

Таким чином, у якості об'єктивного параметра семантичної адекватності сигналів, що визначає відповідність наявних у виділеному приміщенні й одержаних засобами технічної розвідки супротивника сигналів, можна прийняти коефіцієнт кореляційного відношення Пірсона, визначений відповідно до формули (1).

Розрахунок відношення сигнал – завада $S/N(\Delta\omega, t)$ [3] виконується за формулою

$$S/N(\Delta\omega, t) = 10 \lg \frac{\int_{\omega_H}^{\omega_B} N_{s_i}(\Delta\omega, t) d\omega}{\int_{\omega_H}^{\omega_B} N_{s_n}(\Delta\omega, t) d\omega}, \quad \omega \in [\omega_B, \omega_H], \quad (2)$$

де $\Delta\omega$ – ефективна смуга частот; $N_{s_i}(\Delta\omega, t)$, $N_{s_n}(\Delta\omega, t)$ – спектральні щільності потужності інформаційного

$s_i(\Delta\omega, t)$ й замаскованого $sn(\Delta\omega, t)$ сигналів відповідно. За теоремою Вінера – Хінчіна:

$$N(\Delta\omega, t) = \frac{1}{T_p} \int_0^{T_p} \int_0^{T_p} s(\Delta\omega, t) s(\Delta\omega, t + \tau) e^{i\omega\tau} dt d\tau, \quad (3)$$

де $s(\Delta\omega, t)$ – досліджуваний процес.

Досліджувані сигнали $s(\Delta\omega, t)$ представимо моделю у вигляді впорядкованого набору реалізацій на інтервалі $T_p = 23$ мс, $t_i = t_{i-1} + T_p$:

$$s(\Delta\omega, t) = \sum_{i=1}^N s_i(\Delta\omega, t), \quad (4)$$

$$s_i(\Delta\omega, t) = \begin{cases} s(\Delta\omega, t), & t_{i-1} < t \leq t_i, \\ 0, & t < t_{i-1} \cup t > t_i, \end{cases} \quad i = \overline{1, N}.$$

Алгоритм роботи програми цифрової обробки маскованого і тестового сигналів для обчислення коефіцієнту кореляції можна представити у вигляді, вказаному на рис. 1.

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Методика передбачає розрахунок коефіцієнта кореляції (1), його математичного сподівання та дисперсії для 25 вибраних українських слів при зміні

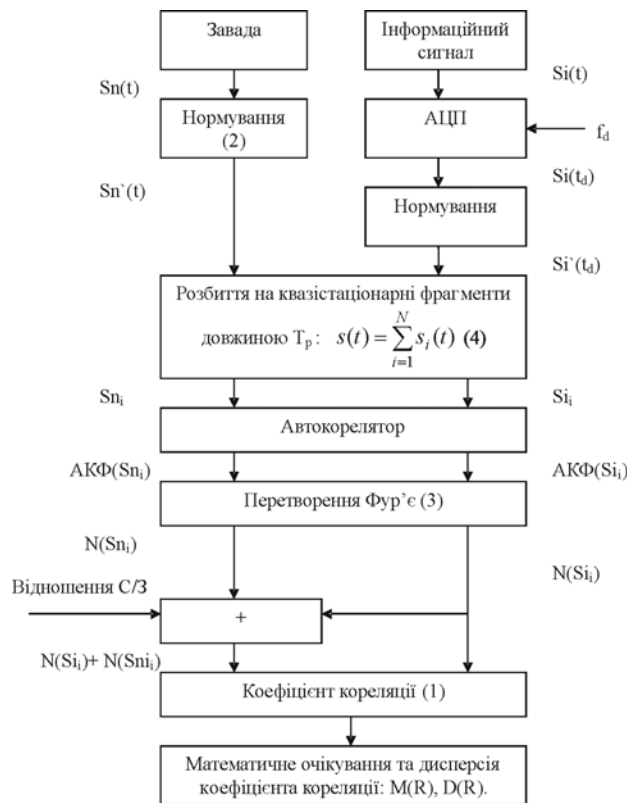


Рисунок 1 – Алгоритм роботи програми

інтегрального відношення сигнал – завада (2) від 10 до -25 дБ. Контрольні слова промовляються трьома дикторами: чоловіком та двома жінками. Для української мови немає артикуляційних таблиць, тому слова для дослідження вибиралися з артикуляційних таблиць, складених для російської мови [7], і перекладалися на українську, без врахування частоти використання фонем. У якості мовного сигналу аналізуються контрольні слова, зазначені у табл. 1.

Аналіз сигналів проводився на персональному комп'ютері з діапазоном квантування 16 біт і частотою дискретизації $f_s = 44,1$ кГц. Частотний діапазон сигналів не обмежений фільтрацією. Програмування алгоритму метода кореляційної обробки проводиться в середовищі MatLab 6.5.

В якості сигналу маскування $sn(\Delta\omega, t)$ досліджувалися два випадкові процеси: зі спектральною щільністю потужності «білого шуму» («НГ»), що формувався стандартною процедурою пакета MatLab, і сиг-

Таблиця 1 – Контрольні слова

1) літо	6) японець	11) сало	16) невже	21) марганцевий
2) п'ятсот	7) чорниця	12) позиція	17) теоретичний	22) паління
3) мова	8) зовнішній	13) скарга	18) виправляти	23) прохолода
4) квітка	9) відновлення	14) пухнастий	19) змія	24) вовк
5) човник	10) село	15) пошта	20) травичка	25) гарбуз

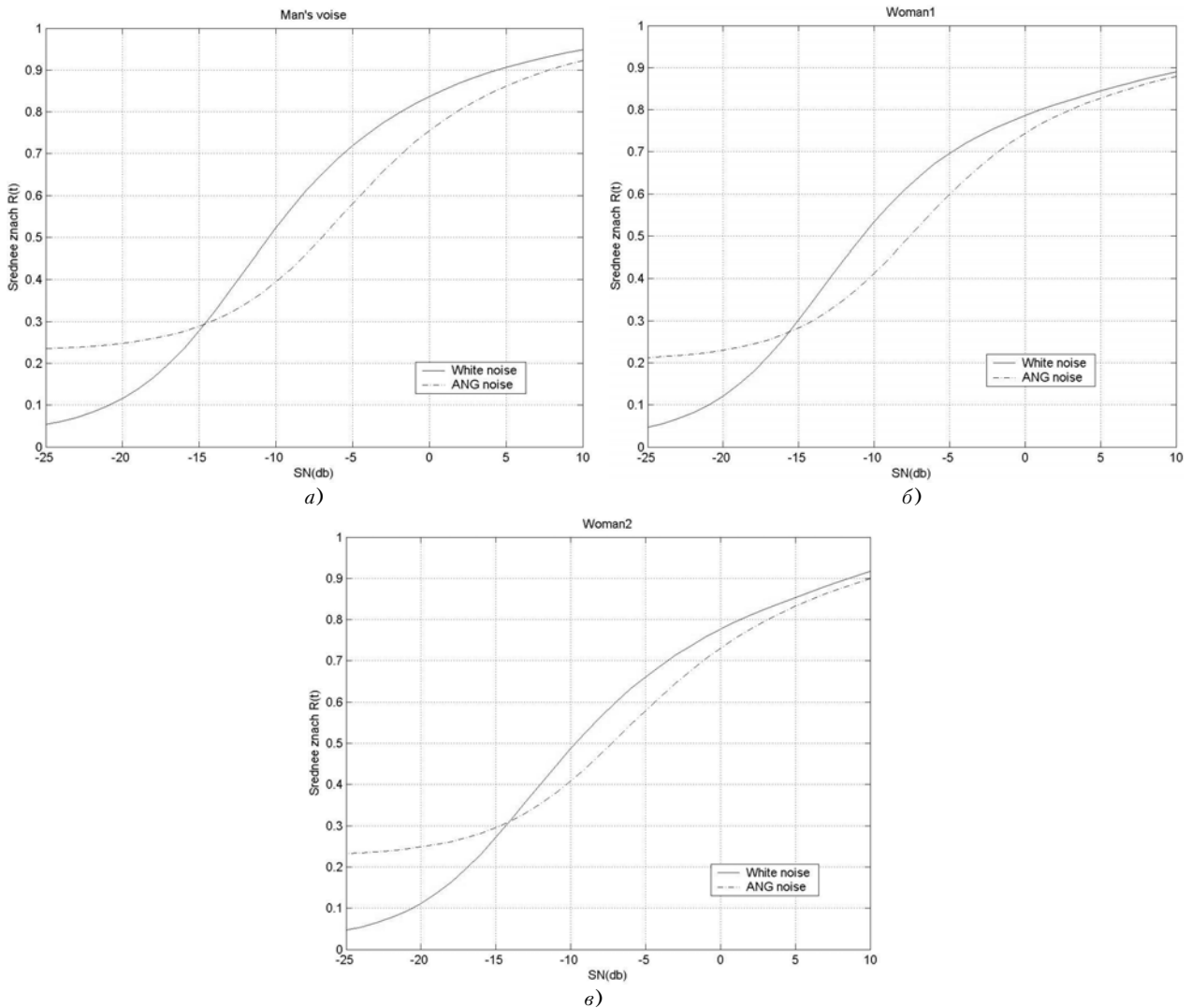


Рисунок 2:

a – чоловічий голос, маскуючі сигнали «білий шум» та «Ang»; б – жіночий голос 1, маскуючі сигнали «білий шум» та «Ang»; в – жіночий голос 2, маскуючі сигнали «білий шум» та «Ang»

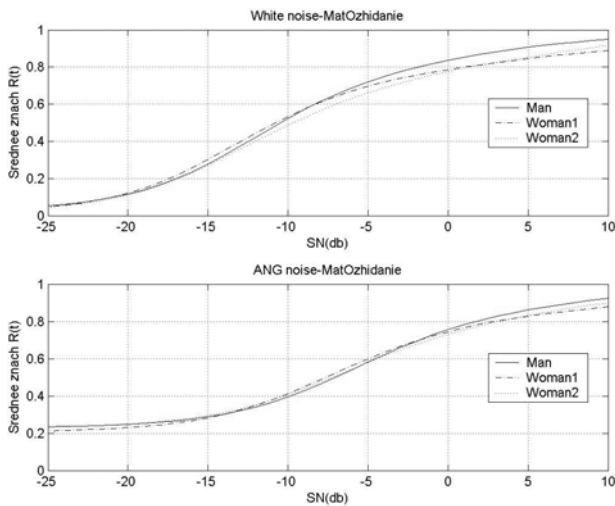


Рисунок 3 – Осереднені значення коефіцієнта кореляції по всім контрольним словам трьох дикторів для двох сигналів завад

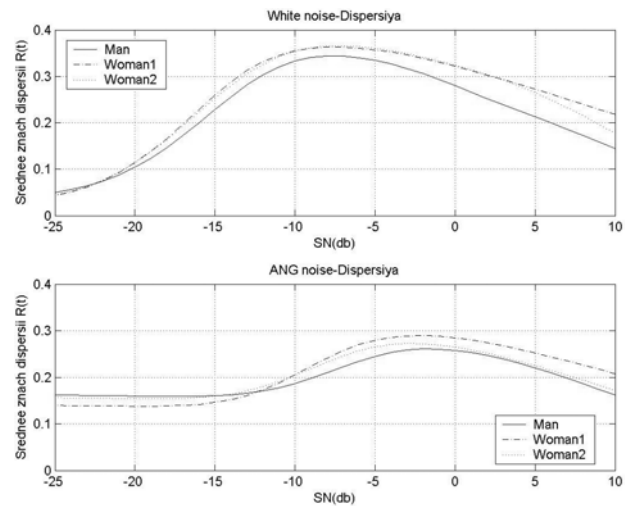


Рисунок 4 – Осереднені значення дисперсії коефіцієнта кореляції по всім контрольним словам трьох дикторів для двох сигналів завад

нал промислового генератора типу «ANG2200» («Ang»). Маскування сигналу $si(\Delta\omega, t)$ виконується на інтервалі тривалості контрольного слова методом адитивного (в спектральній області) маскування: $sn_i(\Delta\omega, t) = si(\Delta\omega, t) + sn(\Delta\omega, t)$. На кожному інтервалі T_p розраховувалися точкові оцінки коефіцієнта кореляції $r(SN)$ (1).

Осереднені значення коефіцієнта кореляції $M(r(t))$ по всім контрольним словам трьох дикторів для двох сигналів завад при зміні інтегрального параметра сигнал – завада від 10 до -25 дБ подані на рис. 2.

Для порівняння осереднених значень коефіцієнту кореляції для різних дикторів, побудовано залежності на одному графіку (рис. 3, 4).

Виходячи з рисунків, можна зробити висновки про те, що маскуючий сигнал «Ang» більш ефективний, ніж «білий шум», особливо на ділянці відношення сигнал – завада -15...+5 дБ (спостерігаємо швидший спад коефіцієнта кореляції для слів, що маскуються завадою «Ang», особливо для вокалізованих звуків). Форма залежностей відрізняється для чоловіків та жінок: маскування «білим шумом» ефективніше для жіночих голосів ніж для чоловічого. На ділянках невокалізованих звуків та низьких відношень сигнал – завада спостерігаємо більші значення коефіцієнта кореляції для завади «Ang» через те, що завада корелює з інформаційним сигналом.

Характеристики залежності коефіцієнта кореляції $r = f(SN, T_a)$ відрізняються для різних дикторів, що особливо помітно для значень дисперсії коефіцієнта кореляції. Цей факт вказує на кореляційні зв'язки мовного та маскуючого сигналів, часові характеристики яких впливають на ефективність інформаційного маскування.

Артикуляційні випробування мають такі недоліки, як трудомісткість та суб'єктивність експертної оцінки, яка залежить від терміну тренування, втоми, середнього віку й індивідуальних акустичних характеристик мови й слуху членів бригади. Проте необхідно перевірити адекватність методу артикуляційними випробуваннями, які є найприроднішою мірою якості передачі мовного сигналу, для виявлення зв'язку між поведінкою значень дисперсії коефіцієнта кореляції та розбірливістю мови, що вимагає додаткових досліджень.

ВИСНОВКИ

Проведено експериментальні дослідження ефективності маскування методом кореляційного аналізу 25 українських слів промовлених трьома дикторами та розроблено методику досліджень. Параметр ефективності маскування $r = f(T_a)$, визначений відповідно до виразу (1), є мірою оцінки зв'язку між досліджуваними інформаційним сигналом $si(\Delta\omega, t)$ й маскованим сигналом $sn_i(\Delta\omega, t)$.

Визначено більшу ефективність для української мови завади промислового генератора «ANG2200» ніж «білого шуму».

Спад інформаційної компоненти (коефіцієнта кореляції) спостерігається при значеннях сигнал – завада 0 дБ для завади «ANG2200» та -4 дБ для «білого шуму», що може бути непрямим підтвердженням адекватності запропонованого методу [8, 9].

Адекватність метода до загальноприйнятих параметрів словесної розбірливості можна оцінити проведенням артикуляційних випробувань за стандартною методикою для української мови.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Дворянкин С. В. Обоснование критериев эффективности защиты речевой информации от утечки по техническим каналам / Дворянкин С. В., Макаров Ю. К., Хорев А. А. // Защита информации. INSIDE. – 2007. – № 2. – С. 18–25.
2. Хорев А. А. Оценка эффективности защиты информации от утечки по техническим каналам / Хорев А. А. // Специальная техника. – 2007. – № 1. – С. 51–64.
3. НД ТЗІ-Р-001-2000. Засоби активного захисту мовної інформації з акустичними та віброакустичними джерелами випромінювання. Класифікація та загальні технічні вимоги. – [Чинний від 2000-04-12]. – Київ : ДСТСЗІ СБ України, 2000. – 23 с.
4. Журавлев В. Н. Анализ метода расчета параметра эффективности маскирования речи в технических каналах утечки / Журавлев В. Н., Архипова Е. А. // Радиоэлектроника, информатика, управління. – 2007. – № 15. – С. 57–64.
5. Архипова О. О. Метод розрахунку функції ефективності маскування мови / О. О. Архипова // Теоретичні і прикладні проблеми фізики, математики та інформатики : VI Всеукр. наук.-практ. конф, 18 квітня 2008 р. : тези доповідей. – К., 2008. – С. 76–77.
6. Цвикер Э. Ухо как приемник информации : пер. с нем. / Цвикер Э., Фельдкеллер Р. ; под редакцией Б. Г. Белкина. – М. : Связь, 1971. – 255 с.
7. Покровский Н. Б. Расчет и измерение разборчивости речи / Покровский Н. Б. – М. : Связьиздат, 1962. – 392 с.
8. Прокофьев М. И. Анализ результатов артикуляционных и сегментальных испытаний сигналов маскирования речи / Прокофьев М. И., Журавлев В. Н. // Правове, нормативне та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні. – 2006. – № 13. – С. 14–23.
9. Вемян Г. В. Передача речи по сетям электросвязи / Вемян Г. В. – М. : Радио и связь, 1985. – 272 с.

Надійшла 1.10.2008

В статье рассмотрен корреляционный метод оценки эффективности аддитивного маскирования речевого сигнала. Проведены экспериментальные исследования параметра эффективности маскирования методом корреляционной обработки спектральной плотности мощности маскирующего и тестового сигналов для украинского языка. Оценена адекватность метода обработки.

In the paper the correlation method of effectiveness estimation of verbal signals addition masking is considered. The experimental researches of mask-ing effectiveness parameter by the method of correlation processing of spectral density of the masking and test signals power for the Ukrainian language is performed. The adequacy of processing method is estimated.

УДК 519.711

В. С. Бабков

МОДИФІКАЦІЯ ІЄРАРХІЧНОГО МЕТОДУ RBF ДЛЯ ОТРИМАННЯ 3D-МОДЕЛЕЙ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ЛАЗЕРНОГО СКАНУВАННЯ

У роботі розглядається задача побудови поверхні у просторі 3D на основі даних тривимірного лазерного сканування. Викладено сутність модифікованого алгоритму, який базується на методі ієрархічної RBF, але адаптований до тривимірного простору і має покращенні часові характеристики. Ефективність методу підтверджено експериментально.

ВСТУП

У наш час у багатьох галузях науки і техніки важливу роль відіграє використання тривимірних комп'ютерних моделей, побудованих за результатами дослідження реальних об'єктів складної форми. Подібна задача виникає, наприклад, у таких випадках: пошук дефектів у структурі об'єктів, вивчення внутрішньої структури об'єкта без його руйнування, відновлення об'єкту за неповними даними, побудова тривимірних моделей рухливих об'єктів у реальному часі; оцінка, реконструкція і проектування великих промислових об'єктів і ділянок місцевості.

Існує велика кількість методів одержання проєкційних даних для побудови тривимірних моделей. Загальна риса цих методів – видача результатів сканування у вигляді «хмари» точок, що описують по-

верхню об'єкта або системи взаємопов'язаних об'єктів. Зокрема при одержанні проєкційних даних про досить великі об'єкти складної форми (інженерні споруди, будинки, ділянки місцевості) застосовується метод лазерного сканування зовнішньої поверхні [1].

АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ

За результатами аналізу алгоритмів та методів побудови тривимірних поверхневих моделей реальних об'єктів за проєкційними даними, який було зроблено у [2], можна виділити наступні етапи обробки, які здійснюють найбільший внесок у загальний час реконструкції:

- розрахунок функції RBF для всіх пар проєкційних точок;
- розв'язання системи лінійних рівнянь великої розмірності;
- обчислення поверхні за допомогою інтерполянта.

На кожному з цих етапів обчислювальна складність та час виконання операцій визначаються значенням N – кількістю проєкційних точок.

Проаналізувавши відомі методи побудови поверхневих моделей, можна зробити висновок, що змен-

© Бабков В. С., 2009