

“Львівська політехніка” “Комп’ютерна інженерія та інформаційні технології”. – 1998. – №351. – С.160–164. 9. Павич Н.Я. Метод дистанційного визначення форми порожнини в пружному середовищі: Збірник наукових праць Інституту проблем моделювання в енергетиці НАНУ “Моделювання та інформаційні технології”. – К., 2000. – Вип. 6. – С.182–185.

УДК 681.32

Я.В. Гапонюк

Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, м. Львів
відділ “Обчислювальні методи і системи перетворення інформації”

ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННИЙ ПРИСТРІЙ ДЛЯ ОБЧИСЛЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ТРУБ ЕЛІПТИЧНОЇ ФОРМИ

© Гапонюк Я.В., 2006

Описано принцип роботи оптико-електронного пристрою для обчислення півосей поперечного перерізу труб еліптичної форми із застосуванням структурованого освітлення за допомогою двох світлових площин. Пристрій правильно обчислює параметри перерізу труби під час його довільного просторового розташування по відношенню до труби в межах робочого діапазону.

Paper is devoted to the work of optic-electronic device for elliptic tube intersection parameters calculating by applying the means of structural light namely two light planes. Device works correctly being at free space position accordingly with the tube in work bounds.

Постановка проблеми. Наявність серед предметів технологічного призначення великої кількості об’єктів циліндричної або майже циліндричної форми ставить перед вимірювальною та обчислювальною технікою завдання з вимірювання та обчислення діаметра циліндричних виробів або параметрів майже циліндричних виробів, наприклад, півосей труб, які мають перпендикулярний переріз еліптичної форми. Такі задачі характерні для вимірювання параметрів труб під час виробництва у тому випадку, коли циліндрична труба під впливом певних чинників набуває еліпсоподібної форми, або для циліндричних труб, які побували в експлуатації та зазнали деформації. Розповсюджені сьогодні оптико-електронні пристрої побудовані на основі тіньового методу, а також ультразвукові пристрої, які вимірюють діаметр труби як віддаль між парою діаметрально розташованих на периметрі труби точок, причому таких пар може бути від однієї до чотирьох. Такий підхід дає принципову похибку вимірювання, тому що не гарантує розташування хоча б однієї пари точок на протилежних кінцях малої або ж великої осі еліптичного перерізу труби. Тому актуальним є розроблення методів та пристроїв, які б уможливили встановлення достовірного значення еліптичної форми перерізу труби.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Оптико-електронна система безконтактного контролю пустотілих циліндрів розглянута в [1]. В описаному пристрої джерелом світла є світлодіод, випромінювання якого за допомогою оптичної системи перетворюється в квазіпаралельний пучок світла. Тіньове зображення циліндра фіксується лінійками фотоприймачів.

У [2] використовується також тіньовий метод освітлення циліндричної поверхні, але особливість пристрою полягає в тому, що використано три світлові промені, які направлені по дотичній до циліндричної поверхні, що дає можливість визначити координати трьох точок та на основі отриманої інформації вирахувати діаметр циліндра.

Вказані пристрої спроектовані для вимірювання діаметрів циліндричних виробів і під час вимірювання параметрів нециліндричних виробів результати вимірювання матимуть похибку відхилення від достовірного значення.

Вимірювання кривини поверхні виробів за допомогою структурованого освітлення розглянуто в

[3], яка розглядає вимірювання кривини поверхні деталей кузова автомобіля. Недоліком запропонованого пристрою є необхідність проведення структурованого освітлення деталі під наперед заданим кутом 45° та фіксованого ортогонального положення телекамери по відношенню до деталі.

Ультразвуковий метод вимірювання застосовується в приладі UltraScan 3125, який пропонується на ринку американською фірмою Beta LaserMike. Товщина стінок труби та її діаметр контролюються ультразвуковим методом за допомогою восьми ультразвукових датчиків, причому діаметр додатково вимірюється оптико-електронним тіншовим методом за допомогою променя лазера. Таке обладнання є високоточним, але водночас складним та дорогим [4].

Пристрій ПОЛІМЕР-4К, який побудовано із застосуванням ультразвукового методу вимірювання діаметра труби, розглянуто в [5]. Вимірювання діаметра труби та її еліптичності проводиться за допомогою чотирьох ультразвукових датчиків, розташованих попарно на взаємно перпендикулярних осях. Слід звернути увагу на відносну складність побудови пристрою, яка зумовлена проблемами, що виникають під час застосування цього методу. Наприклад, для забезпечення співвідносності ультразвукових перетворювачів з кільцевим перерізом труби застосовують слідкуючу механічну систему сканування, яка відслідковує перпендикулярні переміщення труби. Проводиться також компенсація вібрації труби, враховується температура труби та температура охолоджувальної рідини.

За відхилення форми труби від циліндричної вимірювання діаметра та овальності труби будуть проводитись з похибкою в обох ультразвукових пристроях.

Мета роботи – розв’язання задачі обчислення параметрів еліптичного поперечного перерізу квазіциліндричних виробів за допомогою недорогих серійних оптико-електронних пристроїв та структурованого лінійного освітлення за зменшення апаратних затрат та збільшення ролі програмно-алгоритмічних засобів за рахунок побудови нових методів обчислення параметрів еліптичних квазіциліндричних виробів.

Обґрунтування принципів функціонування оптико-електронного пристрою для обчислення параметрів труб еліптичної форми. На рис. 1 зображено структурну схему електронного пристрою для вимірювання параметрів труб еліптичної форми, в якому застосовується структуроване освітлення труби за допомогою двох світлових площин. Пристрій складається з оптико-електронного формувача 1 зображення, системи 2 структурованого освітлення у вигляді двох паралельних світлових площин, причому формувач 1 та система 2 об’єднані в єдиний конструктив 4 в такий спосіб, що матричний фотосенсор формувача 1 зображення завжди розташований паралельно до світлових площин системи 2 освітлення, яка підсвічує трубу 3 овальної форми, віддаль між світловими площинами є відомою, конструктивно заданою величиною s .

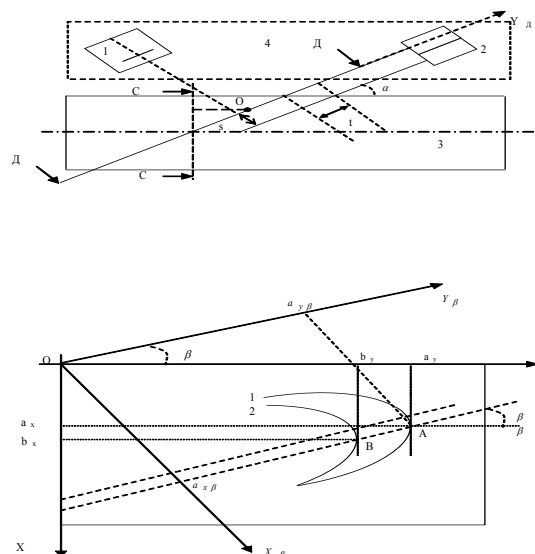


Рис. 1. Оптико-електронна система для вимірювання параметрів труб еліптичної форми

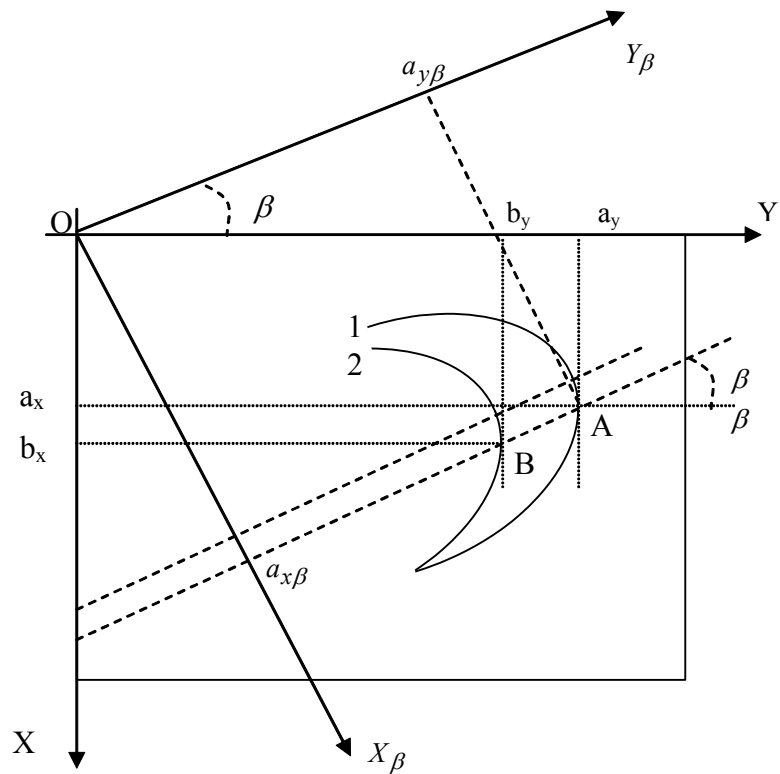
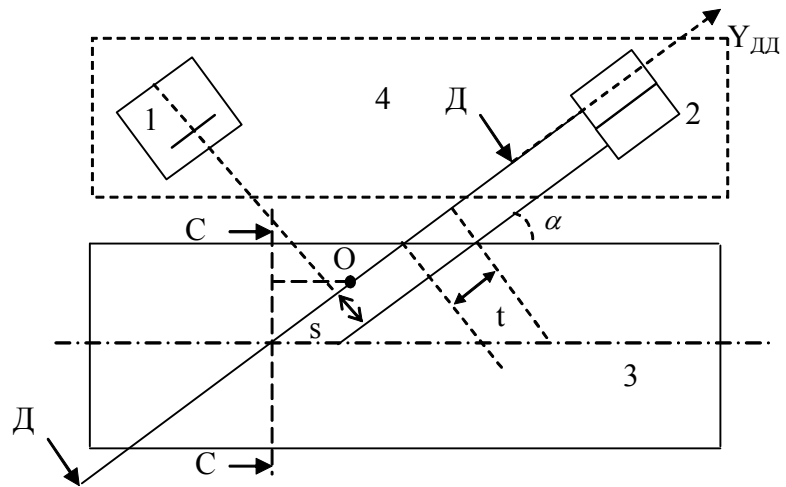


Рис. 2. Зображення на матриці фотосенсора формувача зображення

Принцип роботи пристрою полягає в тому, що структуроване освітлення у вигляді світлових

площин скеровується на опуклу поверхню труби так, щоб утворились дві світлові просторові криві на поверхні труби, які, своєю чергою, фіксуються формувачем зображення та перетворюються у дві одновимірні криві на площині фоточутливої матриці формувача зображення. Аналіз зображення світлових кривих повинен надати інформацію про параметри труби еліптичної форми, а саме – розміри півосей її перпендикулярного перерізу. Для розв’язання цієї задачі нам потрібно встановити взаємозв’язок між еліпсом, який утворюється внаслідок перпендикулярного перерізу труби еліптичної форми, світловою кривою, утвореною світловою площиною на поверхні труби, та її зображенням на матричному фотосенсорі формувача 1 зображення.

Перша світлова площина системи 2 освітлення застосовується для утворення поверхневої світлової кривої з метою визначення кривини поверхні, друга світлова площина введена з метою обчислення кута α нахилу світлових площин щодо осі труби, який визначається із співвідношення

$$\operatorname{tg} \alpha = s / t, \quad (1)$$

де s – віддаль між світловими площинами; t – проекція на матрицю фотосенсора формувача зображення віддалі між світловими кривими на поверхні труби.

На рис. 2 величина t відображається відрізком АВ. На цьому ж рисунку показано зображення, яке ми отримуємо на матриці фотосенсора формувача зображення. Криві 1 та 2 – це зображення світлових кривих, які утворюються внаслідок перетину світлових площин з поверхнею труби. За довільного розташування конструктива 4 по відношенню до поверхні труби з метою коректного обчислення шуканих параметрів, ми змушені враховувати не тільки кут α між оптичною віссю формувача зображення та віссю труби, але і кут β повороту формувача зображення навколо власної осі. Це пов’язано, по-перше, з тим, що еліпс, на відміну від кола, не є круговою фігурою, і для правильного обчислення його параметрів необхідно враховувати його просторове положення щодо вимірювального пристрою, а по-друге, тому що для спрощення обчислень бажано використовувати систему координат, осі якої збігаються зі сторонами матриці фотосенсора формувача зображення. Це дає можливість для обчислення координати точки зображення використовувати порядковий номер відповідного пікселя по горизонталі та вертикалі матриці фотосенсора.

Використовуючи рис. 2, покажемо, в який спосіб можна отримати значення кутів α та β внаслідок аналізу зображення світлових кривих 1 та 2.

Вирахувати значення кута α ми можемо із формули (1), але для цього нам потрібно встановити величину значення t – проекції на матрицю фотосенсора формувача зображення величини зсуву світлових кривих на поверхні труби. Майже очевидно, що в результаті умовного перетину двох паралельних світлових площин з поверхнею труби ми отримаємо дві ідентичні світлові криві, зміщені на поверхні труби, на деяку віддаль. Проекції цих світлових кривих на поверхні матриці фотосенсора формувача зображення внаслідок особливостей конструктива 4, також будуть ідентичними. Тому величину зсуву проекцій світлових кривих на матриці формувача зображення можна визначити як відрізок АВ між ідентичними точками кривих 1 та 2, тобто точками, які мають однакове значення першої похідної. Найпростішими для пошуку з алгоритмічного погляду є точки, які мають нульове значення першої похідної, тобто точки максимуму А та В для кривих 1 та 2 відповідно в системі координат, яка формується сторонами матриці фотосенсора формувача зображення так, як це показано на рис. 2. За такого підходу координати точок А(a_x , a_y) та В(b_x , b_y) будуть визначатися як порядкові номери пікселів по вертикалі (a_y , b_y) та горизонталі (a_x , b_x) матриці фотосенсора формувача зображення без додаткових обчислень. Тому величина t дорівнює величині відрізка АВ:

$$t = AB = \sqrt{(a_y - b_y)^2 + (a_x - b_x)^2}, \quad (2)$$

а величина кута α визначається з рівняння

$$\operatorname{tg} \alpha = s / t = s / AB = s / \sqrt{(a_y - b_y)^2 + (a_x - b_x)^2} \quad (3)$$

Крім того, відрізок АВ є паралельним до проєкції осі труби на матрицю фотосенсора формувача зображення, тобто вказує на кут повороту матриці фотосенсора по відношенню до осі труби. Тому кут β визначатиметься з рівняння

$$\operatorname{tg} \beta = (b_x - a_x) / (a_y - b_y) \quad (4)$$

Введемо нову систему координат $X_\beta O Y_\beta$, яка буде повернута щодо системи координат XOY на кут β проти годинникової стрілки. Координати точок зображень світлових кривих в новій системі координат $X_\beta O Y_\beta$ будуть пов'язані з координатами точок зображень світлових кривих в попередній системі координат XOY залежностями

$$x_\beta = x \cos \beta + y \sin \beta, \quad y_\beta = -x \sin \beta + y \cos \beta. \quad (5)$$

Для спрощення формул вважатимемо, що масштабний коефіцієнт оптичного перетворення формувача зображення дорівнює 1. В такому разі зображення світлових кривих на матриці фотосенсора формувача зображення ідентичне тим світловим кривим, які утворені внаслідок умовного перерізу еліптичної труби світловою площиною Д-Д. Очевидно, що ми можемо ортогонально спроектувати на площину Д-Д координатну систему $X_\beta O Y_\beta$ так, щоб її розташування по відношенню до світлової кривої було таким самим, як і на площині матриці фотосенсора формувача зображення по відношенню до зображення світлової кривої, тобто координати точок світлової кривої в системі координат $(XOY)_{\text{дд}}$ ($(XOY)_{\text{дд}}$ – ортогональна проєкція координатної системи $X_\beta O Y_\beta$ на площину Д-Д) були такими самими, як і в системі координат $X_\beta O Y_\beta$. На рис. 1 вісь $X_{\text{дд}}$ ми спостерігатимемо як точку О, а вісь $Y_{\text{дд}}$ буде направлена вздовж площини Д-Д. Тому справедливими будуть рівняння для деякої точки $R_\beta(x_\beta, y_\beta)$ на площині $X_\beta O Y_\beta$ та її проєкції $R_d(x_d, y_d)$ на площині $(XOY)_{\text{дд}}$:

$$x_d = x_\beta, \quad y_d = y_\beta \quad (6)$$

Тепер ортогонально спроектуємо світлову криву на площину С-С. Очевидно, що проєкція світлової кривої на площині С-С є частиною периметра еліптичної труби, тобто частиною еліпса, параметри якого ми і намагаємося знайти. Ортогонально спроектуємо осі координат $(XOY)_{\text{дд}}$ на площину С-С, що означає вибір на площині С-С такої системи координат, яка б була пов'язана з системою координат $(XOY)_{\text{дд}}$ відомими нам проєкційними залежностями. В системі координат $(XOY)_{\text{сс}}$ ($(XOY)_{\text{сс}}$ – ортогональна проєкція координатної системи $(XOY)_{\text{дд}}$ на площину С-С) координати точок проєкції світлової кривої визначатимуться через координати точок світлової кривої в системі координат $(XOY)_{\text{дд}}$ такими залежностями:

$$x_c = x_d; \quad y_c = y_d \cos \alpha \quad (7)$$

Початок системи координат $(XOY)_{\text{сс}}$ не збігається з центром перерізу еліптичної труби, але для визначення розмірів півосей еліпса така вимога необов'язкова.

Еліпс описується кривою другого порядку у вигляді [6]:

$$a_{11}x^2 + 2a_{12}xy + a_{22}y^2 + 2a_{13}x + 2a_{23}y + a_{33} = 0, \quad (8)$$

коєфіцієнти якої можна визначити, якщо відомо її п'ять точок з координатами (x_n, y_n) , де $n = 1, 2, 3, 4, 5$ відповідно до рівняння, яке описується детермінантом:

$$\begin{vmatrix} x^2 & xy & y^2 & x & y & 1 \\ x_1^2 & x_1y_1 & y_1^2 & x_1 & y_1 & 1 \\ x_2^2 & x_2y_2 & y_2^2 & x_2 & y_2 & 1 \\ x_3^2 & x_3y_3 & y_3^2 & x_3 & y_3 & 1 \\ x_4^2 & x_4y_4 & y_4^2 & x_4 & y_4 & 1 \\ x_5^2 & x_5y_5 & y_5^2 & x_5 & y_5 & 1 \end{vmatrix} = 0. \quad (9)$$

З урахуванням перетворень, які описуються рівняннями (1)-(7), підставляємо у вираз (9) координати п'яти точок, які належать кривій 1 (або 2), визначаємо коєфіцієнти рівняння (8), після чого визначаємо півосі a, b шуканого нами еліпса за формулами

$$a = \sqrt{\frac{-I_3}{I_2 a_{11}'}}; \quad b = \sqrt{\frac{-I_3}{I_2 a_{22}'}} \quad (10)$$

причому коєфіцієнти a_{11}', a_{22}' визначаються через коєфіцієнти рівняння (8)

$$a_{11}' = a_{12} \sin 2\varphi + \frac{1}{2}(a_{11} - a_{22}) \cos 2\varphi + \frac{1}{2}(a_{11} + a_{22});$$

$$a_{22}' = -a_{12} \sin 2\varphi - \frac{1}{2}(a_{11} - a_{22}) \cos 2\varphi + \frac{1}{2}(a_{11} + a_{22}),$$

де параметр φ визначається також через коєфіцієнти рівняння (8) із рівняння

$$\operatorname{ctg} 2\varphi = (a_{11} - a_{22}) / 2a_{12}.$$

Величини I_2, I_3 є інваріантами рівняння лінії другого порядку і визначаються через коєфіцієнти рівняння (8) із співвідношення

$$I_2 = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{12} & a_{22} \end{vmatrix}, \quad I_3 = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{12} & a_{22} & a_{23} \\ a_{13} & a_{23} & a_{33} \end{vmatrix}.$$

Слід врахувати, що коєфіцієнт масштабування оптичної системи формувача зображення дорівнює не 1, а деякій величині L . Тому координати точок в координатних системах XOY та $X_\beta OY_\beta$ під час проведення обчислень слід масштабувати в L разів.

Висновки. Застосування оптико-електронного пристрою формування зображення із використанням структурованого освітлення у вигляді двох світлових площин дає можливість розв'язати задачу обчислення параметрів поперечного перерізу еліптичної форми квазіциліндричних труб, зокрема великої та малої півосей еліпса. Запропонований підхід дає можливість уникнути відомої на сьогодні принципової похибки вимірювання: оптико-електронний тіньовий метод або ультразвуковий метод. Запропонована в роботі методика обчислення параметрів труби еліптичної форми дає можливість мінімізувати апаратні затрати за рахунок вдосконалення обчислювальних алгоритмів. До недоліків запропонованого пристрою та принципів його побудови можна віднести необхідність застосування порівняно складних обчислювальних блоків. Проте з розвитком мікроелектроніки та вдосконаленням технологічних процесів виготовлення мікропроцесорних пристроїв цей недолік матиме з часом все менш істотне значення. Пропонований пристрій може бути

побудований на основі недорогих серійних пристроїв з невисоким рівнем енергоспоживання як портативний автономний переносний прилад для розв'язання розглянутого в роботі класу задач в умовах виробництва.

1. Битюцкий О.И. и др. Оптико-электронная система бесконтактного контроля геометрических параметров полых цилиндров // *Автометрия*. – 1995.– №6. – С.69–74. 2. Non-contact dimensional gage for turned parts // *International Class: G01J 003/45 / Патент США № 4880991 від 14.11.1989 р.* 3. System for measuring shapes and dimensions of gaps and flushnesses on three dimensional surfaces of objects // *International Class: G06K 009/00 / Патент США № 5129010 від 07.07.1992 р.* 4. Комерційна інформація фірми Beta LaserMike. www.betalasermike.com. 5. Кринич-ний П.Я., Райтер П.М., Грицив А.Б., Вісков А.В. Контроль геометричних параметрів пластмасових труб у процесі їх виготовлення: Зб. наук. праць. Серія: Фізичні методи та засоби контролю середовищ, матеріалів та виробів. – Вип. 10 “Акустичні та електромагнітні методи неруйнівного контролю матеріалів та виробів”. – Львів., 2005. – С. 64–71. 6. Ильин В.А., Позняк Э.Г. Аналитическая геометрия. – М., 1999.

УДК 681.3.06

М.М. Биков, К.Ю. Смирнов, В.Ю. Марущак
Вінницький національний технічний університет

ДИКТОРОНЕЗАЛЕЖНИЙ МЕТОД КОДУВАННЯ ЗВУКІВ В СИСТЕМАХ РОЗПІЗНАВАННЯ МОВНИХ СИГНАЛІВ

© Биков М.М., Смирнов К.Ю., Марущак В.Ю., 2006

Аналізується модель мовоутворення, що ґрунтується на принципі “квазічастотної” модуляції голосового тракту, і метод дикторонезалежного кодування звуків мови двійковими частотодетектуючою і частотносегментуючою функціями, що ґрунтується на цій моделі. Запропоновано принцип ієрархічного структурування фонетичної інформації в акустичному сигналі, поданого двійковими значеннями вказаних функцій, реалізацією паралельного процесу сегментації і маркування мовного сигналу. Розглянуто процедури навчання класифікатора міток і сегментатора, наведено результати їх роботи.

In the given activity the model of speech production, founded on the principle of the vocal tract “quazifrequency” modulation is described. The method of the speaker independence encoding of the speech sounds with the binary frequency detecting and frequency segmenting functions based on this model is esteemed. The principle of hierarchic structuring of the phonetic information in an a speech signal, described by binary values of the refered functions is offered, by implementation of parallel process of segmentation and labelling. The procedures of the label classifier training and the speech segmentator are reviewed, the outcomes of their activity are adduced.

Вступ. Аналіз методів опису мовного сигналу, що ґрунтуються на відомих моделях, показує їх неінваріантність до диктора, оскільки вони використовують за ознаки енергетичні характеристики у вузьких діапазонах спектра. Крім того, подання звуків мови, що ґрунтуються на таких описах, є досить об'ємними, що вимагає великих обсягів пам'яті для їх зберігання, значної пропускну здатності каналу зв'язку. Тому виникає необхідність в розробці таких моделей мовоутворення [1], які дали можливість реалізувати економне і дикторонезалежне кодування звуків мовного сигналу.

Постановка проблеми і її зв'язок з важливими науковими завданнями. Однією з невіршених проблем в області інформаційно-вимірювальних систем є побудова дикторонезалежних систем автоматичного розпізнавання мовних сигналів. Її вирішення дало б змогу розширити коло користувачів таких систем і значно підвищити ефективність обміну інформацією в людино-машинних