

МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОВИХ ПРОЦЕСІВ ПРИ ВИПРОМІНЕННІ ЗВУКУ ЕЛЕКТРОДИНАМІЧНИМИ ГУЧНОМОВЦЯМИ З МЕТОЮ ОЦІНКИ ЇХ КОЕФІЦІЄНТА КОРИСНОЇ ДІЇ

© Чеховський С.А., Костишин В.С., Ващишак С.П., Піндус Н.М., 2004
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Теоретично досліджено температурне поле звукової котушки електродинамічного гучномовця шляхом синтезу його теплової моделі. Встановлено причини пониження середньої температури поля, визначено методи покращення теплових характеристик, які дозволяють уникнути руйнування котушки

Електродинамічні гучномовці (ГМ) – багатоланкові коливні системи, які складаються з декількох взаємопов'язаних елементів, характеризуються різними (електричними, механічними і акустичними) фізичними процесами, для яких характерним є той факт, що вони за динамічними властивостями відносяться до класу об'єктів з вимушеними коливаннями. Якщо вважати вхідною величиною електричний сигнал, а вихідною – акустичне випромінювання, то співвідношення їх потужностей формує коефіцієнт корисної дії, значення якого у кінцевому випадку є одним з головних показників якості ГМ. Зазначимо, що власне теплові характеристики, які за своєю фізичною природою слід віднести до витратних, формують значення цього коефіцієнта.

З позицій системного підходу ГМ слід представляти як складну технічну систему, яку умовно можна розділити на декілька підсистем різної фізичної природи:

- електричну (звукова котушка (ЗК)),
- механічну (рухома системи головки),
- акустичну (мембрана),
- теплову (зовнішня поверхня ЗК).

Використання єдиної теорії кіл [1], що лежить в основі дослідження сучасних технічних систем, дає змогу уніфікувати методику моделювання підсистем різної фізичної природи та візуалізувати фізичні процеси енергообміну між ними на основі закону збереження енергії. При моделюванні на макрорівні геометричні розміри об'єкта дослідження (ділянки ГМ), як правило, є набагато менші за мінімальну довжину хвилі, що поширюється в ньому. В цьому випадку єдиною неперервною незалежною змінною залишається тільки час t і кожну підсистему можна (при певних допущеннях) замінити деяким розрахунковим еквівалентом - системним колом, яке представляє собою сукупність з'єднаних між собою зосереджених активних та пасивних елементів, через які генерується, трансформується, передається та

споживається енергія.

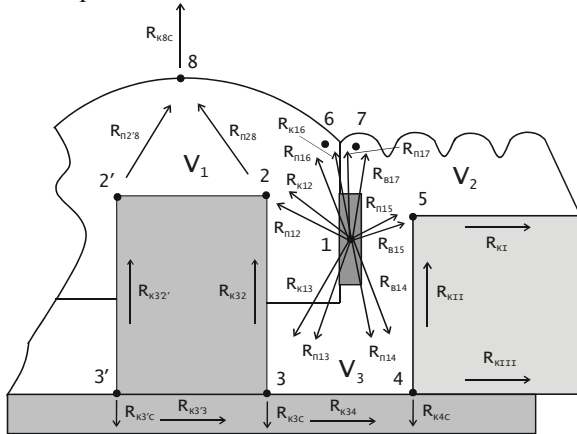
Відомо [4], що математичні моделі всіх вказаних підсистем ГМ в першому наближенні описуються однаковими алгебраїчними та лінійними диференціальними рівняннями. З другого боку, бурхливий розвиток електро- і радіотехніки призвів до більш повного дослідження електричних систем, що спричинило широке використання методів електро-механічної, електрогідролічної, електроакустичної та інших аналогій для опису підсистем іншої фізичної природи. Застосування вказаних методів базується на систематичному переносі теорії електричних кіл в механіку, гідравліку (пневмоніку) та теплотехніку. При цьому основні електричні рівняння переходять у відповідні механічні, пневмогідролічні, та теплові співвідношення, що завжди виконуються і на основі яких можна складати колові схеми та аналізувати їх тими ж добре розвиненими методами, що і електричні кола [1].

Виходячи з вказаних міркувань виконаємо синтез еквівалентної схеми (теплової моделі) випромінювача, за допомогою якої стає можливим проведення теоретичних досліджень можливостей пониження температури ЗК і розробка методики визначення залежності звукової потужності від температури ЗК методом послідовного наближення.

Подамо котушку як точкове джерело тепла. Це джерело виробляє тепловий потік і є аналогом ідеального генератора струму в електричній схемі. Теплові зв'язки між тілами і середовищем (кондуктивні, променеві, конвективні) можна розглядати як гіпотетичні провідники тепла, які з'єднані між собою і середовищем. Якщо величини теплових потоків, що протікають між елементами, а також елементами і середовищем, не змінюються вздовж свого шляху, то поверхні провідників можна розглядати як адіабатні, а їх теплові опори – зосередженими [2].

Приймачем теплової енергії є зовнішнє середовище, яке оточує елементарні ділянки, при умові, що

воно володіє нескінченною теплоємністю. Вузлова точка, яка відповідає середовищу, на схемі позначається символом “земля”, як фізична величина з незмінними параметрами. Ізотермічні поверхні на тепловій схемі зображуються точками, ідеальні теплові зв'язки – лініями, а теплові опори – символами зосереджених електричних опорів. Теплова схема, що зображена на рис. 1, відображає процес теплообміну середовища і елементарної ділянки з внутрішнім джерелом тепла.



$R_{\text{Д}}$ – конвективний опір; $R_{\text{В}}$ – опір випромінювання; $R_{\text{К}}$ – кондуктивний опір

Рис. 1. Рух теплових потоків електродинамічного випромінювача звуку

Після наведеного заміщення ліній ходу тепла ЗК можна проаналізувати самі теплові потоки і види передачі тепла. Це дасть можливість прогнозувати та оптимізувати теплові режими динамічного випромінювача звуку з метою створення бази для покращення конструкції випромінювачів звуку в напрямку підвищення їх ККД.

Схема заміщення теплових контактів і потоків електричними аналогами для електродинамічних ГМ наведена на рис. 2.

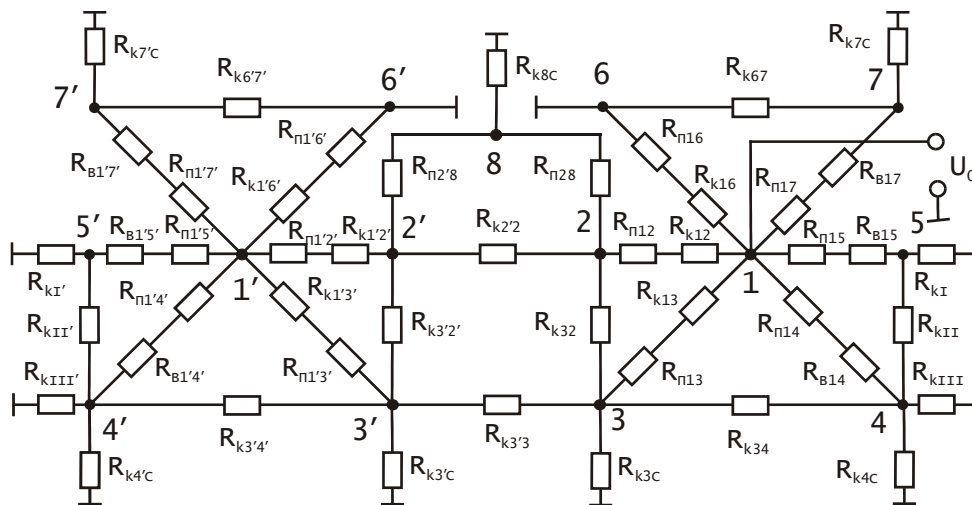


Рис. 2. Схема заміщення теплових контактів і потоків електричними аналогами для електродинамічних ГМ

Аналіз існуючих методів математичного моделювання динамічних ГМ [4] показує, що дослідження роботи кожної окремої конструкції та діапазону відтворюваних частот вимагає створення нової математичної моделі, що потребує трудомістких і суттєвих поправок з затратами відповідних коштів.

Випромінювач звуку можна розглядати як систему багатьох тіл з зосередженими джерелами теплової енергії. Аналіз температурного поля такої системи є достатньо складним завданням, для вирішення якого використовуються наближені методи. В

цьому випадку встановлюється кількісна залежність між температурою визначеного числа найбільш відповідальних частин ГМ і суттєвими факторами, які впливають на процес теплообміну. Однак реалізація такого підходу математичним апаратом здебільшого є неможлива, оскільки теплові процеси в реальній конструкції ГМ, як правило, залежать від великого числа основних і другорядних факторів, кожний із яких має певний вплив на процеси звуковідтворення. Тому при створенні моделі вводимо ряд спрощень і допущень.

Оскільки випромінювачі звуку динамічного типу є багатшаровою структурою, то доцільним стане заміна його конструктивних елементів з різними властивостями квазіоднорідним тілом з ефективними теплофізичними властивостями. Такий підхід суттєво спрощує математичний опис температурного поля і дає можливість знайти значення деяких характерних температур системи, наприклад, середньо-об'ємну температуру, середні значення температури і теплових потоків, з подальшим детальним аналізом температурного поля в середині елементарної ділянки. Значення величини ефективної теплопровідності знаходиться експериментальним шляхом.

Усереднення проводиться в межах елементарної ділянки і завдання зводиться до знаходження теплового опору ділянки при перенесенні теплоти в визначеному напрямку. Для отримання простих наближених залежностей проводиться штучне дроблення поверхні на адіабатні ділянки, а тому вона представляється у вигляді сукупності ділянок з паралельними і послідовними з'єднаннями теплових опорів, які розраховуються за відомими формулами для стінок і повітряних прошарків.

Реалізація моделі можлива при абстрагуванні від вимушеного конвективного переносу тепла, оскільки завдання б зводилось до розв'язання системи диференціальних рівнянь, складові яких самі по собі є нелінійними. Врахування конфігурації поверхні теплообміну є складним, а витіснення об'єму повітря у результаті руху ЗК в порівнянні з об'ємом повітря в середині поверхні ГМ є мізерним. Тому дослідження проводились при стаціонарному режимі роботи ГМ для миттєвого проміжку часу, а процеси електромагнітного і механічного перетворення не розглядалися як об'єкти дослідження для математичного моделювання, оскільки найбільш вагомий вплив теплофізичних процесів присутній саме при електроакустичному перетворенні [3].

Моделювання теплофізичних процесів при роботі ГМ на основі схеми заміщення теплових потоків дало змогу 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 складається з окремих підсистем, які описують три способи перенесення тепла (кондуктивний, конвективний і випромінювання) з врахуванням конструктивних особливостей ГМ [5]:

$$\begin{cases} \sum_{j \neq i=1}^{N+1} \sigma_{ij} (T_j - T_i) = P_j; \\ T_j = T_c + \sum_{i=1}^N F_{ij} P_i; \\ R_T = \frac{l_T}{\lambda S_T}; \\ Q = I^2 R_M = \left[-\frac{\mu_1 \mu_0}{2} \cdot \frac{W^2 S}{h_K} \right]^2 \frac{U_{ЗК}}{Z^2} \cdot \frac{W^2}{R_M}, \end{cases} \quad (1)$$

де перше із рівнянь – рівняння теплового балансу; друге – рівняння температури елементів випромінювача звуку; третє – кондуктивного теплового опору; четверте – кількості теплоти, що виділяється при протіканні вихрових струмів; σ_{ij} – теплові провідності від тіла i до тіла j ; Вт/К; T_i, T_j – температура j -го та i -го тіл, °С; P_j, P_i – потужність джерела в i і j -й точці системи, Вт; T_c – температура оточуючого середовища, °С; N – число областей, з яких складається дана система; F_{ij} – теплові коефіцієнти, які не залежать від температури зовнішнього середовища; S_T – площа теплообміну, м²; λ – коефіцієнт теплопровідності матеріалу, Вт/м·К; l_T – довжина шляху теплового потоку, м; μ_1, μ_0 – магнітна проникність керна і повітря; W – число витків; S – площа поперечного перерізу витків і керна, м²; h_K – висота котушки, м; $U_{ЗК}$ – напруга, яка підводиться до ЗК, В; R_M – опір матеріалу керна (фланців) Ом; Z – повний електричний опір, Ом; T_{nc} – температура навколишнього середовища, °С; S_m – площа тепловідвідної поверхні, м²;

$$\begin{cases} R_K = \frac{1}{\alpha_K S_K}; \\ P_{ic} = \alpha_{ic} (t_i - t_c) S_i; \\ \gamma_K = \frac{\lambda_k}{h} \cdot 0,18 (Gr, Pr)^{0,25} = \\ = \frac{\lambda_k}{h} \cdot 0,8 \cdot \gamma \left[(T_i - T_j) Pr \cdot \frac{gh^3}{\nu^2} \beta \right]^{0,25}, \end{cases} \quad (2)$$

де перша рівність – конвективний тепловий опір; друга – теплообмін з оточуючим середовищем; третя – природний конвективний теплообмін в прошарках динамічного випромінювача звуку; P_{ic} – потужність випромінювання від звукової котушки в оточуюче середовище, Вт; λ_k – коефіцієнт теплопровідності повітря, Вт/мК; h – товщина повітряного зазору, м; ν – коефіцієнт кінематичної в'язкості повітря, м²/с; β – коефіцієнт об'ємного розширення повітря, 1/К; Pr ,

Gr – критерій Прандтля і Грасгофа; g – прискорення вільного падіння, m/c^2 ;

$$\left\{ \begin{array}{l} R_{\theta} = \frac{1}{\bar{\alpha}_{\theta} S_{\theta}}; \\ \bar{\alpha}_{ij\theta} = e_{npj} \varphi_{ij} f(t_i, t_j); \\ f(t_i, t_j) = 5,67 \frac{\left(\frac{t_i + 273}{100}\right)^4 - \left(\frac{t_j + 273}{100}\right)^4}{t_i - t_j}; \\ e_{npj} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_i} + \left(\frac{1}{\varepsilon_j} - 1\right) \varphi_{ij}}, \end{array} \right. \quad (3)$$

де перший вираз – тепловий опір випромінювання; другий – коефіцієнт теплопередачі випромінюванням; третій – функція температури поверхні ГМ; четвертий – коефіцієнт опромінення; ε_{npj} – приведений коефіцієнт чорноти поверхні пари тіл, який є функцією ступеня чорноти ε_i і ε_j взаємодіючих поверхонь; φ_{ij} – коефіцієнт опромінення (взаємної опроміненості) сусідніх компонентів; $\alpha_{ij\theta}$ – коефіцієнт теплопередачі випромінюванням від тіла i до тіла j ; α_{θ} – коефіцієнт теплопередачі випромінюванням.

Здійснений нами аналітичний роз’язок рівнянь моделі та експериментальні дослідження натурального зразка [6] дозволили встановити, що направлена зміна характеру теплових потоків шляхом внесення певних змін у конструкцію ГМ приводить до підвищення коефіцієнта корисної дії на 0,13%. Як уже

було вказано вище, ККД, що визначається співвідношенням енергії акустичного випромінювання та енергії вхідного електричного сигналу за фізичним змістом роботи гучномовця не може перевищувати 1-1,5%. З другого боку, якість відтворення звукового сигналу, яка визначається його частотним спектром, залежить від значення ККД, оскільки високочастотні коливання, як найбільші носії енергії, при низькому ККД будуть спотворюватися. Ось чому, навіть таке, на перший погляд неістотне підвищення ККД дозволяє суттєво підвищити якість звучання ГМ.

1. Костишин В.С. Застосування теорії розмірностей для встановлення точних фізичних аналогій // Методи та прилади контролю якості.-2000.- №6.- С. 69-72. 2. Писаренко Г.С. Рассеяние при колебании механических систем. - К.: Наукова думка, 1968.- 304с. 3. Бревдо В. Б., Лаевский П.Г., Исследование физических процессов теплообмена в электродинамических громкоговорителях. - К.: Наукова думка, 1986.-248с. 4. Системы автоматизированного проектирования: В 9-ти кн. Кн.4. Математические модули технических объектов / В.А.Трудоношин, Н.В.Пивоварова; Под ред. И.П.Норенкова. - М.: Высш. школа, 1986.-160с. 5. Скучик Е. Основы акустики. т. 2.- М.: Мир, 1976.- 542с. 6. Піндус Н.М. Електродинамічний зведений низькочастотний випромінювач звуку з контролем технологічних параметрів // Методи та прилади контролю якості. 2003. - №11.-С. 91-94.