

ГЕНЕРАТОРНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ МІКРОХВИЛЬОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Запропонована структура інформаційно-керованого через "часове вікно" генераторного комплексу для мікрохвильового технологічного процесу. Показана динамічна стійкість ланок регулятора. Отримані результати можуть бути використані при проектуванні радіотехнічних систем мікрохвильової обробки матеріалів та речовин.

The structure of PC-controlled by "time window" generation apparatus for microwave technology is proposed. The limits of the parameters at which stability work of a regulator is achieved are determined. The received results may be used for the design a radioengineering system of microwave technological processes.

Ключові слова: мікрохвильові технології, регулятор поглиненої потужності, часове вікно.

Вступ

В значному обсязі публікацій [1], присвячених проблемі створення технологічного мікрохвильового устаткування для обробки матеріалів та речовин відсутні роботи, що визначають головні структурні принципи побудови ефективних генераторів випромінювання електромагнітних полів (ЕМП) надвисоких частот (НВЧ) для радіотехнічних систем технологічного призначення.

Крім того, необхідно враховувати особливості мікрохвильової обробки деяких матеріалів. Наприклад, при обробці великої кількості харчових продуктів починають обробку при 100 % потужності (безперервний режим роботи генераторів НВЧ), а до повної готовності доводять продукт при меншому рівні потужності. Тобто потрібно стабілізувати поглинену НВЧ потужність на різних рівнях залежно від технологічних потреб, а подібні технологічні вимоги можуть бути задоволені лише за допомогою точного регулятора (системи автоматичного регулювання) поглиненої НВЧ потужності.

Постановка технічної задачі

Реалізація ідеї [2] безперервного контролю складу речовин в мікрохвильових (НВЧ) технологічних процесах спектрометричним методом потребує створення такого генераторного комплексу, який був би здатний виконувати наступні складні функції:

- забезпечувати технологічну камеру (ТК) НВЧ потужністю достатньо високого рівня, щоб технологічний процес мав оптимальну ефективну продуктивність;
- НВЧ потужність повинна бути керованою за частотою в діапазоні частот, які рекомендовано Міжнародною електротехнічною комісією (МЕК) до застосування у мікрохвильових технологіях;
- потужність НВЧ генератора, який приєднаний до ТК, повинна бути стабільною та керованою, за значенням її прохідної величини у хвилеводі, що приєднаний до ТК, або необхідною за технологією значенням розсіяної речовиною потужності в технологічній камері;
- забезпечувати формування "часового вікна" для керування інформаційно-технологічним комплексом.

Викладення основного матеріалу

Можливим варіантом побудови такого генераторного комплексу є застосування електровакуумних ламп таких типів [3, 4]:

- потужної лампи біжучої хвилі (ЛБХ) з попередньо включеним вхідним малопотужним генератором змінної НВЧ;
- потужної лампи зворотної хвилі (ЛЗХ), частота генерації якої змінюється за напругою на електроді керування;
- набором літерних потужних підсилювальних резонаторних клістронів з попередньо включеними збуджуючими клістронними генераторами.

Вказані варіанти застосовуються в радіотехнічних системах спеціального призначення, але не пристосовані до застосування в сучасному технологічному обладнанні, тому що, по- перше, працюють в недозволенних МЕК частотних діапазонах, по- друге, потребують значних капітальних втрат.

Найбільш придатною для побудови генераторного комплексу є електровакуумна лампа типу "магнетрон", що настроюється напругою (МНН), який відомий як мітрон. Ця лампа – генератор магнетронного типу із зовнішньою коливальною системою низької добротності, який має широкий діапазон частот вихідного сигналу, електронне керування частотою, високий рівень потужності, коефіцієнт корисної дії 30– 60 %, крутизну електронного керування 0,2– 10 МГц/В, що суттєво більше ніж має ЛЗХ. Крім цього, він дозволяє, як і класичний вузькосмуговий магнетрон, регулювати середню вихідну потужність шляхом зміни чередування частоти імпульсів анодної напруги. Електрична схема включення МНН приведена в [3].

На рис. 1 представлено структурно– функціональну побудову джерела НВЧ енергії для технологічних процесів, яка відповідає згаданим вимогам.

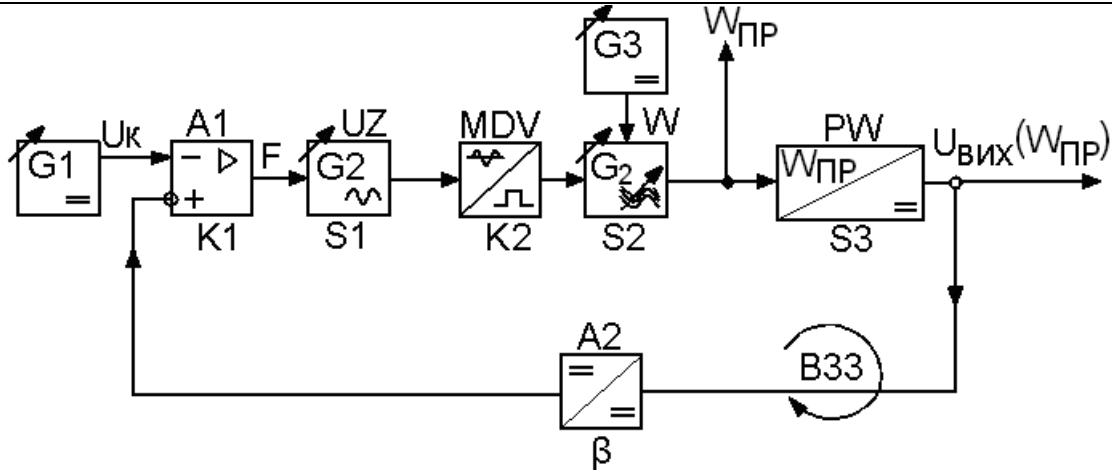


Рис. 1. Структурно- функціональна схема джерела НВЧ енергії: G1 – джерело постійного струму зі змінною керуючою напругою U_K ; A1 – диференційний підсилювач; UZ – інвертор; MDV – модулятор; G2 – мітрон; G2 – джерело анодної напруги; PW – НВЧ ватметр прохідної потужності; A2 – перетворювач напруги B33

Метод регулювання середньої поглиненої потужності НВЧ. Мітрон G2 регулюється за частотою чередування імпульсів анодної напруги, які формуються модулятором MDV. Таким чином, регулюється середня вихідна потужність мітрона \bar{W} відповідно до залежності

$$\bar{W} = W_{\text{ИМП}} \cdot \tau \cdot F, \quad (1)$$

де $W_{\text{ИМП}}$ – імпульсна потужність,
 τ – тривалість НВЧ імпульсу,
 F – частота чередування НВЧ імпульсів.

Модулятор MDV живиться від інвертора UZ [3], у якого частота перетворення постійного струму у змінний регулюється вихідною напругою підсилювача.

Динамічні властивості автоматичного регулятора потужності. Загалом, генераторний комплекс (рис. 1) за своєю побудовою є структурою автоматичного керування з від’ємним зворотнім зв’язком (B33), в якій вхідна координата – напруга керування U_K задається джерелом постійного струму G1, вихідна – вихідний аналоговий сигнал вимірювача прохідної потужності НВЧ в тракці, що з’єднує мітрон з технологічною камерою ТК. Ватметр НВЧ середнього значення прохідної потужності за визначенням вимірює різницю середніх значень потужностей падаючої та відбитої електромагнітних хвиль.

Вихідна напруга ватметра PW в структурі з B33 визначаються відомою статичною залежністю [5].

$$U_{\text{ВИХ}} = \frac{K_1 \cdot K_2 \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3}{1 + K_1 \cdot K_2 \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \cdot \beta} U_K = \frac{S}{1 + S \cdot \beta} \cdot U_K \approx \frac{1}{\beta} \cdot U_K, \text{ якщо } S \cdot \beta \gg 1, \quad (2)$$

де належність коефіцієнтів перетворення до структурних одиниць видно з рис. 1.

Виконавши звичайне в теорії автоматичного регулювання структурне перетворення [4], щоб виконати заміну вихідної координати $U_{\text{ВИХ}}$ на $W_{\text{ПР}}$ (рис. 2) одержимо

$$W_{\text{ПР}} = \frac{1}{\beta'} \cdot U_K, \quad (3)$$

де $\beta' = \beta \cdot S''$; $S'' = S_3$.

З останнього виразу видно, що точність регулювання прохідної потужності $W_{\text{ПР}}$ залежить лише від стабільності сигналу керування U_K , коефіцієнтів B33 β та S_3 . Коефіцієнт β має похибку резистивного подільника напруги, який зазвичай встановлюється у колі зворотного зв’язку, тобто не більшу за $\pm (0,1-0,2) \%$, а S_3 – похибку вимірювального перетворення НВЧ ватметра, визначається запропонованим методом вимірювання та його реалізацією і складає $\pm (3-4) \%$.

Сильний B33 дозволяє контролювати вплив коефіцієнтів K_1, K_2, S_1, S_2 , тобто значно зменшити похибку регулювання, але це може коштувати втрати динамічної стійкості системи автоматичного регулювання. Саме тому виникає необхідність зобразити структурну схему (рис. 1) як поєднання динамічних ланок (рис. 3) та скористатися оцінкою стійкості за одним із відомих критеріїв.

Підсилювач A1 та інвертор UZ подаємо як одну підсилювальну ланку з функцією передачі $W_1(p) = K_1 \cdot S_1$. Такою ж ланкою представимо мітрон G2, $W_2(p) = S_2$. Модулятор MDV являє собою

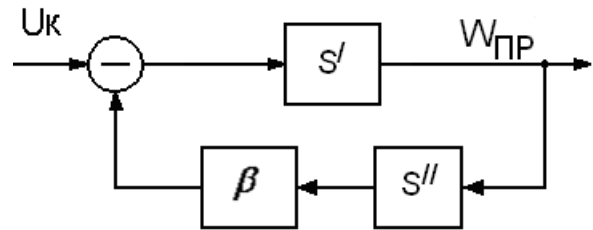


Рис. 2. Структурно перетворена схема (рис. 1) джерела НВЧ енергії: $S' = K_1 \cdot K_2 \cdot S_1 \cdot S_2$; $S'' = S_3$

інерційну диференційну ланку з функцією передачі систему $W_3(p)$ [6]:

$$W_3(p) = \frac{pK_2}{T_2p + 1}.$$

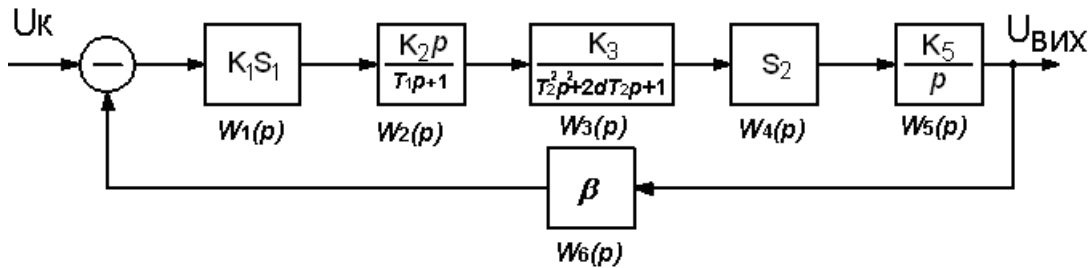


Рис. 3. Структурне з'єднання динамічних ланок системи автоматичного регулювання

Схему формування від'ємного імпульсу анодної напруги подамо як коливальну інерційну ланку, тому що ця схема містить два накопичувача енергії – конденсатор C та індуктивність L вторинної обмотки трансформатора,

$$W_4(p) = \frac{K_3}{T_2^2 p^2 + 2d T_2 p + 1},$$

де d – коефіцієнт затухання коливального процесу.

Ватметр PW має здатність утримувати протягом періоду чередування імпульсів НВЧ значення обвідної функції періодичного процесу на його вході, тобто виконує інтегральну функцію.

Його представляємо інтегруючою динамічною ланкою з функцією передачі $W_5(p) = K_5 / p$.

$$\text{Позначимо } W_{15}(p) = \prod_{i=1}^5 W_i(p); \quad K = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_5; \quad a_0 = T_1 \cdot T_2^2; \quad a_1 = 2d \cdot T_2 + T_2^2;$$

$$a_2 = T_1 + 2d \cdot T_2; \quad a_3 = 1 + K \cdot \beta.$$

Функція передачі автоматичної системи регулювання має вид

$$W(p) = \frac{W_{15}(p)}{1 + W_{15}(p) \cdot W_6(p)} = \frac{K}{a_0 p^3 + a_1 p^2 + a_2 p + a_3}. \quad (4)$$

За знаменником в (4) визначимо характеристичне рівняння як рівняння третього порядку

$$a_0 p^3 + a_1 p^2 + a_2 p + a_3 = 0. \quad (5)$$

Перевіримо, чи виконуються умови, що встановлені за критерієм Гурвіця:

$$a_0 > 0; \quad a_1 > 0; \quad a_2 > 0; \quad a_3 > 0.$$

$$a_1 a_2 - a_0 a_3 > 0.$$

При реальних значеннях постійних часу T_1 , T_2 та d ($T_1 = 0,01$ або $0,005$ сек, $T_2 = 1$ або 2 сек, $d = 0,01$ або $0,013$), значення коефіцієнтів дорівнюють $a_0 = 0,01$ ($0,125$) сек³, $a_1 = 1$ (25) сек², $a_2 = 0,03$ ($0,13$) сек, $a_3 = 2$ (26), а критерій Гурвіця $a_1 a_2 - a_0 a_3 = 0,01$ ($0,00008$) більше нуля, тобто структура, що аналізується, є динамічно стійкою.

Метод часового “вікна” як можливість суміщення мікрохвильової та інформаційної технологій. Взаємодія ЕМП НВЧ з речовинами та матеріалами є швидкоплинним процесом, що відповідно потребує швидкодіючого контролю їх стану в ході технологічного процесу. Саме точність такої інформації забезпечує відтворюваність мікрохвильових технологій різними виробниками та їх поширення з метою одержання конкурентної продукції ціною значно менших енергетичних витрат.

Існуючі технології регулювання технологічних параметрів в мікрохвильових процесах обробки речовин та матеріалів передбачають зупинку процесу для лабораторного аналізу їх стану чи визначення фізико–хімічного складу об'єктів такої обробки за допомогою стандартних чи спеціальних приладів в технологічних камерах (ТК) також після зупинки процесу. Звичайно, вказані методи контролю знижують потенційну продуктивність мікрохвильових технологічних процесів та якість готової продукції, бо охолодження об'єкту обробки під час зупинки процесу часто супроводжується незворотними явищами у фізико–хімічному стані речовин.

Найбільш поширеними джерелами НВЧ енергії є магнетрони безперервної дії. Термін “безперервна дія” не зовсім точно висловлює сутність роботи даного типу магнетрона, бо насправді він генерує один НВЧ імпульс за кожний період напруги промислової частоти, як це видно зі схеми відомого імпульсного модулятора магнетрона [7, рис. 2.15] та з наведених епюр сигналів в його схемі. Точками A_1 , A_2 позначено моменти збудження НВЧ генерації, а точки B_1 , B_2 моменти зриву НВЧ коливальних магнетрону. Таким чином, в періоді слідування імпульсів $T = 1 / F$ існує часове “вікно” $\tau_{\text{вік}} = T - \tau_{\text{імн}}$, яке слід використати для

вимірювального процесу, що знаходиться в об'ємі взаємодії ЕМП НВЧ з об'єктом, а також для одержання сигналу, який описує функцію відгуку на зонduючий сигнал чи дію на об'єкт потужності НВЧ.

Зміна гармонічної форми напруги U'' на виході трансформатора Тр зумовлена його магнітним насиченням, щоб наблизити форму анодної напруги до прямокутної [7]. Справа у тому, що зміна анодної напруги магнетрона після моменту його збудження викликає деяку зміну частоти його НВЧ коливань (ефект електронного перестроювання частоти).

Побудоване таким чином часове "вікно" надає відрізок часу, за який у технологічній камері не збуджуються потужні НВЧ коливання, а також можливість використати для вимірювання діелектричних параметрів речовин/матеріалів широкосмуговий або багаточастотний зонduючий сигнал низького рівня потужності, що сформований окремим НВЧ генератором. Важливою є також можливість застосовувати радіометричний метод вимірювання температури речовин/матеріалів в процесі нагрівання в ЕМП НВЧ.

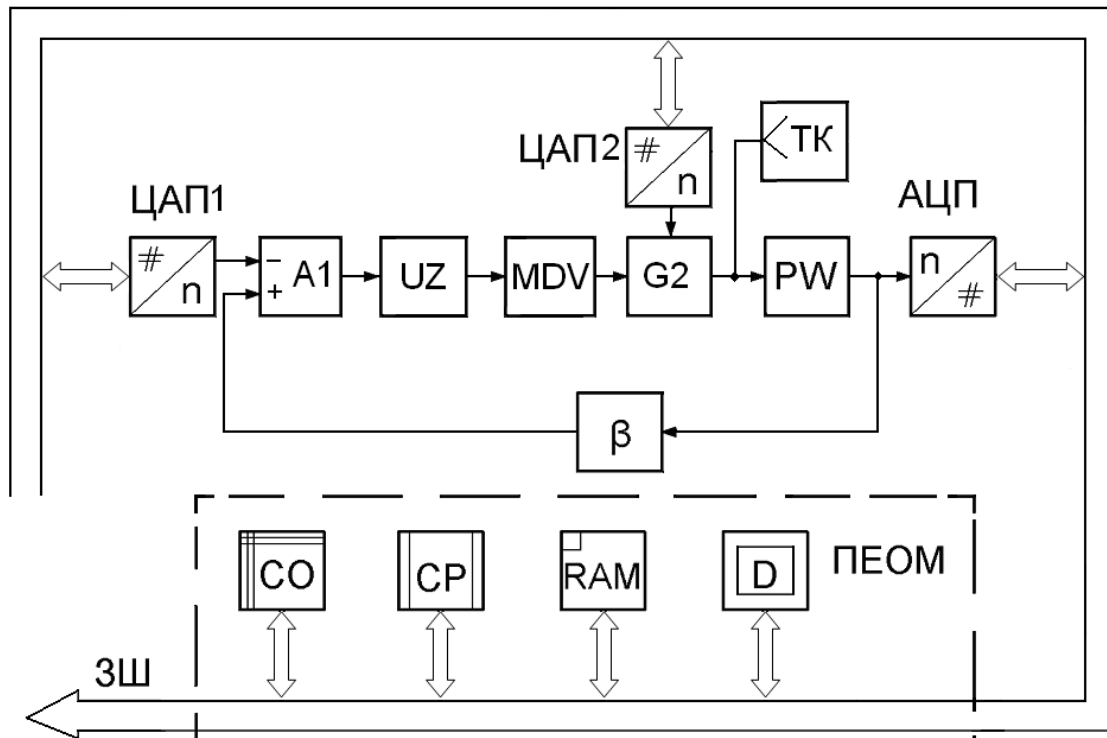


Рис. 5. Структурна схема комп'ютерної системи регулювання прохідної потужності

Автоматична система регулювання прохідної НВЧ потужності стає системною за наступних умов:

- стан об'єкту регулювання (прохідна потужність) визначається аналого-цифровим перетворювачем, який має спільний інтерфейс з ПЕОМ;
- сигнал керування формується ПЕОМ та перетворюється в аналогову форму за допомогою цифро-аналогового перетворювача, який також адаптовано до інтерфейсу ПЕОМ;
- закон регулювання, який визначено технологічною камерою, запрограмовано та внесено як програму в загальний програмний пакет комп'ютерної системи керування мікрохвильовим технологічним процесом (МТП).

На рис. 5 показано структурну схему частини комп'ютерної системи керування МТП, яка виконує функцію регулювання прохідної потужності НВЧ, що надходить в ТК.

Висновки

Особливості мікрохвильових технологій обробки матеріалів потребують стабілізувати НВЧ потужність на різних рівнях для обробки матеріалів залежно від технологічних потреб, а подібні технологічні вимоги можуть бути задоволені лише за допомогою автоматичної системи регулювання поглиненої НВЧ потужності.

Проведена перевірка динамічного стану ватметра прохідної потужності виявила широкі межі зміни параметрів, коли забезпечується стійкість схеми вимірювання та регулювання.

Отримані результати можуть бути використані при проектуванні радіотехнічних систем мікрохвильової обробки матеріалів та речовин, а також в напрямку розширення можливостей діючих автоматичних ватметрів в складі регуляторів поглиненої потужності НВЧ для радіохвильових систем визначення параметрів контролю та складу речовин.

Література

1. Водотовка В.И. Новые технологии измерения параметров в радиотехнических системах

технологического назначения / В.И. Водотовка, Ф.М. Репа // Микроволновые технологии в народном хозяйстве: Внедрение Проблемы. Перспективы. (Промышленность, АПК, Медицина). – Выпуск 4. – Киев-Одесса: из-во МАИ, 2002. – С.142– 152.

2. Водотовка В.И. Структурная модель радиотехнической СВЧ системы для технологической обработки материалов, веществ и продуктов питания / В.И. Водотовка, Ф.М. Репа // Вестник КПИ. Серия Радиотехника. – 1998. – № 32. – С. 107– 111.

3. Андрушко Л.М. Электронные и квантовые приборы СВЧ / Л.М. Андрушко, Н.Д. Федоров. – М.: Радио и связь, – 1981. – 207 с.

4. Вамберский М.В. Передающие устройства СВЧ / М.В. Вамберский, Л.И. Казанцев, С.А. Шелухин / Под ред. Вамберского М.В. – М.: Высшая школа, – 1984. – 448 с.

5. Справочник по теории автоматического управления / Под. ред. А.А. Красовского. – М.: Наука, 1987. – 712 с.

6. Иващенко Н.Н. Автоматическое регулирование. Теория и элементы систем / Н.Н. Иващенко. – М.: Машиностроение, 1978. – 510 с.

7. Сапунов Г.С. Ремонт микроволновых печей / Г.С. Сапунов. – М.: СОЛОН, 1998. – 268 с.

Надійшла 18.4.2011 р.

УДК 615.47: 534.6

М.В. БАЧИНСЬКИЙ, І.Ю. ДЕДІВ, В.Г. ДОЗОРСЬКИЙ
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

ОБҐРУНТУВАННЯ СТРУКТУРИ СИСТЕМИ ВІДБОРУ АКУСТИЧНИХ СИГНАЛІВ ДЛЯ ЗАДАЧ МЕДИЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ СИСТЕМ ДИХАННЯ ТА ГОЛОСОТВОРЕННЯ

Розглянуто питання обґрунтування структури системи відбору акустичних сигналів для задач медичної діагностики систем дихання та голосотворення. Враховуючи значну різноманітність типів мікрофонів, що є перетворювачами акустичних сигналів в електричні та параметрів АЦП звукових карток персональних комп'ютерів, з допомогою яких проводиться запис та наступне опрацювання сигналів, виявлено необхідність обґрунтування структури системи відбору та параметрів її складових елементів з метою забезпечення однорідності статистичного матеріалу, що ним є відібрані сигнали. На основі аналізу характеристик інформативних ознак акустичних сигналів проведено обґрунтування структури системи для їх відбору та уточнено параметри її складових елементів.

The question of ground of structure of the system for selection the acoustic signals is considered for the tasks of medical diagnostics of the breathing and vocal organs. Taking into account the considerable variety of types of microphones, which are the transformers of acoustic signals in electrical and parameters of ADC of sound cards of the personal computers, found out the necessity of ground of structure of the system for the selection and parameters of its component elements with the purpose of homogenisation of statistical material, that the selected signals are them. On the basis of analysis of descriptions of informing signs of acoustic signals the ground of structure of the system is conducted for their selection and the parameters of its component elements are specified.

Ключові слова: медична діагностика, акустичний сигнал, система відбору.

Вступ

На сьогодні спостерігається тенденція до зростання числа людей із захворюваннями органів систем дихання та голосотворення, які є анатомічно близькими і функціонально пов'язаними [1, 2]. Тому важливим завданням сучасної медицини є діагностика патологічних змін в органах цих систем на ранніх етапах їх виникнення та розвитку. В працях [3, 4] розглянуто питання діагностування за відповідними акустичними сигналами, які у випадку системи дихання є дихальними шумами а у випадку системи голосотворення – фрикативними звуками, що формуються на основі потоку видихуваного повітря, який є дихальним шумом.

Якість, інформативність сигналу, опрацювання якого проводиться з метою відшукування характеристик, що є індикаторами функціональних порушень в роботі органів систем дихання та голосотворення, залежить від системи відбору, тому важливою технічною задачею є обґрунтування структури такої системи та параметрів її складових елементів з метою забезпечення однорідності статистичного матеріалу, що ним є відібрані акустичні сигнали.

В медичній практиці для задачі діагностики систем дихання та голосотворення лікарі використовують зовнішній огляд, ендоскопічні методи обстеження, рентгеноскопичні методи, біопсії, проводять спірографії, бронхографії, фібробронхоскопії тощо [1, 2]. У випадку застосування комп'ютерного опрацювання сигналів з метою автоматизації процесу діагностування, необхідно попередньо проводити їх запис та оцифрування. Оскільки розглянуті в роботі сигнали мають акустичну природу, відбір їх проводиться з допомогою мікрофона, з наступним оцифруванням АЦП звукової картки. Враховуючи значну різноманітність типів мікрофонів, їх конструктивного виконання, широкий діапазон можливих значень частоти дискретизації та розрядності АЦП звукової картки тощо, актуальною технічною задачею є обґрунтування параметрів засобів відбору сигналів для можливості застосування результатів їх подальшого