



## ОБРОБКА ДАНИХ В ОПТОЕЛЕКТРОННІЙ СИСТЕМІ КОНТРОЛЮ ПРОФІЛЮ РІЗЬБИ

Р. А. ВОРОБЕЛЬ, І. М. ЖУРАВЕЛЬ, Я. М. ЗІНЧАК, О. М. КАРПАШ, Н. В. ОПИР, К. В. СУЩИК

*Розглядаються етапи обробки даних, що введені в пам'ять комп'ютера, за допомогою оптоелектронної системи в вигляді багатотонажних зображень профілю різьби. Показано особливості обробки зображень при одержанні параметрів профілю різьби в інформаційно-вимірній системі.*

*Stages are considered of processing the data, entered into the computer memory, using an optoelectronic system, in the form of multishade images of the thread profile. Features of image processing are demonstrated, when obtaining the parameters of the thread profile in the information-measurement system.*

Діапазон засобів та методів перевірки різьб дуже широкий — від різного роду механічних вимірювальних приладів до лазерних [1–4]. Останнім часом найбільшого поширення набули оптоелектронні методи, а серед них — оптичні компаратори [1]. Ці вимірювальні системи призначені, в основному, для контролю якості форми об'єктів невеликих розмірів. Тому актуальна задача контролю зношення різьб труб нафтогазового сортаменту, оскільки внаслідок виходу з ладу різьбових з'єднань при будівництві та експлуатації свердловин для добування нафти і газу відбувається до 50 % аварій [5]. Контроль експлуатаційних характеристик різьбового з'єднання є одним з способів запобігання аваріям і своєчасного виявлення дефектності. Існуючі лазерно-оптичні системи для вимірювання геометричних параметрів різьб насосно-компресорних труб і муфт [4] вузькоспеціалізовані і досить дорогі. Тому доцільно розробити більш простий спосіб контролю зношення різьби. У роботах [6, 7] запропоновано використовувати для цієї мети «тінювий» метод. Його застосування в оптоелектронній системі дає можливість створювати автоматизовані системи контролю параметрів профілю різьби, які були б дешевші і мали ширші функціональні можливості. Визначення дефектності профілю різьби відбувається подібно до аналогічної процедури в оптичних компараторах, де замість шаблонів використовують представлення ліній допусків профілю у вигляді наперед заданих функцій. Формують контур профілю контрольованої різьби у вигляді масиву значень  $(x_i, y_i)$  і програмним способом визначають ймовірність знаходження цього контура в межах зони допуску. Таким чином автоматизовують процес відбраковки різьб.

Інформація про об'єкт в оптоелектронній системі формується у вигляді зображення, яке представлено в пам'яті комп'ютера масивом елементів з певним рівнем «сірого». Реальна оптична система спотворює зображення предмета. Тому, використовуючи відповідне програмне забезпечення, яке враховує спосіб отримання інформації, вдається компенсувати спотворення, відкалібрувати систему

і автоматизувати процедуру вимірювання параметрів профілю різьби в цілому.

Розглянемо основні етапи формування і обробки зображення профілю різьби. Адже алгоритми і методи обробки зображень у вимірювальних системах мають свої особливості. При цьому будемо виходити з того, що зовнішня різьба труби освітлюється джерелом світла з паралельним пучком променів, утворюючи тіньове зображення в ортографічній площині. Це тіньове зображення профілю різьби проектується оптичною системою на оптоелектронний перетворювач на основі ПЗС-матриці (відео-сенсор), який є основою цифрової відеокамери з роздільною здатністю  $640 \times 480$  елементів.

В цілому можна виділити п'ять основних етапів обробки даних в такій системі. *Це формування, ввід та представлення зображення, попередня обробка зображення, виділення контура профілю різьби, визначення параметрів профілю та формування бази даних з результатами контролю.*

**Формування, ввід і представлення зображення.** Зображення профілю різьби формується спеціальною оптикою, що розрахована за методикою, описаною у роботі [8]. Воно вводиться через відеокамеру в пам'ять персонального комп'ютера у вигляді серії кадрів, сформованих при обертанні об'єкта (труби). При цьому використовується безвтратний формат запису даних у файл. Далі спеціалізованими програмними засобами аналізується кожен кадр з профілем різьби і на основі аналізу всіх кадрів та у відповідності з методикою контролю якості і відбраковки приймається рішення щодо дефектності всього виробу.

**Попередня обробка зображення.** Основним джерелом спотворень зображень є відеосенсор, який перетворює світло від візуальної сцени в електричний сигнал, що додатково оцифровується. Шум відеосенсора і флуктуації сигналу змінюють первісне представлення об'єкта досліджень. Тому в вимірювальних системах необхідно використовувати високоякісні відеокамери з високим співвідношенням сигнал/шум. Водночас при проектуванні алгоритму виділення об'єктів необхідно враховувати природу шуму в створенні відповідної моделі відеосенсора. За модель шуму, який вно-

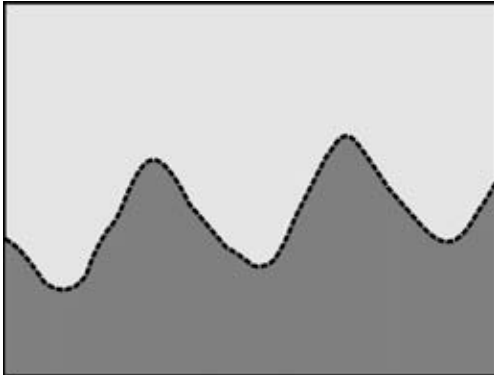


Рис. 1. Виділені контури профілю різби (чорними точками зображений «грубий» контур, білими — уточнений)

ситься більшістю відеосенсорів, приймається білий шум. Для однорідної темної сцени він має гаусів розподіл, а для світлої сцени містить комбінацію гаусового і пуассонового розподілів [9]. Для практичного використання шум відеосенсорів, змодельований адитивним гаусовим шумом, переважає над іншими підходами врахування шуму [10]. Тому алгоритми відновлення зображення повинні адаптуватися до рівня яскравості і співвідношення сигнал/шум. Враховуючи об'єкт дослідження (профіль різби), алгоритми фільтрації не повинні розмивати границь і кутів на зображенні. Ядра фільтрів теж повинні адаптуватися до зашумленості в певному околі, опосередковано враховуючи середньоквадратичне відхилення  $\sigma$  рівня «сірого». Тому часто використовують гаусові ядра для порушення чіткості зображення чи ядро типу лапласіан гаусіана. Кращий результат отримують при використанні ядер, які залежать, крім параметра  $\sigma$ , ще і від порогів фільтрації. Це детектори країв Канні [11] і ядра, запропоновані Сміс [12]. Ефективне також використання методів виділення границь на зашумленому зображенні, що враховують особливості виділених об'єктів [13].

**Виділення контура профілю.** На якість зображення також впливають аберації оптичної системи та дифракція світла, через що отримуваний профіль об'єкта буде розмитий. Тому нами запропоновано алгоритм виділення контура з розмитого профілю. Його реалізація полягає в розпізнаванні профілю об'єкта, для чого використовується фільтрація зі збереженням границь та оператори виділення країв. Застосування ж слідуючих алгоритмів, наприклад, описаного в роботі [14], прискорює «грубий» пошук профілю, який формує його контур у вигляді масиву координат  $(y_i, x_i)$  ( $i = 1, \dots, n$ , де  $n$  — кількість точок

контур) і  $G(y_i, x_i)$  — значення рівня «сірого» для елемента, що належить контуру. Далі проводиться апроксимація «грубого» контура методом найменших квадратів з умови знаходження найменшої абсолютної похибки. Наближаюча функція вибирається з врахуванням зміни рівнів «сірого» на профілі. Якщо вважати, що профіль представляється однією градацією рівня «сірого», то наближення шукається у вигляді константи. За наближеними значеннями рівня «сірого» контура для значень  $y_i$  знаходять відповідно уточнені значення координати  $x_i^*$ , з умови

$$\min_{i - \Delta_i \leq k \leq i + \Delta_i} (G(y_i, x_k) - G^*(y_i, x_k)), \quad (1)$$

де  $G(y_i, x_k)$  — яскравість точки з розмитої смуги профілю шириною  $2\Delta_i$ ;  $G^*(y_i, x_i)$  — наближене значення рівня «сірого» в точці  $(y_i, x_i)$ .

Для прикладу на рис. 1 показано профіль різби, отриманий цифровою відеокамерою з додатковою оптикою. Чорними точками зображений «грубий» контур, а білими — уточнений.

Градації контура  $G(y_i, x_i)$  наближалися за допомогою константи. Тому, використовуючи метод найменших квадратів для визначення константи з найменшою абсолютною похибкою, отримуємо

$$G^*(y_i, x_i) = C = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n G(y_i, x_i). \quad (2)$$

Безпосередні ж елементи зображення, що належать уточненому контуру, знаходились з умови (1). Однак через те, що ми розглядаємо оптикоелектронну систему як складову засобу для вимірювання параметрів різби, то точність представлення профілю має першочергове значення. В деяких роботах [15, 16] пропонується оцінювати оператори виділення границь з точки зору їх неперервності, однозначності, з врахуванням виявленої ширини контура, відхилення від дійсного контура в точці. Якщо ж використовувати запропонований нами алгоритм виділення контура, то деякі похибки, що розглядаються в роботі [15], можна не враховувати. Моделлю границі для оцінки точності представлення контура вибирається пряма лінія, зашумлена гаусовим шумом, з заданим відношенням сигнал/шум [16]. Загальна ж похибка визначається як сума похибок різних типів з певними вагами. Оцінюючи похибки представлення контура різними методами, вибираємо оптимальний метод, що забезпечує найменшу похибку.

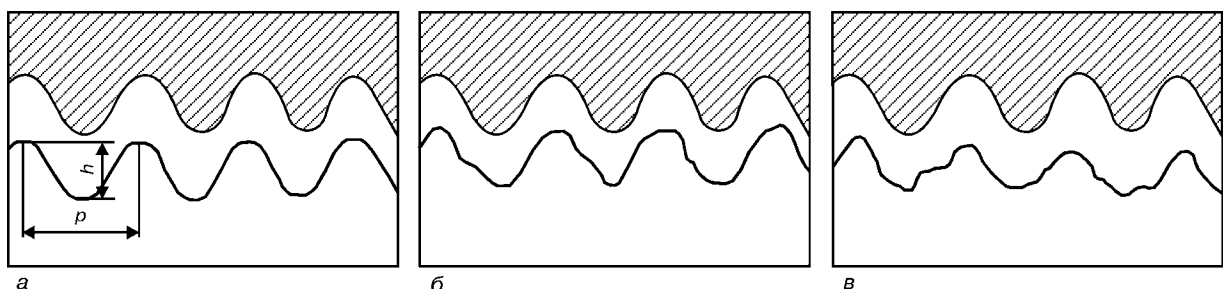


Рис. 2. Контури профілю різби, що належать до різних груп якості: першої (а), другої (б) та третьої (в)



Рис. 3. Профіль конусної трубної різьби і його контур

**Визначення параметрів профілю.** Згідно зі стандартами [17], регламентуються наступні параметри профілю трубної різьби: крок різьби, конусність, висота гострокутного профілю, висота профілю різьби, робоча висота профілю, висота зрізу вершини, радіус заокруглення, кут нахилу. На основі отриманого контура профілю, який представлений масивом пар точок  $(x_i, y_i)$ , проводиться аналіз відхилень отриманого профілю різьби від еталонного та обчислюються параметри різьби. Аналізуючи масив точок  $(x_i, y_i)$ , знаходимо локальні максимуми  $(Y_{\max}^k)$  і мінімуми  $(Y_{\min}^k)$  на кожному  $k$ -му витку. Тоді висота профілю на  $k$ -му витку визначається як  $h_k = Y_{\max}^k - Y_{\min}^k$ , а крок різьби відповідно:  $P_k = X_{\max}^k - X_{\min}^k$ .

Маючи засоби виділення контура профілю різьби, необхідно кількісно оцінити його якість. Оцінюючи якість різьбових з'єднань, що були в експлуатації, слід використовувати відповідні методики контролю та відбраковки. Стосовно труб нафтогазового сортаменту залишається актуальною і на сьогодні методика [18], за якою існуючі критерії відбраковування поділяються на чотири групи якості. *Перша група якості* різьбового з'єднання має різьбу, яка під час експлуатації зберегла геометричні розміри, забезпечує герметичність з'єднання та придатна до подальшої експлуатації. Приклад контура такої різьби з позначенням її висоти ( $h$ ) та кроку ( $p$ ) показані на рис. 2, а. *Друга група* якості різьбового з'єднання відповідає різьбі, яка зберегла свої геометричні розміри, забезпечує герметичність з'єднання, частково зношена і при задовільному змашуванні придатна до подальшої експлуатації (рис. 2, б). *Третя група* якості різьбового з'єднання відповідає різьбі, що частково зношена, геометричні розміри виходять за межі допусків, з'єднання не забезпечує герметичності і, як наслідок, не придатне до подальшої експлуатації (рис. 2, в). Так, для конічної циліндричної різьби труб нафтового сортаменту допуски регламентуються стандартом [17]. *Четверта група* якості різьбового з'єднання відповідає різьбі, що має значне зношення, не забезпечує герметичності, повністю втратила геометричну форму профілю і не придатна до подальшої експлуатації.

Маючи табличне представлення контура  $(x_i, y_i)$ , знаходимо і інші згадані вище параметри різьби. Визначаючи параметри кожного витка у певному положенні, можна отримати також інтегральну оцінку як параметрів різьби об'єкта в цілому, так і кожного окремого витка, оскільки отримуємо серію зображень профілю різьби для різних положень. На рис. 3 показано профіль різьби труби нафтового сортаменту, яка вже була

в експлуатації. Алгоритмічно виділений контур зображено чорними точками.

Для автоматизованого визначення якості різьби використовуються отримані параметри контура профілю, які співставляються з еталонами в межах допусків. Формується база даних оперативного контролю. Результатом контролю є паспорт відхилень профілю різьби. Запропоновані підходи до обробки інформації використовуються при побудові програмного забезпечення комп'ютерної вимірювальної системи визначення параметрів профілю різьб.

1. Adams L. Follow the thread // QUALITY, June 2002 (www.qualitymag.com)
2. Автомат безконтактного контролю наружных резьб / Иванов А. А., Миронченко В. И., Мицуро Р. Т., Родин В. М., Шишов В. Н. // Измерит. техника, — 1991. — № 9. — С. 31–32.
3. Воробьев В. А., Магдеев В. Ш. Измерение параметров наружной цилиндрической резьбы в цеховых условиях // Там же. — 1990. — № 5. — С. 21–23.
4. Калишин О. Б. Автоматизированные лазерно-оптоэлектронные системы для измерения параметров резьбы насосно-компрессорных труб и муфт к ним // НИСОНГ. — 2002. — №1. — С. 41–43.
5. Калишин О. Б. Новая технология ремонта и повышения износостойкости насоснокомпрессорных труб // НИСОНГ 2002. — №2, С. 49–52.
6. Методологичні аспекти обробки даних в оптоелектронній системі контролю профілю різьби / Воробель Р. А., Журавель І. М., Опир Н. В., Суцник К. В., Зінчак Я. М. / Мат. конф. «Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики промислового обладнання». — Івано-Франківськ, 2002. — С. 55–57.
7. Комп'ютеризована оптоелектронна система контролю параметрів профілю різьби / Воробель Р. А., Журавель І. М., Зінчак Я. М., Карпаш О. М., Опир Н. В., Суцник К. В. / 36. наук. праць «Неруйнівний контроль та діагностика неоднорідних об'єктів» (ЛЕОТЕСТ 2003). — Львів, 2003. — С. 136–138.
8. Вороняк Т.І., Муравський Л. І. Розрахунок параметрів оптичної схеми для систем дистанційного вимірювання розмірів кулястих тіл // Там же. — Львів, 2003. — С. 145–150.
9. Roie R. A., Cox I. J. An analysis of camera noise // Pattern Analysis and Machine Intelligence. — 1992, 14, № 6. — P. 671–674.
10. Прэтт У. Цифровая обработка изображений. Т.1,2. — М.: Мир, 1982. — 790 с.
11. Sanny J. A computation approach to edge detection // IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence. — 1986, 8, № 6. — P. 679–698.
12. Smith S., Brady S. J. A new approach to low level image processing // Internat. jour. of computer vision. — 1997. — 23 (1). — P. 45–78
13. Garnica C., Boochs F., Twardochlib M. A new approach to edge-preserving smooth for edge extraction and image segmentation. IAPRS, Amsterdam, 2000, XXXIII. — 242 c.
14. Алгоритм автоматизованого прослеживання контура об'єкта на зображенні / Демидов А. А., Ковтун А. Д., Макаров Ю. М., Садунова Л. Б., Толстикова Л. А. // Автометрия. — 1993. — № 5. — С. 85–88.
15. Abdou I. E., Pratt Quantitative design and evolution of enhancement/thresholding detectors/Proc. IEEE, 1979, 67 (5). — P. 753–763.
16. Venkatesh S. Edge evolution using necessary components / CVGIP: Graphical models and image processing. — 1992, 54, № 1. — P. 23–30.
17. ГОСТ 6211–81. Резьба трубная коническая. — М.: Изд.-во стандартов, 1981.
18. Временная методика способа контроля качества отбраковки насосно-компрессорных труб по степени износа резьбового соединения. РД 39-0125391-023-88. — Куйбышев, 1988. — 40 с.