

534.8  
ПЗЗ

ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
НАФТИ І ГАЗУ

*На правах рукопису*

Піндус Наталія Миколаївна

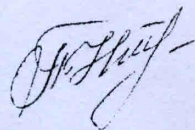
534.8+ (043)  
УДК 621.396.004  
ПЗЗ

СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ТЕПЛОВИХ І АКУСТИЧНИХ  
ХАРАКТЕРИСТИК ДИНАМІЧНИХ ВИПРОМІНЮВАЧІВ  
ЗВУКУ

Спеціальність 05.11.13 – Прилади і методи контролю та визначення складу  
речовин

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук



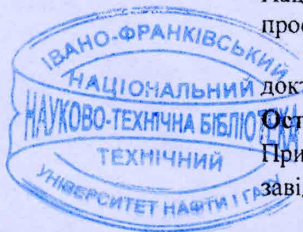
Івано – Франківськ – 2004

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, професор  
**Чеховський Степан Андрійович**,  
Івано-Франківський національний технічний  
університет нафти і газу, завідувач кафедри інформаційно-  
виміральної техніки

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор  
**Порсв Володимир Андрійович**,  
Національний авіаційний університет,  
професор кафедри інформаційно-вимірвальних систем;



доктор фізико-математичних наук, професор  
**Остафійчук Богдан Константинович**,  
Прикарпатський університет ім. В. Стефаника,  
завідувач кафедри матеріалознавства і новітніх технологій

Провідна установа: Національний університет "Львівська політехніка"  
Міністерства освіти і науки України, м. Львів.

Захист відбудеться " 15 " квітня 2004р. о 14 годині на засіданні спеціалізованої  
вченої р 6019, м.Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15.

3 в бібліотеці Івано-Франківського  
національного університету нафти і газу за адресою: 76019, м.Івано-  
Франківськ

А

В

с

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Електроакустика, як фундамент важливих галузей з високими технологіями виступає, з одного боку, як закінчений науково-технологічний продукт, а, з другого, як теоретична основа одного з базових методів контролю. Таке поєднання формулює особливий підхід до якості звуковідтворюючої апаратури.

В умовах сучасного виробництва проводиться, в основному, суцільний контроль технічних характеристик електроакустичної апаратури. Існуючі методи та методики такого контролю базуються на аналізі звукового тиску та кількох геометричних параметрів його розповсюдження як в процесі експлуатації, так і при проведенні контрольно-діагностичних робіт з використанням звукозаглушених камер. Незначна кількість отримуваних при цьому інформативних параметрів суттєво обмежує вірогідність результатів контролю, оскільки поза увагою залишаються теплові явища, вплив яких на якісні характеристики випромінювачів ще недостатньо вивчений.

Застосовуваний нині енергетичний підхід не дає змоги здійснювати контроль параметрів випромінювачів в усьому діапазоні акустичних характеристик як за якісними, так і за кількісними показниками, оскільки в основу покладено контроль рівня звукового тиску на виході випромінювача звуку.

Дослідження теплових процесів у випромінювачах як теоретичної основи створення систем контролю започатковані порівняно недавно. Це, в основному, експериментальні дослідження для отримання залежності допустимої потужності від температури нагрівання звукової котушки. Для створення універсальних методів синтезу систем контролю випромінювачів звуку доцільною є побудова фізичних та математичних моделей, які відрізняються для різних частотних областей у відповідності з фізичними принципами роботи випромінювачів звуку (ВЗ) в кожній області. Це дасть змогу точно оцінити вплив теплових явищ на характеристики випромінювачів звуку, що і визначає актуальність теми.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Тематика дисертаційної роботи є частиною планової науково-дослідної програми з розвитку нафтопромислового комплексу України і базується на результатах держбюджетної науково-дослідної роботи ІФНТУНГ "Метрологія і вимірвальна техніка в нафтогазовій галузі та приладобудуванні", як складової частини електроакустичних методів та засобів опосередкованого контролю об'єктів (номер державної реєстрації 0101U001664), де автор була виконавцем розділу, присвяченого термодинамічному аналізу систем контролю електродинамічних випромінювачів звуку.

**Мета і задачі роботи.** Метою роботи є розробка системи контролю теплових і акустичних характеристик динамічних випромінювачів звуку, яка б дозволяла створювати електродинамічні акустичними характеристиками. Для реалізації даної мети сф



- 1) дослідити теплові характеристики динамічних випромінювачів звуку, встановити їх взаємозв'язок з акустичними;
- 2) обґрунтувати методики та проведення експериментальних досліджень температурного поля випромінювача;
- 3) дослідити вплив потужності акустичного випромінювання на нагрівання звукової котушки;
- 4) розробити математичну модель, яка б пов'язувала теплові та акустичні характеристики випромінювачів звуку.
- 5) розробити випромінювач з покращеними характеристиками шляхом зміни його теплових параметрів;
- 6) здійснити експериментальні дослідження випромінювача з покращеними характеристиками;
- 7) розробити акустичну систему з покращеними якісними характеристиками;
- 8) оцінити метрологічні характеристики системи контролю.

*Об'єкт дослідження* - теплотехнічні процеси при роботі динамічних випромінювачів звуку.

*Предмет дослідження* - інформативні електричні, акустичні та теплові параметри випромінювачів звуку і математичні моделі їх взаємодії.

*Методи дослідження.* Теоретичні дослідження базуються на методах математичного моделювання, теорії похибок, методах математичної обробки результатів експериментальних досліджень, методах електромеханічних аналогій.

Експериментальні дослідження теплофізичних характеристик динамічних випромінювачів звуку проведені з допомогою мікросенсорних перетворювачів, обробка результатів здійснена з використанням теорії планування експерименту, а метрологічний аналіз здійснено з використанням теоретичних засад метрології.

**Наукова новизна отриманих результатів** визначається наступним:

- розроблена математична модель випромінювача, на основі якої встановлена залежність вихідного звукового тиску та коефіцієнта корисної дії для динамічного випромінювача звуку від теплових параметрів, зокрема, температурного поля звукової котушки;
- обґрунтовано, що температура звукової котушки і магнітної системи однозначно впливає на такі характеристики випромінювача як ККД, звуковий тиск, діапазон відтворюваних частот, діаграму направленості;
- розроблено метод та алгоритм синтезу високоефективних за коефіцієнтом корисної дії конструкцій випромінювачів звуку.

**Практична цінність отриманих результатів** полягає в тому, що:

- розроблена методика експерименту для вимірювання температури звукової котушки;
- розроблено випромінювач з додатковим повітряним охолодженням звукової котушки та покращеними характеристиками;

- спроектована система контролю теплових і акустичних характеристик динамічних випромінювачів звуку, призначенням якої є як контроль продукції при серійному виробництві так і можливість досліджень при проектно-конструкторських роботах з вдосконалення конструкції випромінювачів звуку;

- розроблено акустичну систему з покращеними якісними характеристиками.

**Реалізація результатів роботи.** Отримані результати спрямовані на підвищення експлуатаційних характеристик динамічних випромінювачів звуку та можливості їх контролю при виробництві та експлуатації. Результати досліджень впроваджені на в/о “Карпати” та ТЗОВ “ПК-Сервіс”(м. Івано-Франківськ), а також в навчальний процес на кафедрі інформаційно-виміральної техніки ІФНТУНГ, що підтверджено відповідними актами.

**Особистий внесок здобувача.** Більшість теоретичних та експериментальних досліджень виконано автором самостійно. В роботах у співавторстві здобувачеві належить визначальна участь у формулюванні задач, моделюванні, а також в експериментальній перевірці та реалізації результатів досліджень. В процесі виконання науково-дослідних робіт при розробленні та реалізації практичних схем контролю температури випромінювачів і експериментальних дослідженнях їх характеристик, були залучені співавтори. В цих випадках частка участі здобувача відображена у відповідних звітах.

**Апробація роботи.** Матеріали дисертації представлено на 2-й Міжнародній науково-практичній конференції “Проблеми економії енергії”(м. Львів, 2-4 червня 1999 р.); на науково-технічній конференції професорсько-викладацького складу ІФНТУНГ в 1997 році; на науково-технічній конференції “Приладобудування 2002: підсумки і перспективи” (м. Київ, 16-17 квітня 2002 р.); на другій науково-технічній конференції “Приладобудування 2003: стан і перспективи” (22-23 квітня 2003р.) та семінарах кафедри методів та приладів контролю якості та кафедри інформаційно-виміральної техніки.

**Публікації.** Основні ідеї та розробки, викладені в дисертації, опубліковані в 11 наукових працях, 7 з яких у фахових виданнях ВАК України.

**Структура і обсяг роботи.** Дисертаційна робота складається з вступу, п'яти розділів, висновків і шести додатків. Матеріал викладено на 223 сторінках, з них список використаних джерел з 154 найменувань - 14 стор., додатки - 46 стор. Робота містить 50 рисунків та 18 таблиць.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

**У вступі** висвітлено сутність наукової проблеми, сформульовано мету та визначено завдання досліджень, висвітлено наукову новизну, подано відомості про особистий внесок здобувача та приведена інформація про апробацію результатів роботи.

**У першому розділі** проаналізовано сучасний стан розвитку динамічних випромінювачів звуку, як основного елемента високоякісних акустичних систем та зроблено постановку задач досліджень. Відзначено тенденцію переходу від

звичайних конічних дифузорів головок ВЗ до плоских діафрагм ВЗ, популярність ізодинамічних електроакустичних перетворювачів. Обґрунтовано необхідність подальшого покращення якісних показників акустичних систем; збільшення переліку нових матеріалів, що призначені для виготовлення дифузорів і магнітних систем головок випромінювачів, з метою покращення їх характеристик. Встановлено відсутність методів, які враховують кореляцію між акустичними і тепловими характеристиками ВЗ, та вплив теплових характеристик на акустичні відсутні.

В розділі показано, що характеристики високоякісної акустичної системи в значній мірі залежать від характеристик динамічних випромінювачів звуку, для покращення яких необхідно провести ряд досліджень.

Встановлено, що удосконалення конструкції динамічних випромінювачів звуку слід проводити у напрямках підвищення коефіцієнта корисної дії; підвищення потужності; розширення діаграми направленості; розширення смуги відтворення в область низьких частот (НЧ); покращення рівномірності амплітудно-частотної (АЧХ) та фазочастотної (ФЧХ) характеристик, дослідження температурного поля звукової котушки (ЗК) та впровадження заходів для зменшення величини нагрівання котушки.

Обґрунтовано, що на ККД та рівень вихідного звукового тиску найсуттєвіший вплив має температура звукової котушки. Для того, щоб дослідити АЧХ, ФЧХ, параметри ВЗ, доцільним є побудова математичних моделей динамічних випромінювачів звуку, на основі яких можна створити автоматизовану систему контролю для випромінювачів даних типів.

Проаналізовано способи вимірювань характеристик та параметрів електродинамічних випромінювачів. Встановлено, що серед них відсутній контроль теплових характеристик випромінювачів, хоча інформативним параметром є температура звукової котушки, оскільки власне вона пов'язана з коефіцієнтом корисної дії.

*В другому розділі* обґрунтовано необхідність проведення математичного моделювання електродинамічних випромінювачів звуку як оптимального підходу до розв'язку системної задачі. Показано, що дослідження теплових режимів ВЗ дозволить розв'язати актуальну задачу оптимізації конструкції випромінювача за всіма характеристиками, насамперед, за значенням ККД. Проведено аналіз методів досліджень відомих характеристик випромінювачів звуку.

Метою дослідження та математичного моделювання випромінювачів звуку даного типу є визначення характеру розподілу температур в об'ємі повітряного зазору звукової котушки. При цьому досліджується вплив конструктивних параметрів ЗК на процес теплопередачі з метою вибору оптимального варіанту конструкції, який забезпечує мінімальний її нагрів.

Для математичного моделювання теплових характеристик випромінювача звуку застосовано апарат електроакустичних аналогій.

Моделювання теплофізичних процесів при роботі випромінювача звуку динамічного типу здійснено на основі схеми заміщення теплових потоків, яка дозволила аналітично дослідити теплові та енергетичні характеристики випромінювачів, зокрема рух теплових потоків в зазорі між звуковою котушкою і магнітом. Для цього елемента випромінювача отримана система рівнянь, яка характеризує вказані теплові характеристики. Ця система характеризується окремими підсистемами, які описують три способи перенесення тепла (кондуктивний, конвективний і випромінюванням) з врахуванням конструктивних особливостей ВЗ:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{j=i+1}^{N+1} \sigma_{ij} (T_j - T_i) = P_j - \text{рівняння теплового балансу;} \\ T_j = T_c + \sum_{i=1}^N F_{ij} P_i - \text{рівняння температури елементів випромінювача звук;} \\ R_T = \frac{l_T}{\lambda S_T} - \text{кондуктивний тепловий опір;} \\ Q = I^2 R_M = \left[ -\frac{\mu_1 \mu_0}{2} \cdot \frac{W^2 S}{h_K} \right]^2 \frac{U_{3K}}{Z^2} \cdot \frac{W^2}{R_M} - \text{кількість теплоти, що виділяється} \\ \text{при протіканні вихрових струмів;} \end{array} \right. \quad (1)$$

де  $\sigma_{ij}$  – теплові провідності від тіла  $i$  до тіла  $j$  Вт/К;  $T_i, T_j$  – температура  $j$ -го та  $i$ -го тіл  $^{\circ}\text{C}$ ;  $P_j, P_i$  – потужність джерела в  $i$  і  $j$ -й точці системи Вт;  $T_c$  – температура оточуючого середовища  $^{\circ}\text{C}$ ;  $N$  – число областей, з яких складається дана система;  $F_{ij}$  – теплові коефіцієнти, які не залежать від температури зовнішнього середовища;  $S_T$  – площа теплообміну,  $\text{м}^2$ ;  $\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності матеріалу,  $\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$ ;  $l_T$  – довжина шляху теплового потоку, м;  $\mu_1, \mu_0$  – магнітна проникність керна і повітря;  $W$  – число витків;  $S$  – площа поперечного перерізу витків і керна,  $\text{м}^2$ ;  $h_K$  – висота котушки, м;  $U_{3K}$  – напруга, яка підводиться до ЗК, В;  $R_M$  – опір матеріалу керна (фланців) Ом;  $Z$  – повний електричний опір;  $T_{nc}$  – температура навколишнього середовища,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $S_T$  – площа тепловідвідної поверхні,  $\text{м}^2$ ;

$$\left\{ \begin{array}{l} R_K = \frac{1}{\alpha_K S_K} - \text{конвективний тепловий опір;} \\ P_{ic} = \alpha_{ic} (t_i - t_c) S_i - \text{теплообмін з оточуючим середовищем;} \\ \gamma_K = \frac{\lambda_K}{h} \cdot 0,18 (\text{Gr}, \text{Pr})^{0,25} = \frac{\lambda_K}{h} \cdot 0,8 \cdot \gamma \left[ (T_i - T_j) \text{Pr} \cdot \frac{g h^3}{\nu^2} \beta \right]^{0,25} - \text{природний} \\ \text{конвективний теплообмін в прошарках динамічного випромінювача звуку;} \end{array} \right. \quad (2)$$

де  $P_{ic}$  – потужність випромінювання від звукової котушки в оточуюче середовище, Вт;  $\lambda_k$  – коефіцієнт теплопровідності повітря, Вт/мК;  $h$  – товщина повітряного зазору, м;  $\nu$  – коефіцієнт кінематичної в'язкості повітря, м<sup>2</sup>/с;  $\beta$  – коефіцієнт об'ємного розширення повітря, 1/К;  $Pr$ ,  $Gr$  – критерій Прандтля і Грасгофа;  $g$  – прискорення вільного падіння 9,8м/с<sup>2</sup>;

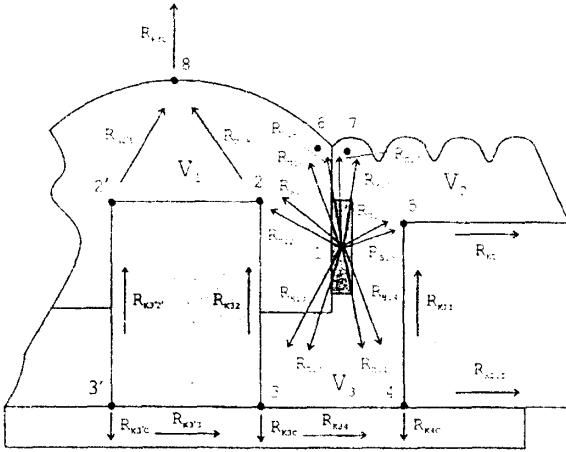
$$\left\{ \begin{array}{l} R_B = \frac{1}{\alpha_B S_B} - \text{тепловий опір випромінювання;} \\ \alpha_{ijB} = \varepsilon_{пріj} \cdot \varphi_{ij} \cdot f(t_i, t_j) - \text{коефіцієнт теплопередачі випромінюванням;} \\ f(t_i, t_j) = 5,67 \cdot \frac{\left(\frac{t_i + 273}{100}\right)^4 - \left(\frac{t_j + 273}{100}\right)^4}{t_i - t_j} - \text{функція температур поверхні ВЗ;} \\ \varepsilon_{пріj} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_i} + \left(\frac{1}{\varepsilon_j} - 1\right) \varphi_{ij}} - \text{коефіцієнт опромінення;} \end{array} \right. \quad (3)$$

де  $\varepsilon_{пріj}$  – приведений коефіцієнт чорноти поверхні пари тіл, який є функцією ступеня чорноти  $\varepsilon_i$  і  $\varepsilon_j$  взаємодіючих поверхонь;  $\varphi_{ij}$  – коефіцієнт опромінення (взаємної опроміненості) сусідніх компонентів;  $\alpha_{ijB}$  – коефіцієнт теплопередачі випромінюванням від тіла  $i$  до тіла  $j$ ;  $\alpha_B$  – коефіцієнт теплопередачі випромінюванням.

Для розробки конструкції ВЗ з мінімальними тепловими втратами здійснено перехід від рівнянь математичної моделі до реальних елементів конструкції. З цієї метою побудована еквівалентна тепла схема електродинамічного випромінювача звуку, в основі якої лежить подібність між рівняннями, що описують коливні явища різної фізичної природи – механічні і електричні. Тому розв'язок механічної задачі замінено розв'язком відповідної електротехнічної задачі.

Побудова еквівалентної схеми лежить в основі створення теплової моделі випромінювача, яка дозволяє теоретично дослідити зниження температури котушки і розробити методику вимірювання залежності звукової потужності від температури звукової котушки. Для цього досліджувався рух теплових потоків електродинамічного ВЗ, схематично представлений на рис.1, де ізотермічні поверхні показані точками, ідеальні теплові зв'язки – лініями, теплові опори – символами зосереджених електричних опорів, вузлова точка, яка відповідає середовищу, на схемі позначається символом “земля”. Представлена тепла схема відображає процес теплообміну середовища і елементарної ділянки з внутрішнім джерелом тепла.





$R_{k}$  - конвективний опір;  $R_{r}$  - опір випромінювання;  
 $R_{c}$  - кондуктивний опір

Рис. 1. Рух теплових потоків електродинамічного випромінювача звуку

Для проведення таких експериментальних досліджень з метою встановлення взаємозв'язку теплових і якісних характеристик ВЗ розроблено лабораторний стенд, з допомогою якого отримані значення температури звукової котушки, які впливають на звуковий тиск, ККД та діаграму направленості.

При контролі розподілу теплового потоку по довжині дослідної звукової котушки для експериментального випромінювача отримане температурне поле, представлено на рис.2.

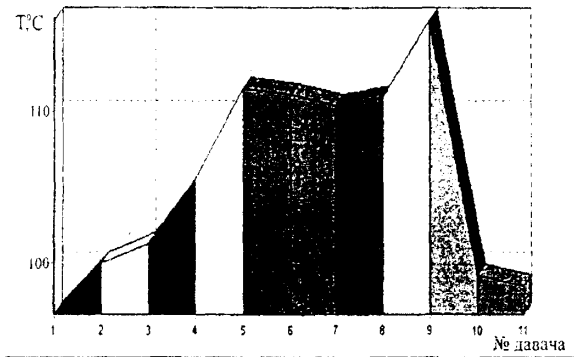


Рис.2. Температурне поле звукової котушки

За результатами дослідження теплових потоків отримана схема заміщення теплових контактів і потоків електричними аналогами для стандартного та удосконаленого випромінювачів звуку.

Результати розрахунку середньої температури елементів теплової моделі динамічних випромінювачів звуку різноманітних конструкцій використано для їх удосконалення. З цією метою було проведено експериментальні дослідження температурних зон ВЗ.

Для забезпечення мінімального значення похибки при вимірюванні температури визначено необхідну відстань між давачами при контролі розподілу теплового поля по довжині дослідної звукової котушки для експериментального випромінювача. При розмірі давачів 1,2x1,0 мм оптимальна відстань між ними становить 6,49 мм.

Вірогідність розробленої моделі була підтверджена

експериментальними дослідженнями з визначення теплових режимів роботи динамічних випромінювачів звуку, результати яких подані на рис.3

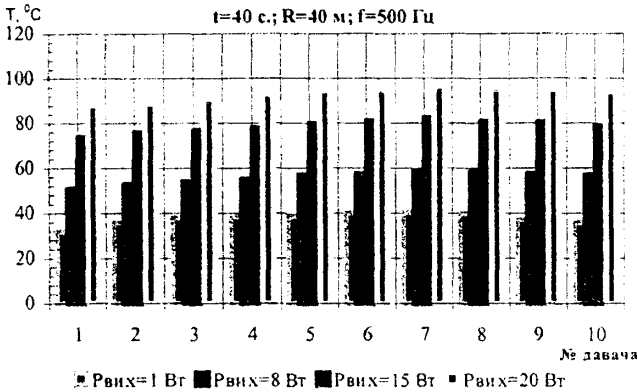


Рис. 3. Температурні характеристики ЗК при роботі ВЗ на різних потужностях і частотах

Аналіз отриманих залежностей дозволяє зробити висновок про оптимальні режими роботи ВЗ і таким чином створити інженерну методику розроблення ВЗ під задані параметри з мінімальними тепловими втратами.

У *третьому розділі* здійснено дослідження систем контролю теплових і акустичних характеристик електродинамічних випромінювачів звуку.

На основі аналізу існуючих систем контролю якості встановлено, що в даний час відсутні системи, які б здійснювали контроль не тільки за акустичними, а і за тепловими характеристиками, що давало б змогу найбільш повно оцінити випромінювач. Тому необхідним є створення системи, яка б здійснювала контроль ВЗ за мінімальною кількістю параметрів (звуковий тиск і температурне поле ЗК) з максимальною їх вірогідністю.

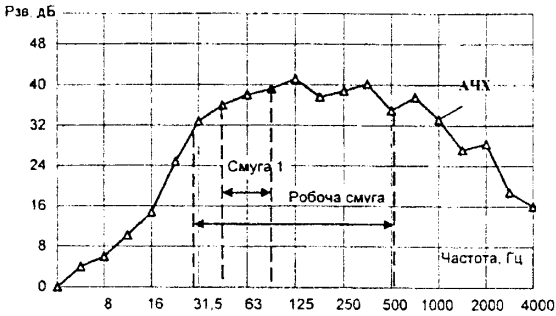
Для підтвердження вищенаведених теоретичних міркувань щодо впливу температури звукової котушки на характеристики ВЗ проведено ряд експериментальних досліджень. При цьому стандартні ВЗ доповнювались пристроями вимірювання температури згідно з викладками з розділу 2. Для вимірювання температури звукової котушки ВЗ використано термометри опору типу ТТР – 3, що характеризуються багатофункціональністю, високою точністю, призначенням для паралельного вимірювання багатьох параметрів, високою швидкістю, малою інерційністю, малими габаритами і масою, лінійною залежністю опору від температури, мають тонкі і гнучкі виводи. З метою можливості проведення суцільного контролю ВЗ термочутлива резистивна плівка вводилась в звукову котушку безпосередньо в процесі її виготовлення.

Розроблена система контролю теплових і акустичних характеристик випромінювачів звуку (рис.4) складається з двох вимірювальних трактів: акустичного і термодинамічного.



Функція системи вимірювання вібрації і звукового тиску полягає в тому, що при перевищенні заданої температури або вібрації СЗЗ зменшує підсилення ПНЧ, а при різкому стрибкоподібному підвищенні температури САС вимикає ВЗ.

Розроблена система для автоматизованого контролю динамічних випромінювачів звуку дозволяє з похибкою 1,5% визначати виробничі дефекти випромінювачів, контролювати температурні характеристики ВЗ, які раніше не контролювались і не нормувались стандартами. Це дозволяє підвищити надійність і ККД випромінювачів, а також проводити наукові дослідження з метою проектування нових типів ВЗ. Для експериментальних досліджень спроектованої системи контролю динамічних випромінювачів звуку розроблено та виготовлено взірєць активного ВЗ.



Результати експериментальних досліджень амплітудно-частотної характеристики і зон формування температурної стабілізації та поршневого режиму роботи стандартного випромінювача звуку на базі спроектованої системи контролю приведено на рис.6.

Рис.6. АЧХ стандартного випромінювача звуку

Як слідує з наведених результатів експериментальних досліджень (рис.7), при роботі випромінювача звуку відбувається формування ділянки температурної стабілізації звукової котушки.

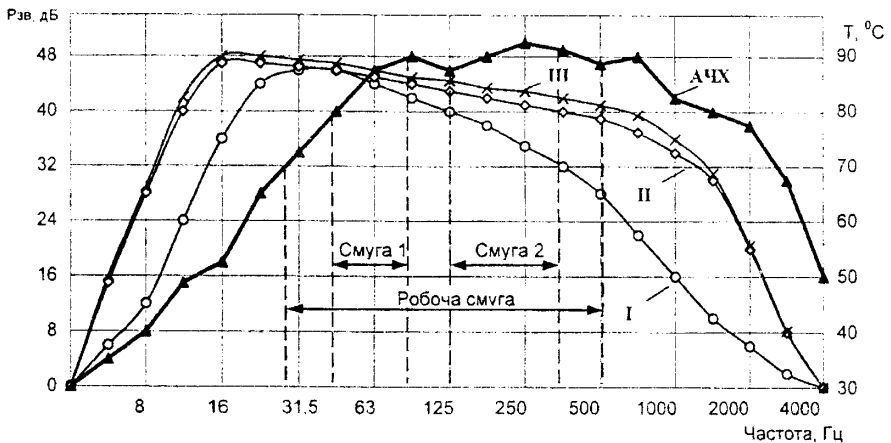


Рис. 7. Теплові та акустичні характеристики удосконаленого ВЗ

На графіку I показана нестабільність температури протягом 3 хв. роботи ВЗ, графічна залежність II ілюструє встановлення температури і механізм стабілізації формування зони сталої температури ЗК через 10 хв. від початку роботи ВЗ, на графіку III зображено завершення температурної стабілізації ЗК.

Як результат при досягненні температурної стабілізації ВЗ збільшується поршневий режим роботи випромінювача і його коефіцієнт корисної дії підвищується на 13,3% (рис. 8).

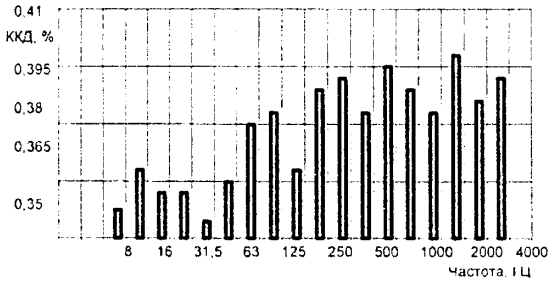
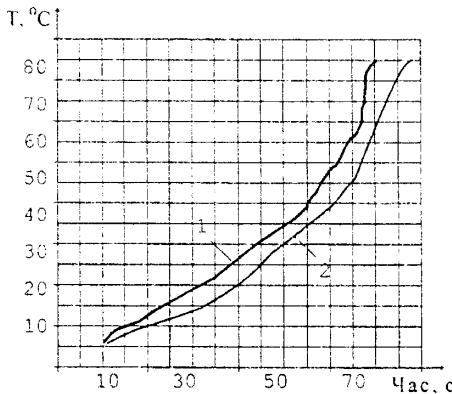


Рис.8. Підвищення коефіцієнтів корисної дії ВЗ

Для проведення експериментальних досліджень розроблено модифіковану конструкцію випромінювача звуку з додатковим охолодженням ЗК. Для цього керн виконаний з отворами, сумарна площа яких становить 20% від площі повітряного зазору ЗК.

За результатами досліджень встановлено, що температурне поле такого випромінювача суттєво відрізняється від поля стандартного випромінювача (рис.9).



I - випромінювач звуку 20ГДС-3; 2 - модифікований випромінювач звуку

Рис.9. Зміна температури котушки в часі

Експериментально отримані значення коефіцієнтів корисної дії підтверджують результати аналітичних досліджень.

*Четвертий розділ* присвячений експериментальним дослідженням випромінювачів звуку та розробці акустичної системи з покращеними акустичними характеристиками.

Температура звукової котушки модифікованого ВЗ суттєво зменшилась через процеси теплообміну: інтенсивну конвекцію повітря через отвори в керні і обдування ЗК холодними потоками повітря внаслідок руху центруючої шайби, завдяки чому в звуковому зазорі ЗК утворюються повітряні потоки. Швидкість руху потоків повітря залежить від частоти переміщення центруючої шайби і ЗК. Це переміщення на низьких частотах є найбільшим і швидкість повітря тому най-

вища. Тому при роботі ВЗ на низьких частотах температура ЗК понижується від 2 до 14 °С, що автоматично підвищує коефіцієнт корисної дії і розширює діапазон робочих частот ВЗ.

В ході експерименту було виявлено розміщення теплових зон з найбільшим перегрівом звукової котушки.

Оскільки вплив температури ЗК на роботу ВЗ є набагато більшим, ніж вплив гнучкості підвісів, то її зменшення для електродинамічного перетворювача звуку дасть змогу задавати більші робочі потужності та розширити діапазон робочих частот.

На основі отриманих результатів досліджень акустичної системи розроблено алгоритм оптимального конструювання випромінювачів на будь – яку потужність, причому критерієм рекомендовано вибирати коефіцієнт корисної дії. Використання спроектованої системи контролю дає змогу оцінити і відкоректувати акустичні характеристики таких випромінювачів у необхідному напрямку. Це відкриває шлях до створення високо потужних акустичних систем (АС), які б мали високу якість звуковідтворення.

У *п'ятomu розділі* проведено метрологічний аналіз системи контролю теплових і акустичних характеристик динамічних випромінювачів звуку. Оскільки в даній системі контроль випромінювачів звуку здійснюється шляхом вимірювання їх теплового поля, то метрологічний аналіз системи полягає саме у визначенні похибки вимірювання температури в різних точках випромінювача з подальшим аналізом всього теплового поля для визначення його якісних показників. Вирішення такої багатопараметричної задачі метрологічного аналізу системи здійснено структурним методом, що полягає в розкладанні сумарної похибки на окремі складові, які можна визначити експериментальним шляхом, або аналітично. Встановлені такі складові сумарної похибки вимірювання і визначено їх наближені значення:

похибка, зумовлена невідповідністю реального геометричного розташування давачів від встановленого теоретично становить 0,06%;

- похибка зумовлена нелінійністю статичної характеристики давача температури, максимальне значення якої на середніх частотах становить 0,36%;
- похибка перетворення напруги в звуковий тиск випромінювачем звуку становить 0,99%;
- похибка зумовлена відхиленням частотних характеристик генератора від заданих є незначною і становить 0,03%;
- похибка від наводок в лініях зв'язку становить 0,05%.

В процесі метрологічних досліджень вияснено природу і визначено числові значення кожної окремої складової похибки. Для кожної складової спочатку було визначено її середнє квадратичне відхилення (скв). Значення зведеної сумарної похибки було знайдене через розраховане значення скв і визначений ентропійний коефіцієнт відповідно до встановленого нормального закону розподілу сумарної

похибки. Відносна похибка визначення теплових і акустичних параметрів ВЗ для системи контролю динамічних випромінювачів звуку складає 1,3%.

## ВИСНОВКИ

В роботі вирішена науково-практична задача створення системи контролю теплових та акустичних характеристик динамічних випромінювачів звуку, для чого:

1. Експериментально досліджено теплові характеристики динамічних випромінювачів звуку і встановлено, що існує взаємозв'язок між тепловими і акустичними характеристиками таких випромінювачів, який визначається опосередковано через коефіцієнт корисної дії випромінювача.

2. Показано, що потужність акустичного випромінювання визначається не тільки потужністю електричного сигналу, але й ступенем нагрівання звукової котушки, що проявляється в нерівномірності АЧХ, яка складає 2-4 дБ.

3. Встановлено, що існують зони перегріву звукової котушки, які можуть сягати 75% площі поверхні котушки, усунення яких за розробленою методикою дало можливість розробити випромінювачі звуку з оптимальними тепловими режимами.

4. Розроблено математичну модель, яка відтворює теплові процеси у випромінювачах, на основі якої побудовано еквівалентну теплову схему динамічного випромінювача звуку з використанням методу аналогії, зокрема електроакустичної та узагальненої теорії електричних кіл для моделювання підсистем різної природи.

5. Розроблено систему для суцільного (вибіркового) контролю теплових і акустичних характеристик випромінювачів звуку безпосередньо в умовах виробництва, сумарна відносна похибка вимірювання якої не перевищує 1,3%, що дозволяє істотно підвищити якісні характеристики звуковідтворення.

6. Досліджено випромінювач з покращеними тепловими характеристиками і показано, що шляхом введення додаткового конвективного охолодження коефіцієнт корисної дії підвищується на 0.13%.

7. Розроблено акустичну систему з гладкою АЧХ, розширеним діапазоном відтворення та зменшеним рівнем лінійних, нелінійних і фазових спотворень, що досягнуто шляхом зниження температур ЗК на 12<sup>0</sup>С для ВЗ удосконаленої конструкції, що підтверджено результатами впровадження.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Піндус Н.М. Прилад контролю якості динамічних випромінювачів звуку // Вісник національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут". Приладобудування. № 24 // 2002. -С.27-32.

2. Піндус Н.М. Електродинамічний здвосний низькочастотний випромінювач звуку з контролем технологічних параметрів // *Методи та прилади контролю якості*. 2003. - №11.-С. 91-94.
3. Ващишак С.П., Чеховський С.А., Піндус Н.М. Моделювання процесів у звукозаглушених камерах для автоматизованих систем контролю якості випромінювачів звуку // *Методи та прилади контролю якості*. 1997.-№1.-С.25-29.
4. Ващишак С.П., Чеховський С.А., Піндус Н.М. Аналіз впливу теплових характеристик здвосних низькочастотних гучномовців на їх якісні параметри // *Методи та прилади контролю якості*. 1999. - №4.-С. 76-79.
5. Ващишак С.П., Чеховський С.А., Піндус Н.М. Математичне моделювання процесів теплообміну в електродинамічних випромінювачах звуку // *Методи та прилади контролю якості*. 2000. - №5. – С.75-79.
6. Ващишак С.П., Піндус Н.М. Енергетичні аспекти синтезу та контролю параметрів високоякісних випромінювачів звуку // *Вісник державного університету "Львівська політехніка". Проблеми економії енергії. № 2 // 3б. наук. праць*. Львів: Вид-во ДУ "Львівська політехніка".- 1999.- С.59-62.
7. Ващишак С.П.,Чеховський С.А., Піндус Н.М. Системи контролю параметрів випромінювачів звуку // *Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. Сер. Технічна кібернетика та електрифікація об'єктів паливно-енергетичного комплексу // Державний міжвуз. наук.техн. зб.- Івано-Франківськ: ІФДТУНГ-1997.-Вип.34.-С. 255-263.*
8. Чеховський С.А., Ващишак С.П., Витвицька Л.А., Піндус Н.М. Системи контролю якості для дослідження теплофізичних процесів в електродинамічних гучномовцях // *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*. 2002 .-№2.-С. 14-16.
9. Бербець Т.О., Піндус Н.М. Інваріантні системи // *Тези наук.-техн. конф. проф.-викл. складу універс. нафти і газу. Ів-Франківськ, 1997. –С.26.*
10. Піндус Н.М. Прилад контролю якості динамічних випромінювачів звуку // *Тези доповідей першої наук.-техн. конф. "Приладобудування 2002: Підсумки і перспективи"*.- Київ: МПП "ТЕМП".-2002. -С.98-99.
11. Піндус Н.М., Ващишак С.П., Бербець Т.О., Кропивницька В.Б. Розробка та дослідження удосконаленої конструкції динамічного випромінювача звуку // *Тези доповідей наук.-техн. конф. "Приладобудування 2003: стан і перспективи"*. - Київ: НТУУ "КПІ".- 2003. -С.100.

## АНОТАЦІЯ

**Піндус Н.М. Система контролю теплових і акустичних характеристик динамічних випромінювачів звуку. – Рукопис.**



Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.13 – Прилади і методи контролю та визначення складу речовин. – Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Івано-Франківськ, 2004.

Робота присвячена контролю динамічних випромінювачів звуку.

Розроблено методіку контролю теплових характеристик випромінювачів звуку. Розроблено математичну модель, яка пов'язує теплові і акустичні характеристики ВЗ, що дало можливість дослідити оптимальні режими роботи випромінювача звуку та залежність основних параметрів ВЗ від його теплових характеристик. Таким чином отримана методіка розробки ВЗ під задані параметри з мінімальними тепловими втратами. Побудовано еквівалентну теплову схему динамічного випромінювача звуку з метою переходу від рівнянь математичної моделі до реальних елементів конструкції.

Розроблено систему контролю теплових і акустичних характеристик ВЗ, яка дає можливість здійснювати суцільний контроль цих характеристик безпосередньо в умовах виробництва, а також проводити наукові дослідження з метою проектування нових типів випромінювачів.

Розроблено удосконалену конструкцію ВЗ з додатковим охолодженням і контролем температури звукової котушки, вібрації корпусу та звукового тиску. Спроектовано акустичну систему з покращеною АЧХ, розширеним діапазоном відтворення та зменшеним рівнем лінійних, нелінійних і фазових спотворень.

Основні результати роботи знайшли промислове впровадження на ВАТ “Карпати”, ТзОВ “ПК-Сервіс”(м. Івано-Франківськ).

Ключові слова: ТЕПЛОВІ І АКУСТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ДИНАМІЧНИЙ ВИПРОМІНЮВАЧ ЗВУКУ, СИСТЕМА КОНТРОЛЮ, АКУСТИЧНА СИСТЕМА, ТЕМПЕРАТУРНЕ ПОЛЕ.

## АННОТАЦИЯ

**Пиндус Н.Н. Система контроля тепловых и акустических характеристик динамических излучателей звука – Рукопись.**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.13 – Приборы и методы контроля и определения состава веществ. – Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, Ивано-Франковск, 2004.

Работа посвящена контролю излучателей звука динамического типа.

На качество работы звуковоспроизводящего тракта наибольшее влияние имеют акустические системы. В этих системах большей частью применяют электродинамические излучатели звука для которых характерными являются высокие технологические и экономические показатели.

В условиях современного производства проводится, в основном, сплошной контроль технических характеристик электроакустической аппаратуры.

Характеристики высококачественной акустической системы в значительной мере зависят от характеристик динамических ИЗ, для улучшения которых необходимо провести ряд исследований.

Доказано, что усовершенствование конструкции динамических ИЗ следует проводить в направлениях повышения коэффициента полезного действия; повышения мощности; расширения диаграммы направленности; расширение полосы воспроизведения в область низких частот; улучшения равномерности амплитудно-частотной и фазочастотной характеристики, исследования температурного поля звуковой катушки и внедрения мер по уменьшению величины нагрева катушки.

Доказано, что на КПД и уровень исходного звукового давления наибольшее влияние имеет температура звуковой катушки. Для того, чтобы исследовать АЧХ, ФЧХ, параметры излучателя звука, целесообразным является построение математических моделей динамических ИЗ целью которых является исследование и математическое моделирование излучателей для определения характера распределения температур в воздушном пространстве между магнитной системой и звуковой катушкой. При этом было исследовано влияние конструктивных параметров звуковой катушки на процесс теплопередачи с целью выбора оптимальной конструкции, который обеспечивает ее минимальный нагрев. Для математического моделирования тепловых характеристик ИЗ использован аппарат электроакустических аналогий. Моделирование теплофизических процессов при работе ИЗ осуществлено на основании схем замещения тепловых потоков, которые позволили аналитически исследовать тепловые и энергетические характеристики излучателей, в частности движение тепловых потоков в зазоре между звуковой катушкой и магнитом. Результаты расчета средней температуры элементов тепловой модели динамических излучателей звука разных конструкций использованы для усовершенствования конструкции излучателей данного типа. С этой целью было проведено экспериментальное исследование температурных зон ИЗ по разработанной методике. Суть методики заключается в измерении параметров излучателя, которые воздействуют на звуковое давление, коэффициент полезного действия и диаграмму направленности. Для проведения экспериментальных исследований с целью определения взаимосвязи тепловых и качественных характеристик ИЗ разработан лабораторный стенд. Разработана математическая модель, которая связывает тепловые и акустические характеристики излучателей звука, что дало возможность исследовать оптимальные режимы работы и зависимость основных параметров ИЗ от его тепловых характеристик. Таким образом получена методика разработки ИЗ под заданные параметры с минимальными тепловыми потерями. Построена эквивалентная тепловая схема динамического излучателя звука с целью перехода от уравнений математической модели к реальным элементам конструкции.

На основании результатов теоретических и экспериментальных исследований была создана автоматизированная система контроля тепловых и акустических характеристик для излучателей данных типов.

Разработана система контроля тепловых и акустических характеристик излучателей звука, что позволяет определять производственные дефекты излучателей, контролировать температурные характеристики ИЗ, которые раньше не контролировались и не нормировались стандартами. Это позволяет повысить надежность и КПД излучателей звука, а также проводить научные исследования с целью проектирования новых типов излучателей, а также для сплошного контроля акустических характеристик излучателя звука и максимальной температуры звуковой катушки непосредственно в условиях производства. Экспериментальные исследования теплофизических характеристик динамических излучателей звука проведены с помощью микросенсорных преобразователей, а обработка результатов осуществлена с использованием теории измерений и теории погрешностей. Разработана усовершенствованная конструкция ИЗ с дополнительным охлаждением и контролем температуры звуковой катушки, вибрации корпуса и звукового давления. Спроектирована акустическая система с улучшенной АЧХ, расширенным диапазоном воспроизведения и уменьшенным уровнем линейных, нелинейных и фазовых искажений.

Проведен метрологический анализ системы контроля динамических ИЗ, который состоит в определении погрешности измерений температуры в разных точках излучателя с дальнейшим анализом всего теплового поля для определения его качественных показателей. Решение такой многопараметрической задачи метрологического анализа системы осуществлено структурным методом, который состоит в разделении погрешности на отдельные составляющие, которые можно определить экспериментальным или аналитическим путем.

Основные результаты работы нашли промышленное внедрение на ОАО "Карпаты" и ООО "ПК-Сервис" (г. Ивано-Франковск).

Ключевые слова: ТЕПЛОВЫЕ И АКУСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ДИНАМИЧЕСКИЙ ИЗЛУЧАТЕЛЬ ЗВУКА, СИСТЕМА КОНТРОЛЯ, АКУСТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА, ТЕМПЕРАТУРНОЕ ПОЛЕ.

#### ABSTRACT

**Pindus N.M. The system of the checking heat and acoustic features of the dynamic type sound radiators. - Manuscript.**

Thesis for a candidate's degree by speciality 05.11.13 - instruments and methods of the checking and determinations of the composition material.-The Ivano-Frankivsk National Technical University of Ukraine, Lviv, Ivano-Frankivsk, 2004.

Work is dedicated to the development of the dynamic type sound radiators and its based on making the automatic checking, which allowed to create the electro-dynamic facilities with high acoustic features.

The methods of the checking the heat features of sound radiators was designed. It is designed mathematical model, which links heat and acoustic features of sound radiators that enabled to research the optimum state of working sound radiators and dependency main parameter sound radiators from its heat features. The equivalent heat scheme of the dynamic sound radiators was built for the reason transition from equations of the mathematical model to real element of the designs.

It is designed system of the checking heat and acoustic features of the sound radiators that allows to raise reliability and coefficient of efficiency loudspeakers, as well as conduct the scientific studies for the reason designing the new types radiators, as well as for utter checking the acoustic features sound radiators and maximum temperature of the sound spool right in condition production. The advanced design of the sound radiators is designed with additional cooling and checking the temperature of the sound spool, vibrations of the body and sound pressure. The acoustic system with perfected amplitude-frequency feature, extended range of the reproduction and reduced level linear, nonlinear and phase distortion was designed.

The Keywords: HEAT AND ACOUSTIC FEATURES, SOUND RADIATORS. SYSTEM OF THE CHECKING, ACOUSTIC SYSTEM, WARM-UP FIELD.