

УДК 681.5

С.М. Пасічник

Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», Україна

ПОЗИЦІЮВАННЯ РЕЖИМІВ ВИХРОВОГО ЕНЕРГОРОЗДІЛЮВАЧА

Отримано моделі вихрового енергорозділювача (ВЕ), які відрізняються від відомих відображенням перетворювальних властивостей ВЕ як об'єкту автоматичного позиціювання, удосконалено метод структурної та параметричної ідентифікації математичної моделі вихрового енергорозділювача шляхом використання особливостей поведінки похідних логарифмічних амплітудно-частотних характеристик та отримав подальший розвиток частотний метод синтезу системи автоматичного позиціювання, що дозволило застосувати алгебраїчні методи розрахунку і забезпечити стійкість та якість функціонування в широкому діапазоні режимів. Підтверджена працездатність запропонованих моделей та методів результатами натурних експериментів, які проводились на створеному апаратно-програмному комплексі для стендових випробувань вихрового енергорозділювача.

Ключові слова: вихровий енергорозділювач, об'єкт автоматичного позиціювання, структурна та параметрична ідентифікація, синтез.

Вступ

В сучасних енергетичних технологіях знаходять використання нетрадиційні способи отримання та перетворення теплової енергії [1]. Один з перспективних способів перетворення теплової енергії заснований на ефекті температурного розділення у

потоці газу, що обертається, або вихровому ефекті. Цей спосіб вигідно відрізняється від відомих простотою технічної реалізації та обслуговування, відсутністю шкідливих для здоров'я людини речовин, а також є більш дешевим у виробництві. Пристої, в яких реалізується вихровий ефект – вихрові енергорозділювачі (ВЕ) – застосовуються в якості генера-

торів холодного та гарячого повітря в системах охолодження та кондиціонування транспортних засобів.

Особливості функціонування транспортних засобів обумовлюють необхідність забезпечення функціонування системи кондиціонування в широкому діапазоні режимів, стійкості до вібраційних, ударних та теплових навантажень, а також екологічної безпеки у разі розгерметизації. Таким вимогам відповідає вихровий енергорозділювач, який не має пересувних елементів, а процес отримання охолодженого повітря здійснюється з використанням маловивченого ефекту температурного поділу в обертовому потоці газу.

У відомих конструкціях вихрових систем кондиціонування [2] використовуються або однорежимні ВЕ, або з позиціонуванням потоку ентальпії холодного повітря при незмінному тиску повітря на вході у ВЕ, що обмежує діапазон робочих режимів та не враховує динамічні властивості ВЕ. Крім того, режимні параметри ВЕ суттєво залежать від зовнішніх умов функціонування. Поєднання цих факторів призводить до необхідності вирішення задачі позиціонування в широкому діапазоні зміни потоку ентальпії ВЕ за умов інтервальної невизначеності.

Основний розділ

1. Постановка задачі дослідження

Для забезпечення стійкості та якості процесів позиціонування потоку ентальпії холодного повітря вихрового енергорозділювача в широкому діапазоні режимів за умов інтервальної невизначеності потрібно розробити ряд моделей ВЕ, необхідних для

подальшого синтезу системи позиціонування потоку ентальпії холодного повітря.

Вирішити задачу забезпечення необхідних динамічних показників якості з використанням методу асимптотичних логарифмічних амплітудно-частотних характеристик

Провести експериментальне дослідження характеристик системи автоматичного позиціонування на апаратно-програмному комплексі та визначити ефективність розширення діапазону режимів ВЕ.

2. Математичний опис ВЕ

В результаті проведених теоретичних та експериментальних досліджень статичних та динамічних характеристик [3] отримано фізичну модель ВЕ. На вхід ВЕ подається стиснуте повітря, що має температуру T_n^* та тиск P_n^* з секундною витратою G_n (рис. 1, а). Проходячи через сопловий пристрій 1, вхідний потік прискорюється, потім закручується у спіральному каналі 2 та надходить у камеру енергетичного розділення 3. Рухаючись по гвинтовій траєкторії уздовж пристінної області камери, вхідний потік переміщується у напрямі до конусного вентиля 4, перед яким встановлено хрестовину 5. Частина потоку, що не пройшла через конусний вентиль, починає рухатись у зворотньому напрямку до діафрагми 6, займаючи область поблизу продольної вісі камери. Під час руху вздовж камери пристінний та внутрішній потоки обмінюються енергією так, що повітря, яке виходить через вентиль, має температуру T_a^* , вищу за T_n^* , а потік, що виходить з діафрагми – T_x^* , нижчу за T_n^* .

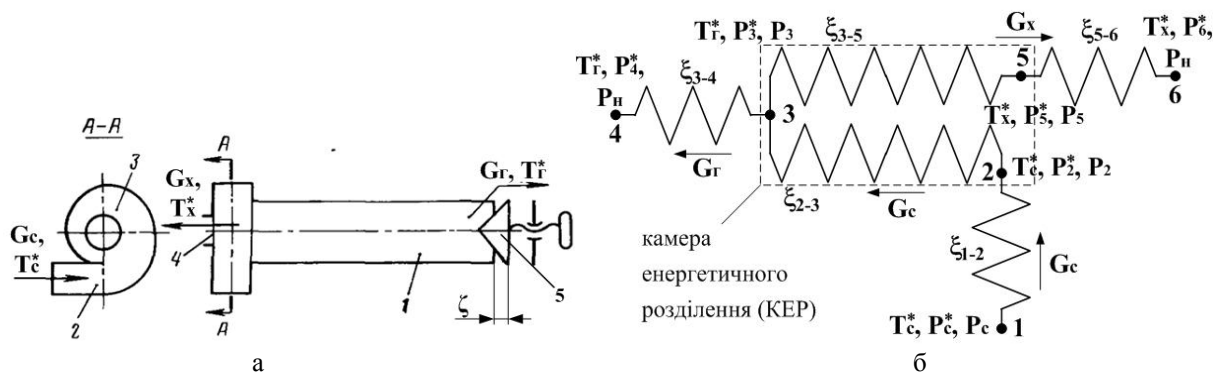


Рис. 1. Фізична модель ВЕ: а – особливості енергообміну; б – гідравлічна схема ВЕ

Одночасно з цим, проходження повітря через гідравлічні опори, що мають коефіцієнти ξ_{1-2} , ξ_{2-3} , ξ_{3-4} , ξ_{3-5} , ξ_{3-6} (рис. 1, б), призводить до втрати повного напору стиснутого повітря (точка 1) з розширенням до атмосферного тиску на виході вентиля (точка 4) та діафрагми (точка 6). Таким чином, потік ентальпії холодного повітря є комплексним режимним параметром ВЕ, що визначається наступним рівнянням:

$$Q_{Ix} = C_p G_x T_x^* \quad (1)$$

де Q_{Ix} – потік ентальпії холодного повітря, Вт; C_p – ізобарна теплоємність повітря, Дж/(кг·К); G_x – масова секундна витрата холодного повітря, кг/с; T_x^* – температура холодного повітря, К.

Результати аналізу рівняння (1) дозволили сформулювати основні способи цілеспрямованої зміни потоку ентальпії: $G_x = \text{var}$, $T_x^* = \text{var}$; $G_x = \text{const}$, $T_x^* = \text{var}$; $G_x = \text{var}$, $T_x^* = \text{const}$ та відповідні до них схеми структури та функціональні схеми системи

кондиціонування. Для подальшого дослідження було обрано спосіб зміни потоку ентальпії $G_x = \text{var}$, $T_x^* = \text{var}$ як найбільш простий з точки зору практичної реалізації, що дозволило визначити в якості керованої змінної ВЕ, як об'єкту автоматичного позиціонування, потік ентальпії холодного повітря.

З метою подальшого синтезу системи позиціонування, спираючись на отриману фізичну модель, розроблено сукупність математичних та машинних моделей ВЕ як об'єкту автоматичного позиціонування.

Математичну модель сталих режимів ВЕ як об'єкту автоматичного позиціонування отримано за допомогою використання законів збереження маси, енергії та емпіричних залежностей, що відображають втрати повного напору, пов'язані з наявністю гідравлічного опору ВЕ з урахуванням ряду гіпотез: повітря є в'язким, теплопровідним газом; енергообмін між ВЕ та навколишнім середовищем відсутній; перетікання по боковій поверхні діафрагми відсутнє та ін. Відповідно до зазначених припущень шляхом аналітичних перетворень було отримано залежність потоку повної енергії холодного повітря від геометричних характеристик ВЕ та параметрів стиснутого повітря, прирівнюючи втрати напору на ділянках 3 – 4 та 3 – 6 (рис. 1, б):

$$\mu T_x^* = \frac{T_c^*}{K_d^2 \left(1 - \left(1 - \frac{2\zeta}{D_{\text{e}\hat{\alpha}\hat{\delta}}} \text{tg} \frac{\alpha}{2} \right)^2 \right) \sqrt{a + b \left(D_{\text{e}\hat{\alpha}\hat{\delta}} / \zeta \right)^2 + 1}}, \quad (2)$$

де μ – відносна витрата холодного повітря;

$K_d = \frac{D_{\text{e}\hat{\alpha}\hat{\delta}}}{D_{\text{e}\hat{\alpha}\hat{\delta}_{\text{max}}}}$ – коефіцієнт пропорційності;

$D_{\text{e}\hat{\alpha}\hat{\delta}}$, $D_{\text{e}\hat{\alpha}\hat{\delta}_{\text{max}}}$ – діаметр камери енергетичного розділення та максимальний діаметр дифузору відповідно; ζ – координата лінійного положення конусного вентиля; α – кут конусу; a , b – емпіричні коефіцієнти.

За допомогою методів лінеаризації було визначено лінійне алгебраїчне рівняння з постійними коефіцієнтами, що дозволило отримати вираження для коефіцієнта передачі ВЕ за керуючим впливом. Інтервальні чисельні значення коефіцієнта передачі отримано з використанням методу найменших квадратів для апроксимації експериментальних статичних характеристик ВЕ в діапазоні робочих режимів, що відповідають положенням конусного вентиля

$$\zeta_1 = 5 \cdot 10^{-4} \text{ і } \zeta_2 = 1,25 \cdot 10^{-3} \text{ і } :$$

$$\bar{K}_{\hat{\alpha}\hat{\delta}} = [-1,7 \cdot 10^5; -9 \cdot 10^4] \hat{\Delta}\hat{\delta} / \hat{\text{і}} .$$

Адекватність моделі сталих режимів перевірено за максимальною похибкою апроксимації у вузлах статичної характеристики ВЕ, що не перевищує 6 %.

Математичну модель динаміки ВЕ як об'єкту автоматичного позиціонування отримано шляхом ви-

конання процедури структурної та параметричної ідентифікації моделі з використанням експериментальних логарифмічних амплітудно-частотних характеристик (ЛАЧХ) ВЕ. Особливістю ЛАЧХ є те, що вид характеристики вказує, якою динамічною ланкою є об'єкт автоматичного позиціонування. Експериментальні ЛАЧХ ВЕ надали можливість припустити наявність двох сталих часу в передаточній функції [4]. Крім того, нахили характеристики в області низьких та високих частот свідчать про те, що ВЕ являє собою аперіодичну ланку дрібного порядку, передаточна функція якої за керуючим впливом має вигляд:

$$\bar{W}_{\hat{\alpha}\hat{\delta}}(s) = \frac{\bar{Q}_{\text{IX}}(s)}{\bar{Z}(s)} = \frac{\bar{K}_{\hat{\alpha}\hat{\delta}}}{(\bar{T}_1 s + 1)^{\bar{v}_1} (\bar{T}_2 s + 1)^{\bar{v}_2}}, \quad (3)$$

де \bar{T}_1 , \bar{T}_2 – інтервальні значення сталих часу; \bar{v}_1 , \bar{v}_2 – інтервальні значення показників ступеня.

Інтервальні числові значення сталих часу знайдено з використанням іншої властивості ЛАЧХ, а саме: логарифмічна функція, аргументом якої є вираження під знаком радикалу, має точку перегину першої похідної логарифмічної функції по логарифму частоти, в тій же точці друга похідна має локальний мінімум. Значення частоти в точці перегину зворотно пропорційне значенню сталої часу. Для аналітичного отримання першої та другої похідної експериментальних ЛАЧХ виконано апроксимацію логарифмічних амплітудно-частотних характеристик поліноміальними функціями порядку $n > 2(2n_{\hat{\alpha}\hat{\delta}} - 1)$, де $n_{\hat{\alpha}\hat{\delta}}$ – кількість сталих часу, з використанням методу найменших квадратів. Після подвійного диференціювання поліноміальних функцій знайдено корені отриманих поліномів та вираховано інтервальні значення сталих часу

$$\bar{T}_1 = [11,8; 20] \text{ с}, \quad \bar{T}_2 = [1,5; 1,7] \text{ с} .$$

Інтервальні числові значення показників ступеня знайдено за допомогою рівняння ЛАЧХ, що отримано з частотної форми рівняння (3). Після підстановки до рівняння ЛАЧХ значень частот, що відповідають сталим часу, та значень логарифмічної амплітудно-частотної функції, було сформовано систему алгебраїчних рівнянь, лінійних відносно \bar{v}_1 , \bar{v}_2 , вирішення якої за допомогою визначників дозволило знайти відповідні значення показників

$$\bar{v}_1 = [0,2; 0,46], \quad \bar{v}_2 = [0,7; 1,8] \text{ с} .$$

Машинні моделі ВЕ були розроблені в формі розрахункових алгоритмів з використанням методу дійсних частотних характеристик шляхом чисельного вирішення інтегрального рівняння, що встановлює зв'язок між перехідними та частотними характеристиками, оскільки дробні значення показників ступеня не дозволили отримати машинну модель ВЕ в рекурентній формі.

Адекватність чисельних машинних моделей перевірялась порівнянням реакції на вхідний вплив

машинної моделі та ВЕ у відповідних робочих точках статичної характеристики при граничних та проміжних значеннях параметрів передаточної функції (3). Результати перевірки адекватності отриманих моделей показали, що для машинної моделі при значенні тиску стиснутого повітря $P_n^* = 0,6 \text{ Æ } \text{ Æ}$, інтервальна похибка для проміжних значень параметрів не перевищує 8 %.

3. Синтез системи автоматичного позиціонування режимів ВЕ

Для забезпечення стійкості та якості процесів позиціонування потоку ентальпії холодного повітря ВЕ в широкому діапазоні режимів за умов інтервальної невизначеності сформовано структуру замкненої САП, до складу якої входять: ОАП та пристрій автоматичного позиціонування. Відповідно до структури отримано математичні моделі САП у вигляді інтервальних передаточних функцій розімкненої, замкненої САП та передаточну функцію замкненої системи за похибкою від задаючого впливу [5].

Точність позиціонування забезпечено вибором першого порядку астатизму розімкненої системи та визначенням потрібного коефіцієнта передачі коректуючого елемента з використанням теореми про граничне значення оригіналу.

Оцінювання стійкості замкненої САП, проведене з використанням логарифмічного критерію Найквіста, показало, що при граничних значеннях параметрів передаточної функції розімкненої системи, які відповідають максимальним значенням ЛАЧХ, замкнена система є нестійкою. Для забезпечення стійкості на обраному діапазоні режимів ВЕ в структуру системи введено інтервальну диференційно-інтегруючу немінімально-фазову ланку

$$\bar{W}_e(s) = \frac{\bar{v}(s)}{\bar{e}(s)} = \frac{\bar{T}_{e2}s+1}{\bar{T}_{e1}s+1}, \quad (4)$$

де $\bar{v}(s)$ – зображення інтервального значення керуючої частоти крокового двигуна; $\bar{e}(s)$ – зображення інтервального значення похибки замкненої системи; $\bar{T}_{e1} = [0; 5] \text{ с}$, $\bar{T}_{e2} = [-20; 10] \text{ с}$ – сталі часу, що дозволила забезпечити запаси по амплітуді $\bar{L}_\zeta = [60; 60] \text{ дБ}$ та по фазі $\bar{\varphi}_\zeta = [40; 80] \text{ град}$ за рахунок опускання високих частот та введення випередження по фазі в області середніх частот. Для забезпечення потрібних показників якості замкненої системи виконано синтез САП з використанням методу логарифмічних асимптотичних амплітудно-частотних характеристик [6] шляхом побудови граничних наявних та бажаних характеристик розімкненої стійкої системи з використанням передаточної функції розімкненої системи:

$$\bar{W}_p(s) = \frac{\bar{Q}_x(s)}{\bar{Q}_{x\zeta}(s)} = \frac{\bar{K}_{\text{дод}}(\bar{T}_{e2}s+1)}{s(\bar{T}_1s+1)^{\bar{v}_1}(\bar{T}_2s+1)^{\bar{v}_2}(\bar{T}_{e1}s+1)}. \quad (5)$$

Особливістю граничних бажаних ЛАЧХ є те, що середньочастотна ланка співпадає для мінімальної та максимальної межі, що обумовлено єдиними вимогами до швидкодії системи (рис. 2). В області низьких частот проміжні асимптоти бажаних характеристик зсунуті одна від одної на 0,1 дек для поліпшення швидкодії та забезпечення діапазону зміни сталих часу коректуючого елемента при його практичній реалізації. Побудовані ЛАЧХ коректуючого елемента дозволили отримати передаточну функцію та інтервальні значення сталих часу КЕ:

$$\bar{W}_{e2}(s) = \frac{(\bar{T}_{e2}s+1)(\bar{T}_{e4}s+1)(\bar{T}_{e6}s+1)}{(\bar{T}_{e1}s+1)(\bar{T}_{e3}s+1)(\bar{T}_{e5}s+1)}, \quad (6)$$

де $\bar{T}_{e1} = [63; 114, 8]$; $\bar{T}_{e2} = [5, 8; 23, 6]$; $\bar{T}_{e3} = [0, 4; 4, 4]$; $\bar{T}_{e4} = [3, 2; 5, 8]$; $\bar{T}_{e5} = [0, 4; 0, 4]$; $\bar{T}_{e6} = [1, 5; 2]$ – інтервальні значення сталих часу, с.

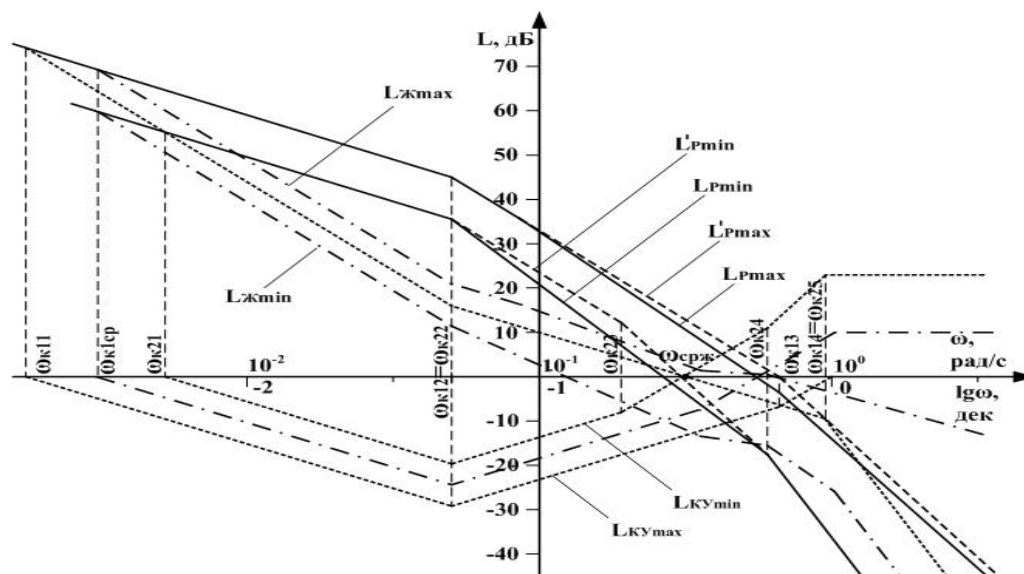


Рис. 2. Наявні, бажані та ЛАЧХ коректуючого елемента

Якість процесів позиціонування потоку ентальпії в скоректованій системі оцінювалась по перехідним характеристикам машинної моделі у відповідних робочих точках статичної характеристики при граничних та проміжних значеннях параметрів передаточної функції (5). Результати машинного моделювання дозволили визначити основні динамічні показники якості САП: час перехідного процесу не перевищує 20 с; максимальне перерегулювання становить 38 %; ступінь затухання 1,3, що задовільняє вимогам (рис. 3).

4. Експериментальне дослідження характеристик САП ВЕ

Для доказу працездатності отриманих моделей та методів позиціонування потоку ентальпії холодного повітря в лабораторних умовах було розроблено апаратно-програмний комплекс [7], до складу якого входить діючий макетний зразок ВЕ, програми візуалізації, мікропроцесорна система, а також відповідні

процедури, що реалізують розроблені методи структурної та параметричної ідентифікації ВЕ (рис. 4).

На рис. 5 наведено результати експериментального відпрацювання скоректованої системи. Отримано перехідні процеси САП для двох робочих точок статичної характеристики ВЕ, що визначаються координатами лінійного положення конусного вентиля: $\zeta_1 = 5 \cdot 10^{-4}$ і ; $\zeta_2 = 1,25 \cdot 10^{-3}$ і при значеннях тиску стиснутого повітря $P_{c1}^* = 0,6$ і і ; $P_{c2}^* = 0,7$ і і .

Амплітуда задаючого ступеневого впливу мала два значення: $\Delta Q_{xc} = \pm 30 \text{ \AA}$ в межах та $\Delta Q_{xc} = \pm 60 \text{ \AA}$ поза межами граничних діапазонів лінеаризації, причому знак плюс відповідає робочій точці ζ_1 , знак мінус – ζ_2 . За графіками перехідних процесів визначено основні динамічні показники якості системи.

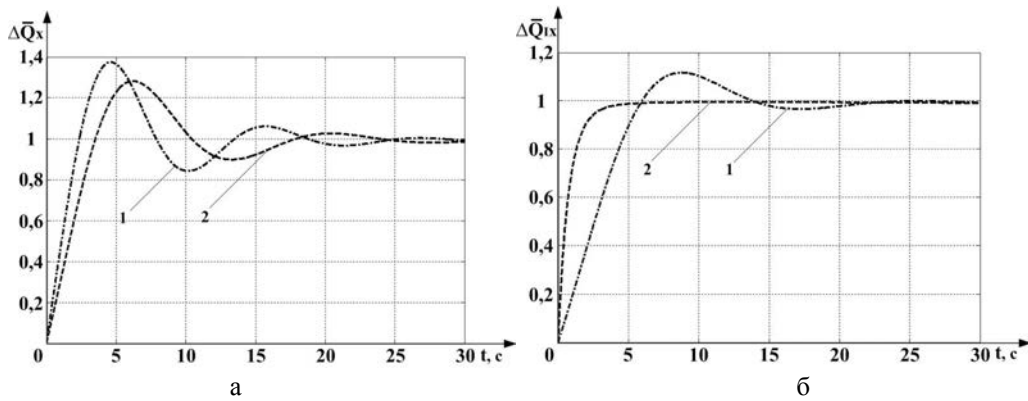


Рис. 3. Перехідні характеристики скоректованої САП: а – робоча точка $\zeta_1 = 5 \cdot 10^{-4}$ і ; б – робоча точка $\zeta_2 = 1,25 \cdot 10^{-3}$ і ; 1 – $|\Delta Q_{xc}| = 30 \text{ \AA}$; 2 – $|\Delta Q_{xc}| = 60 \text{ \AA}$

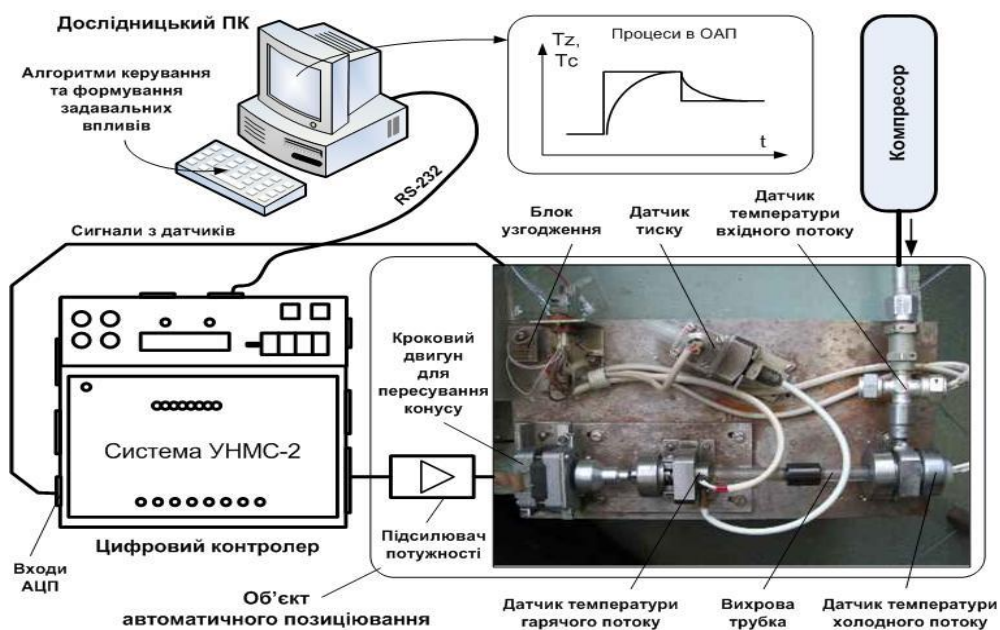


Рис. 4. Апаратно-програмний комплекс дослідження САП ВЕ

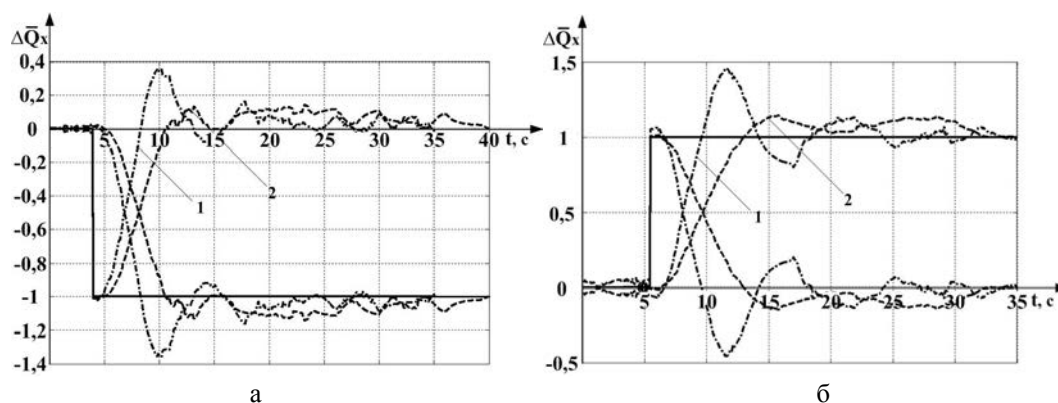


Рис. 5. Експериментальні перехідні характеристики скоректованої САП:

робоча точка $\zeta_1 = 5 \cdot 10^{-4}$ (а); робоча точка $\zeta_2 = 1,25 \cdot 10^{-3}$ (б);

$$1 - |\Delta Q_{xc}| = 30 \hat{\Delta} \delta; \quad 2 - |\Delta Q_{xc}| = 60 \hat{\Delta} \delta$$

Так, для $P_{c1}^* = 0,6 \hat{I} \hat{I}$ час перехідного процесу не перевищує 24 с; максимальне перерегулювання становить 40 %; ступінь затухання 1,2. Крім того, дослідження показали, що розширення діапазону позиціонування потоку ентальпії при сталому значенні тиску збільшує діапазон холодопродуктивності на 50 % у порівнянні з однорежимним ВЕ, та на 30 % за рахунок підвищення тиску на кожні 0,1 МПа у порівнянні з ВЕ зі зміною потоку ентальпії при $P_c^* = \text{const}$.

На комплексі також перевірено розроблені методи структурної та параметричної ідентифікації ВЕ, що дозволили отримати структуру та оціночні значення коефіцієнтів всього ряду машинних моделей ВЕ. Оцінка адекватності моделей здійснювалась за значенням максимальної помилки у вузлах статичної характеристики, яка не перевищує 6 % для моделі сталих режимів та інтервальної помилки 8 % для моделі динаміки ВЕ.

Висновки

В роботі розроблені адекватні реальним процесам фізична, математичні та машинні моделі сталих режимів та динаміки вихрового енергорозділювача, що дозволяють визначити вплив основних геометричних параметрів та параметрів стиснутого повітря ВЕ на потік повної енергії холодного повітря.

Сформовані процедури ідентифікації параметрів машинної моделі сталих режимів з використанням методу найменших квадратів та процедури ідентифікації структури і параметрів машинної моделі динаміки вихрового енергорозділювача на основі властивостей похідних логарифмічних амплітудно-частотних характеристик. Використання цих процедур дозволило здійснити структурну та параметричну ідентифікацію об'єкта автоматичного позиціонування з точністю до 6 % для моделі сталих режимів та до 8 % для моделі динаміки.

Проведено синтез системи автоматичного позиціонування потоку ентальпії холодного повітря ВЕ з використанням методу асимптотичних логарифміч-

них амплітудно-частотних характеристик на основі інтервальних передаточних функцій об'єкту автоматичного позиціонування, що дозволило забезпечити потрібні значення основних динамічних показників якості системи в широкому діапазоні робочих режимів ВЕ.

Розроблено апаратно-програмний комплекс та технологію для проведення стендових випробувань системи позиціонування режимів вихрового енергорозділювача. Цей комплекс дозволив провести серію експериментальних досліджень розробленої системи, які підтвердили адекватність отриманих моделей та конструктивність запропонованих методів.

Встановлено, що розширення діапазону позиціонування режимів ВЕ дозволяє збільшити діапазон зміни холодопродуктивності вихрового енергорозділювача на 50 % у порівнянні з однорежимним ВЕ та на 30 % за рахунок підвищення тиску на кожні 0,1 МПа у порівнянні з ВЕ зі зміною енергії холодного повітря при сталому значенні тиску стиснутого повітря.

Список літератури

1. Азаров А.И. От однокамерной вихревой трубы Фултона к модульным многокамерным вихревым воздухоохладителям: развитие, промышленное использование, перспективы. Доклад-лекция // XI Школа-семинар молодых ученых и специалистов под рук. акад. РАН А.И. Леонтьева. Проблемы газодинамики и теплообмена в энергетических установках. 26 - 30 мая 2003г., Рыбинск. Т. 2. - М. Изд. МЭИ, 2003. - С. 195-203.
2. Пат. 2213016 Российская Федерация, МПК⁷ В60Н1/22, В60Н3/00. Климатическая установка транспортного средства / Н.Е. Курносов; Заявитель и патентообладатель Н.Е. Курносов. - № 2001126082/28; заявл. 24.09.01; опубл. 27.09.03. - 6 с.: ил.
3. Кулик А.С. Экспериментальное исследование характеристик вихревого энергоразделителя / А.С. Кулик, С.Н. Пасичник, В.Г. Джулгаков // Авиационно-космическая техника и технология. - 2010. - Вып. 3(70). - С. 65-68.
4. Кулик А.С. Идентификация математической модели вихревого энергоразделителя / А.С. Кулик, С.Н. Пасичник // Авиационно-космическая техника и технология. - 2010. - Вып. 10 (77). - С. 192 - 196.
5. Кулик А.С. Синтез системы позиционирования

потока энталпии вихревого энергоразделителя / А.С. Кулик, С.Н. Пасичник // Системи обробки інформації. – 2010. – Вып. 6 (87). – С. 115-121.

С.М. Пасичник // Вісник ХНУТСТГ. – 2010. – Вып. 102. – С. 85-87.

6. Бесекаерский В.А. Теория систем автоматического управления / В.А. Бесекаерский, Е.П. Попов. – СПб.: Профессия, 2003. – 752 с.

Надійшла до редколегії 22.10.2010

7. Кулік А.С. Апаратно-програмний комплекс для дослідження вихревого ефекту / А.С. Кулік, В.Г. Джуглаков,

Рецензент: д-р техн. наук, проф. М.Д. Кошовий, Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», Харків.

ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ ВИХРЕВОГО ЭНЕРГОРАЗДЕЛИТЕЛЯ

С.Н. Пасичник

Получены модели вихревого энергоразделителя (ВЭ), которые отличаются от известных отображением преобразовательных свойств ВЭ как объекта автоматического позиционирования, усовершенствован метод структурной и параметрической идентификации математической модели вихревого энергоразделителя путем использования особенностей поведения производных логарифмических амплитудно-частотных характеристик и получил дальнейшее развитие частотный метод синтеза системы автоматического позиционирования, что позволило применить алгебраические методы расчета и обеспечить устойчивость и качество функционирования в широком диапазоне режимов. Подтверждена работоспособность предложенных моделей и методов результатами натурных экспериментов, которые проводились на разработанном аппаратно-програмном комплексе для стендовых испытаний вихревого энергоразделителя.

Ключевые слова: вихревой энергоразделитель, объект автоматического позиционирования, структурная и параметрическая идентификация, синтез.

POSITIONING OF VORTICAL POWER DIVIDER MODES

S.N. Pasichnik

Following scientific results are obtained: models of vortical power divider, which differs from existing ones by representing of transformational features of vortical power divider as object of positioning, method of structural and parametric identification of vortical power divider mathematical model is improved by using of behavior features of initial logarithmic amplitude-frequency characteristics and frequency synthesis method of the automatic positioning system is further developed, which allows to apply algebraic methods of design and to provide sustainability and quality of operation in wide range. The efficiency was confirmed of the models and methods of full-scale experiments, which were conducted on the created hardware and software for bench tests of vortical power divider, were proposed.

Keywords: vortical power divider, automatic positioning object, structural and parametrical identification, synthesis.