УДК 006.063:648.23(045)

Л. Я. Ільницький, проф., д-р техн. наук,
Х. О. Маєвська, студ.,
Басанський О. А., студ.

ОСОБЛИВОСТІ СЕРТИФІКАЦІЙНИХ ВИПРОБУВАНЬ УЛЬТРАЗВУКОВИХ ПРАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ

Кафедра електродинаміки НАУ, maiskaia@meta.ua

Визначено параметри ультразвукових пральних пристроїв, від яких залежить якість прання. Розглянуто способи оцінювання сили звуку та коефіцієнта концентрації ультразвукових коливань в азимутальній площині. Синтезовано структуру автоматичного вимірювального комплексу, яка забезпечує вимірювання параметрів пральних пристроїв, діагностування працездатності пристроїв та дослідження хвильових параметрів матеріалів, з яких створюють ємкості для прання.

Вступ. Нині на ринку побутових електронних апаратів помітне місце займають ультразвукові пральні пристрої. Рекламні агентства вдало вирізняють їх переваги перед класичними пральними машинами. Це порівняно мала вартість, значна економія електроенергії, зручність користування, мала маса і т. ін. Але під час використання таких пральних пристроїв виникають досить значущі питання щодо якості й ефективності ультразвукових виробів, що передусім зумовлено принципом дії прального пристрою. Основним елементом прального пристрою є ультразвуковий випромінювач, який створює звукові коливання на частотах, що перевищують сотню кілогерців. Такі ультразвукові коливання людина не відчуває. Тобто споживач, щоб перевірити ефективність пристрою, повинен або ознайомитися із сертифікатом відповідності, або самому проводити експериментальні дослідження. Оскільки такі дослідження пересічний споживач не в змозі провести, то значення сертифіката відповідності набуває вирішальної значущості. Отже, виникає потреба в аналізі основних параметрів ультразвукового прального пристрою, основних нормативних документів і визначенні методики сертифікаційних випробувань.

Постановка завдання. Ультразвукові пральні пристрої є відносно новою продукцією побутового призначення, тому поки що немає державних стандартів, які б чітко визначали технічні умови та методики вимірювань параметрів пристроїв. Виробники випускають таку продукцію згідно з галузевими технічними умовами, зміст яких досить важко відшукати в доступних для широкого загалу зібраннях нормативних документів. Отже, існує певна проблема захисту інтересів споживача і ця проблема вимагає нагального розв’язання. Одним із таких шляхів розв’язання цієї проблеми є створення методики сертифікаційних випробувань, які могли б використовуватися акредитованими випробувальними центрами з видачею сертифіката відповідності за формою № 1.

Згідно з технічним паспортом на ультразвукові пральні пристрої виробник декларує незначну кількість параметрів: потужність живлення, частоту ультразвукових коливань та масогабаритні параметри.

Очевидно, що ці параметри не визначають працездатності пристрою та ефективності його функціонування. Тому необхідно розглянути ті параметри пристрою, від яких залежить якість та ефективність прання.

Принцип дії ультразвукового прального пристрою полягає у створенні коливань високої частоти в рідині із забрудненими виробами із тканин. Під дією коливань рідини бруд відстає від тканин і після декількох промивань виробів водою вони набувають чистого вигляду. Отже, основним механізмом ультразвукового прання є коливання пральної рідини при збудженні в рідинному середовищі ультразвуку. Звідси й випливає значення таких характеристик: частоти коливань, потужності випромінювання, густини потужності випромінювання звуку та діаграми напрямленості ультразвукового випромінювача.

Оскільки визначення характеристик випромінювання акустичних хвиль випромінювачами, розміри яких сумірні з довжиною хвилі, наштовхується на значні труднощі, то зробимо такі припущення:

– випромінювач створює хвилі із сферичним фронтом, тобто випромінювач має вигляд пульсуючої кулі;

– середовище, в якому перебуває випромінювач, однорідне, і відстань від випромінювача до стінок, які обмежують рідинне середовище, у всіх напрямках однакова;

– швидкість поширення хвилі в пральній рідині наближається до швидкості звуку у воді.

Сформульовані наближення дають змогу оцінити потужність випромінювання і розрахувати густину потоку, енергію акустичних хвиль у звуковому полі і розробити способи діагностування ультразвукового випромінювача.

Теоретичні засади. Звукове поле визначається такими характеристиками:

– вектором зміщення $\vec{y}$ частинки, що коливається відносно рівноважного положення;

–вектором швидкості частинки, що коливається:

$$\vec{V} = \frac{d\vec{y}}{dt}; \tag{1}$$

– звуковим тиском p у середовищі.

Ці величини входять у математичні рівняння, що характеризують процеси. Основні з них такі:

– рівняння неперервності (закон збереження маси)

$$div(\rho\vec{V}) = -\frac{\partial\rho}{\partial t}, \tag{2}$$

де ρ – густина середовища, в якому розглядається звукове поле;

– рівняння руху частинок середовища

$$\rho\frac{\partial\vec{V}}{\partial t} = -\mathrm{grad}\rho; \tag{3}$$

– рівняння стану, що зв'язує об'єм, в якому виокремлена певна кількість речовини, з тиском у цьому об'ємі:

$$\frac{\partial\rho}{\partial t} = \frac{1}{K\rho}, \tag{4}$$

де $K = -\frac{1}{V}\frac{\partial V}{\partial p} = \frac{1}{\rho}\frac{\partial\rho}{\partial p}$ – коефіцієнт стисливості рідини; V – повний об'єм виокремленого середовища; ∂V – приріст об'єму під дією приросту тиску ∂p.

З основних рівнянь акустики (2), (3), (4) виводять хвильове рівняння

$$\nabla^2 p = \frac{1}{C_0^2}\frac{\partial^2 p}{\partial t^2},$$

де C_0 – швидкість поширення звукової хвилі. У випадку рідкого середовища

$$C_0 = \frac{1}{\sqrt{\rho K}}.$$

Розглянемо розв'язання хвильового рівняння для кульової (сферичної) хвилі, що поширюється однаково у всіх напрямках (ізотропно). В сферичні системі координат звуковий тиск p буде залежати лише від однієї координати, а саме від відстані r, яка визначає віддаль від джерела звуку до точки спостереження. Отже, отримаємо хвильове рівняння у вигляді

$$\frac{\partial^2(rp)}{\partial r^2}=\frac{1}{C_0^2}\frac{\partial^2(rp)}{\partial t^2}.$$

Якщо джерело звуку збуджує гармонічні коливання, то розв'язок матиме вигляд

$$p=\frac{r_0p_0}{r}\left[Ae^{i\omega\left(t-\frac{r}{C_0}\right)}+Be^{i\omega\left(t+\frac{r}{C_0}\right)}\right], \tag{5}$$

де r_0p_0, A і B – деякі сталі величини, що визначаються з граничних умов; ω – колова частота гармоніки.

Перша складова у квадратних дужках визначає падаючу хвилю, що поширюється від джерела звуку на нескінченність, друга складова визначає хвилю, що відбивається від меж середовища і поширюється у зворотному напрямі.

З рівняння (3) для кульової хвилі отримуємо такий вираз:

$$\frac{d\vec{V}}{dt}=-\frac{1}{\rho_0}\frac{\partial p}{\partial r}. \tag{6}$$

Згідно з виразом (6) знаходимо похідну за координатою r і інтегруємо праву частину рівняння (5). Швидкість частинок речовини середовища визначаємо як

$$V=\frac{p_n}{C_0\rho_0}+\frac{p_n}{i\omega\rho_0 r}-\frac{p_в}{C_0\rho_0}+\frac{p_в}{i\omega\rho_0 r}, \tag{7}$$

де $p_n=\frac{Ar_0p_0}{r}e^{i\omega\left(t-\frac{r}{C_0}\right)}$ і $p_в=\frac{\mathrm{B}r_0p_0}{r}e^{i\omega(t+\frac{r}{C_0})}$.

Використовуючи формулу (1), обчислюємо зміщення частинок середовища

$$y=\int Vdt.$$

Підставляємо значення швидкості (7)

$$y=\frac{p_n}{C_0\rho_0}-\frac{p_n}{i\omega\rho_0 r}-\frac{p_в}{C_0\rho_0}-\frac{p_в}{i\omega\rho_0 r}.$$

Амплітуда зміщення частинок

$$|y|=\frac{Ar_0p_0}{\omega\rho_0 r}\sqrt{\left(1+r^2\right)\left(\frac{1}{C_0^2}+\frac{1}{\omega^2r^2}\right)+2\Gamma\left[\left(\frac{1}{\omega^2r^2}-\frac{1}{C_0^2}\right)\cos 2kr+\frac{2}{C_0\omega r}\sin 2kr\right]}, \tag{8}$$

де $\Gamma=\frac{A}{B}$ – коефіцієнт відбиття хвилі від меж середовища; $k=\frac{2\pi}{\lambda}=\frac{\omega}{C_0}$ – хвильове число.

Вираз (8) дає змогу визначити сталі величини з граничних умов. Якщо на відстані r_0 значення максимального зміщення $|y_0|$ відоме, а також відомий коефіцієнт відбиття Γ, то значення Ar_0p_0 обчислюється досить просто. Так, наприклад, якщо $\Gamma=0$, то

$$Ar_0p_0=\frac{|y_0|r_0\omega\rho_0C_0}{\sqrt{1+\left(\frac{\lambda}{2\pi r_0}\right)^2}}.$$

Значення коефіцієнта відбиття Γ можна знайти за методикою, яка випливає з рівняння (5). Очевидно, що можна знайти такі два положення датчика тиску, в яких послідовно буде спостерігатися

$$p_{\max} = \frac{Ar_0 p_0}{r_1}\left(1+\Gamma\right); \text{ і } p_{\min} = \frac{Ar_0 p_0}{r_2}\left(1-\Gamma\right).$$

Звідси випливає, що

$$\Gamma = -\frac{r_1 p_{\max} - r_2 p_{\min}}{r_1 p_{\max} + r_2 p_{\min}}.$$

Отже, наближено можна визначити характер зміни параметрів звукового поля, що створюється в резервуарах, близьких за формою до сфери. Для резервуарів складної форми розподіл звукового поля надзвичайно важко визначити теоретично. У випадку пральних пристроїв значення параметрів поля можна вимірювати з урахуванням тих теоретичних основ сферичної хвилі, які наведено у цій роботі.

Потужність звукових хвиль доцільно визначати методом вектора Умова-Пойнтінга

$$\vec{\Pi} = p\vec{V}.$$

Очевидно, що потік потужності звукових хвиль dp через малу площину dS можна знайти за формулою

$$d\vec{W} = \vec{\Pi} d\vec{S} = p\vec{V} d\vec{S}. \quad (9)$$

Якщо датчик тиску має площу dS і орієнтувати його так, щоб площина чутливого елемента dS була перпендикулярна до напряму поширення хвиль, то вираз (9) може розглядатися як скалярний добуток трьох величин.

Автоматичний вимірювальний комплекс. Сертифікаційні випробування ультразвукових пральних пристроїв можна проводити за допомогою автоматичного вимірювального комплексу (АВК), структурну схему якого зображено на рисунку.

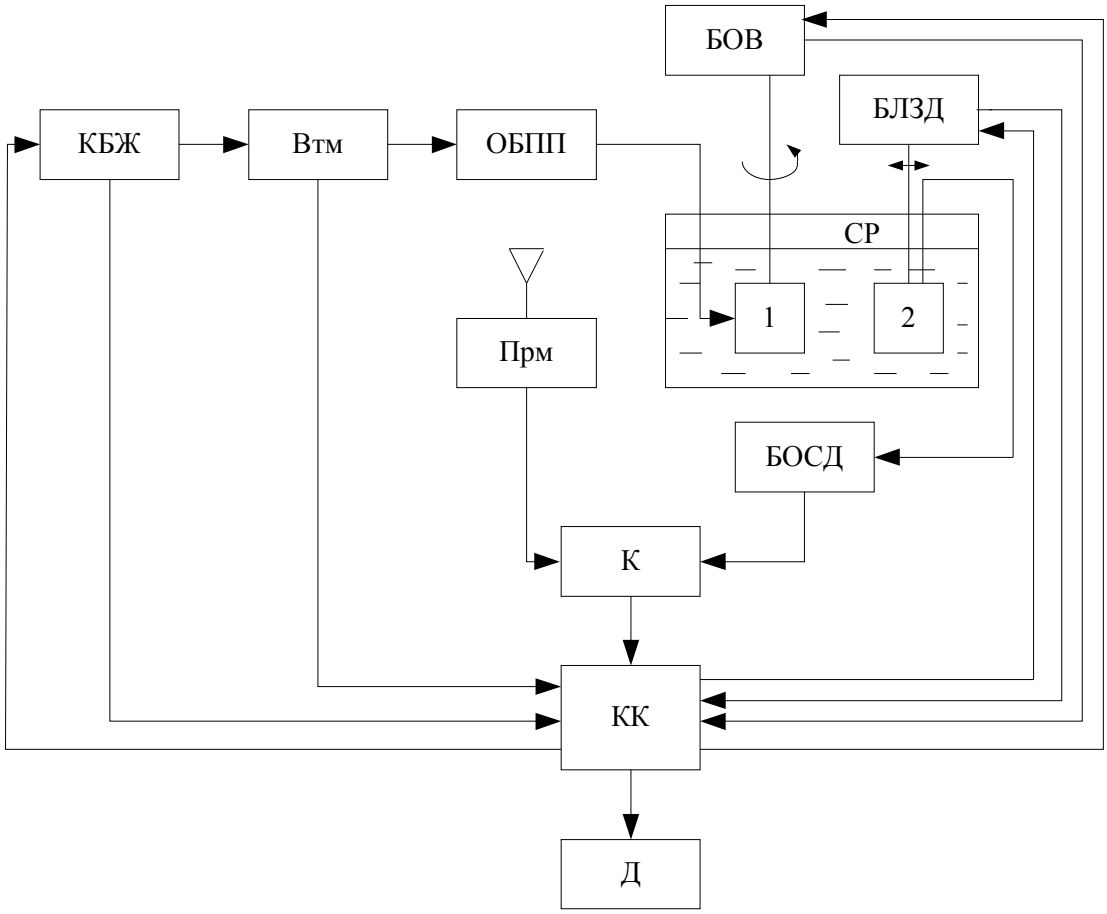
Пральний пристрій складається з основного блока (ОБПП) і ультразвукового випромінювача *1*. До складу АВК входить стандартизований резервуар (СР) з пральною рідиною. Резервуар, оснащений блоком обертання ультразвукового випромінювача (БОВ) та блоком лінійного зміщення датчика *2* ультразвукових коливань (БЛЗД), за допомогою якого можна визначати положення пучності і вузлів акустичних хвиль у рідкому середовищі. Сигнали датчика *2* надходять у блок обробки сигналів датчика (БОСД) і після подання їх у відповідній формі через комутатор (К) вони вводяться у керувальний контролер (КК). Комутатор при вимірюванні параметрів електромагнітної сумісності приєднує до контролера приймач (Прм) з рамковою антеною.

Пральний пристрій живиться через ватметр (Втм) від керованого блока живлення (КБЖ), у якому напруга за допомогою керувальних сигналів контролера може змінюватися в межах, обумовлених нормативними документами. Результати сертифікаційних випробувань виводяться на дисплей (Д).

Розглянемо для прикладу вимірювання однієї дуже важливої характеристики ультразвукового випромінювача – діаграми розподілу тиску в навколишньому середовищі. Характеристику напрямленості випромінювача визначаємо за розподілом тиску за формулою

$$D(u) = R(u)e^{i\arg D(u)} = \frac{p(r,u)}{p(r,u_0)},$$

де u – вибраний напрям у сферичній системі координат визначається меридіальним кутом θ і азимутальним кутом φ.



Автоматизований вимірювальний комплекс

Стінки резервуара СР виготовляється із звукопоглинального матеріалу, тому відбитими хвилями можна знехтувати. В процесі вимірювання амплітудної характеристики спрямованості $R(u)$ випромінювач *1* обертається навколо вертикальної осі, а датчик *2* (рисунок) перетворює значення тиску $p(u)$ в електричну напругу. Оскільки інформація про азимутальне положення площини випромінювача надходить у контролер, то в результаті обробки даних вимірювань контролер будує залежність

$$R(\varphi) = \frac{p(\varphi)}{p(\varphi_0)},$$

де φ_0 – значення азимутального кута, у якому спостерігається максимум звукового тиску.

Діаграма напрямленості може будуватися також і за інтенсивністю (силою) звуку, яка визначається з формули (9) для одиничної за площею ділянки фронту хвилі

$$\vec{I} = p\vec{V} = \vec{r}_0 pV,$$

де модуль швидкості зміщення частинок середовища V обчислюється за формулою, що випливає з виразу (7):

$$V = p\left(\frac{1}{C_0\rho_0} + \frac{1}{i\omega\rho_0 r}\right).$$

За даними вимірювань обчислюється парціальний коефіцієнт концентрації в азимутальній площині

$$K = \frac{2\pi}{\int_0^{2\pi} R^2(\varphi)d\varphi}.$$

Зрозуміло, що якість випромінювача буде тим вища, чим менше обчислений коефіцієнт концентрації відрізнятиметься від одиниці.

Висновки. У результаті виконаної роботи визначено особливості сертифікаційних випробувань ультразвукових пральних пристроїв:

– створено обґрунтований і виважений перелік параметрів, який характеризує якість і ефективність ультразвукових пральних пристроїв;

– запропоновано методики вимірювань параметрів пральних пристроїв;

– розроблено автоматичний вимірювальний комплекс, можливості якого значно перевищують потреби сертифікаційних випробувань. За допомогою АВК можна визначати хвильовий опір матеріалів, з яких будуються ємності для прання, коефіцієнти відбиття реальних матеріалів, розподіл інтенсивності звука в ємкостях складної форми і т. ін.

Список літератури

1. *Фурдуев В. В.* Электроакустика. – М.: Гостехиздательство, 1948. – 516 с.
2. *Смарышев М. Д.* Направленность гидроакустических антенн. – Л.: Судостроение, 1973. – 280 с.

Л. Я. Ильницкий, К. А. Маевская, А. А. Басанский

Особенности сертификационных испытаний ультразвуковых стиральных устройств

Определены параметры ультразвуковых стиральных устройств, от которых зависит качество стирки. Рассмотрены способы оценивания силы звука и коэффициента концентрации ультразвуковых колебаний в азимутной плоскости. Синтезирована структура автоматического измерительного комплекса, которая обеспечивает измерение параметров стиральных устройств, диагностирование работоспособности устройств и исследование волновых параметров материалов, из которых создают емкости для стирки.

L. Ya. Ilnickiy, K. A. Mayevka, A. A. Basanskiy

Features of certification tests of ultrasonic washings devices

Certain parameters of ultrasonic washings devices, which quality of washable depends on. The considered methods of evaluation of force of sound and coefficient of concentration of ultrasonic vibrations are in an azimuth plane. Synthesized structure of automatic measuring complex, which provides measuring of parameters of washings devices, diagnosticating of capacity of devices and research of wave parameters of materials, from which create capacities for a washable.