

АПАРАТНО-ПРОГРАМНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ВИХРОВОГО ЕФЕКТУ

Кулік А. С., Джулгаков В. Г., Пасічник С. М.

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського "ХАІ"

Наведено структуру стенда для дослідження ефекту температурного розділення. Показано результати експериментальних досліджень статичних і динамічних характеристик вихрового енергорозділювача.

Постановка проблеми. Одним із важливих напрямків розвитку сільськогосподарської галузі є підвищення комфортності технологічних засобів, що працюють під безпосереднім контролем людини. Забезпечення комфортних умов праці людини в кабіні технологічного засобу можливо за рахунок реалізації потрібної температури повітря з використанням системи кондиціонування.

В сучасних системах кондиціонування знаходять використання нетрадиційні способи отримання та перетворення енергії, один з яких базується на ефекті температурного розділення, або вихровому ефекті. Пристрій, що реалізує вихровий ефект – вихровий енергорозділювач (ВЕ) – може бути використаний в системі кондиціонування як джерело холодного та гарячого повітря.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для забезпечення потрібних температурних режимів охолоджуваного об'єкту необхідно цілеспрямовано змінювати те-

мпературу та кількість холодного повітря, що подається в зону охолодження. У відомих конструкціях вихрових систем кондиціонування [1] використовуються або одно-режимні 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.

Мета статті. Експериментальне дослідження статичних та динамічних характеристик ВЕ як об'єкту автоматичного позиціонування (ОАП), що дозволить надалі отримати математичну модель ВЕ у вигляді рівняння вхід-вихід.

Основні матеріали дослідження. Для експериментального дослідження статичних і динамічних характеристик ВЕ був розроблений апаратно-програмний комплекс (АПК ВЕ), склад та взаємодія апаратних засобів якого показано на рис. 1.

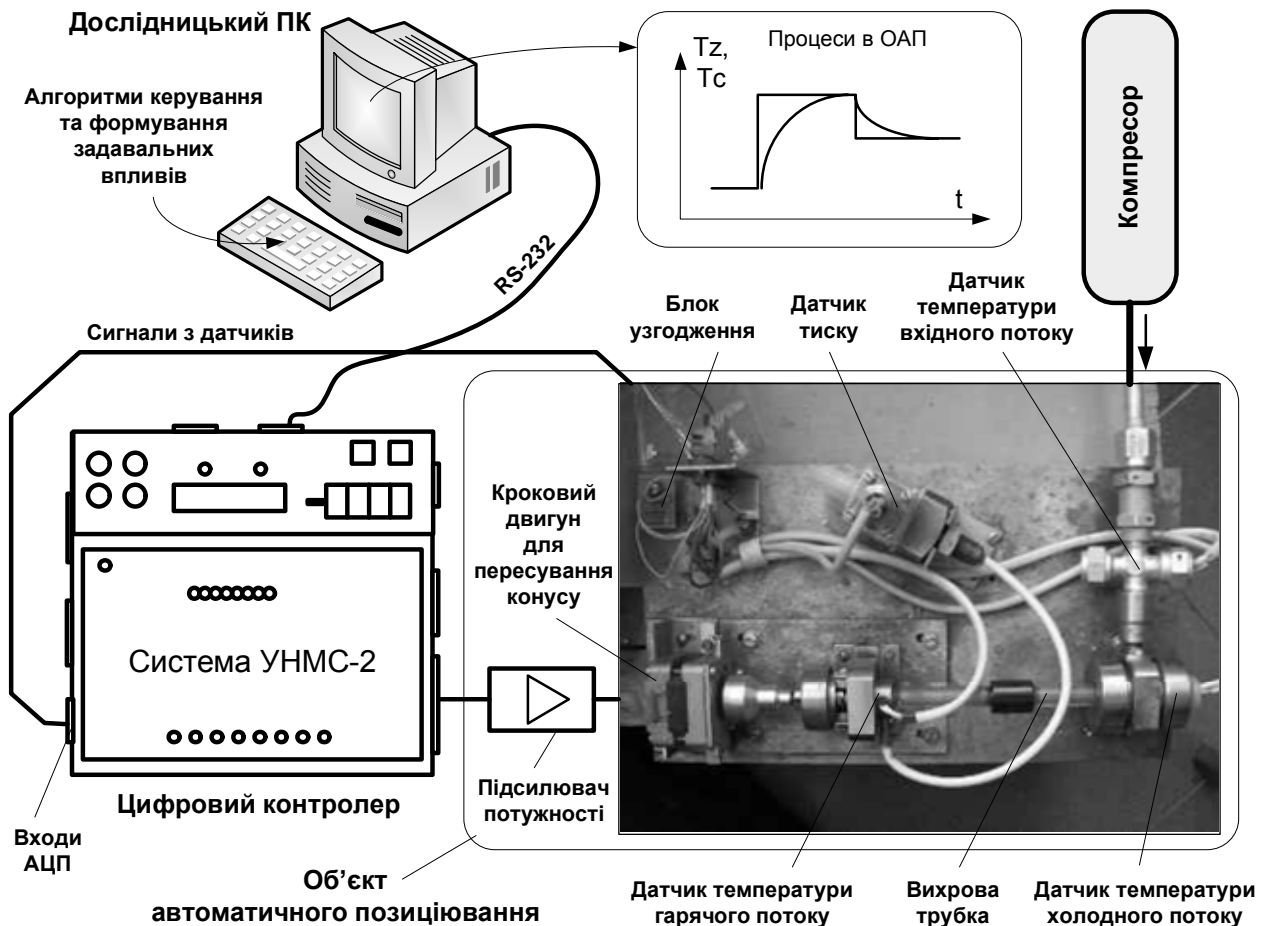


Рисунок 1 – Взаємодія апаратних засобів апаратно-програмного комплексу для дослідження ВЕ

ОАП є сукупністю власне вихрової трубки, набору датчиків та виконавчого пристрою, що впливає на динамічні характеристики трубки.

До складу датчиків входять три вимірювачі температури на основі платинових терморезисторів, відповідно для вхідного, гарячого та холодного потоків, і датчик тиску. Кожен з датчиків підключений до блоку узгодження, де формуються сигнали постійного струму, що змінюється в діапазоні 0..+5В пропорційно із зміною фізичного параметра.

Виконавчий пристрій реалізований на основі крокового двигуна (КД) із чотирифазним керуванням та кутовим кроком $\varphi_{\text{КД}}=1.8^\circ$. Вал КД через редуктор лінійно переміщує керувальний конус. Коефіцієнт редуктора становить $1.4 \cdot 10^{-6} \text{ м/град}$. Використання КД дозволило спростити алгоритми позиціонування керувального конусу за рахунок відмови від датчика зворотного зв'язку по положенню конуса.

Розроблений АПК для дослідження властивостей ОАП з ВЕ вирішує такі задачі:

- програмно-кероване отримання інформації з датчиків фізичних параметрів, що входять до складу ОАП та аналого-цифрове перетворення сигналів (АЦП);
- відновлення значень фізичних параметрів;
- розрахунок параметрів керувальних впливів;
- формування часових тактів і відповідних керувальних сигналів для крокового двигуна;
- передавання даних на дослідницький персональний комп'ютер (ПК) для відображення та архівування.

Вирішення вказаних задач розподілене між цифровим контролером нижнього рівня (далі – контролером) і ПК в залежності від задач дослідження.

До структури контролера входить багатоканальний АЦП, однокристальний мікроконтролер, вихідний буфер для формування бітових сигналів керування КД з необхідними параметрами за струмом та засоби послідовного інтерфейсу з ПК в стандарті RS-232. В якості контролера застосована універсальна навчальна мікроконтролерна система УНМС-2 розробки кафедри систем управління НАУ "ХАІ" (рис.1).

Програмне забезпечення для комплексу складається з ПЗ верхнього рівня (ПЗВР), що виконується на ПК, та ПЗ нижнього рівня (ПЗНР), що виконується контролером. ПЗНР було розроблено із застосуванням візуальних інженерних мов програмування FBD та FC в середовищі Visual MCStudio.

В структурі ПЗНР реалізовано декілька спеціалізованих модулів, які були використані при створенні програм для отримання характеристик ОАП ВЕ:

- модуль управління каналом АЦП у складі УНМС;
- чотири модулі для обчислення фізичного значення параметра (температури чи тиску) на основі нелінійної статичної характеристики відповідного датчика; для забезпечення високої швидкодії характеристик датчика представлена у вигляді таблиці зі 160 точок, метод обробки – ступінчаста інтерполяція;
- модуль формування двійкового коду управління КД для виконання наступного кроку з урахуванням потрібного напрямку обертання вала КД;
- модуль реалізації базового такту роботи ПЗНР на основі одного з таймерів мікроконтролера;
- модуль передавання даних на ПК для відображення.

Задавальний вплив формувався залежно від виду експериментів наступним чином:

- для отримання статичних характеристик ОАП – як кероване оператором переміщення конусу на визначену кількість кроків КД із періодом кроку 100 мс.
- для отримання перехідних характеристик – шляхом переміщення конусу на 100 кроків КД із максимальною швидкістю (період кроку становив 1мс);
- при отриманні даних для частотних характеристик конус переміщувався зі швидкістю, що змінювалась за синусоїдальним законом змінної частоти; відповідна кількість кроків за один період дискретизації (що становив 100 мс) обчислювалась на ПК і передавалась на контролер для відпрацювання; таким чином здійснювалась взаємна синхронізація ПК і контролера.

Серію експериментів проведено на макетному зразку ОАП з ВЕ, що має наступні геометричні характеристики: діаметр робочої частини $D_{\text{рч}} = 5,8 \text{ мм}$; довжина робочої частини $L_{\text{рч}} = 20 \cdot D_{\text{рч}}$; хід регулюючого органу вентиля $\Delta\zeta = 2 \text{ мм}$; діаметр діафрагми $D_{\text{д}} = 2,5 \text{ мм}$; площа соплового тангенціального входу $F_{\text{с}} = 1 \text{ мм}^2$; ступінь розширення сопла $\varepsilon_{\text{с}} = 2,6$. Матеріал робочої частини – органічне скло. Вихідний канал холодного повітря – теплоізолюваний. Зовнішні умови: тиск стиснутого повітря $P_{\text{с}} = 0,5 \dots 0,7 \text{ МПа}$; температура навколишнього середовища $T_{\text{н}} = 292 \text{ К}$, відносна вологість повітря $\bar{\varphi} = 85 \%$.

В ході експериментальних досліджень отримано такі характеристики:

1) статичні – залежність потоку ентальпії Q_x та повної температури (вираженої у градусах Цельсія) t_x^* холодного повітря від положення регулюючого органу вентиля ζ (рис. 2). Значення $\zeta = 0$ відповідає положенню вентиля "зачинено". Значення потоку ентальпії визначено за формулою [2]:

$$Q_x = \mu G_c C_p T_x^*, \quad (1)$$

де μ – відносна витрата холодного повітря; G_c – масова витрата стиснутого повітря, кг/с; C_p – питома ізобарно теплоємність повітря, Дж/(кг·К); T_x^* – повна температура холодного повітря, К;

2) логарифмічні амплітудно-частотні (ЛАЧХ) – реакція на гармонічний керуючий вплив з амплітудою $A_{\zeta} = 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}$ при $P_{c1} = 0,6 \text{ МПа}$, $P_{c2} = 0,7 \text{ МПа}$. Частота гармонічного сигналу змінювалась в діапазоні $\omega \in [0,012; 1,57] \text{ рад/с}$ (рис. 3). Значення потоку ентальпії віднесено до величини, що дорівнює половині діапазону лінеаризації Q_x характеристики $Q_x = Q_x(\zeta)$ у відповідних робочих точках (р.т.) $\zeta_{01} = 0,5 \text{ мм}$, $\zeta_{02} = 1,25 \text{ мм}$;

3) перехідні – реакція на ступеневий керуючий вплив $\Delta\zeta(t) = 2,5 \cdot 10^{-4} \cdot 1(t)$ в означених робочих точках (рис. 4). Потік ентальпії, як і при побудові частотних характеристик – відносна величина.

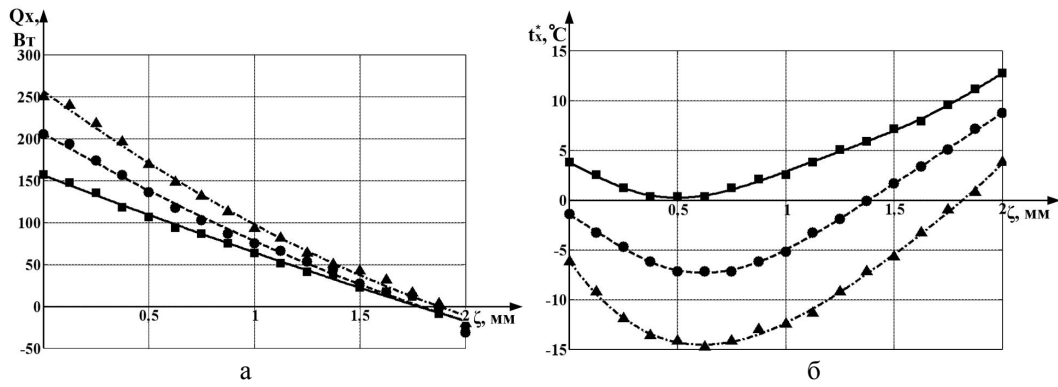


Рисунок 2 – Залежності: а – потоку ентальпії; б – температури холодного повітря від положення регулюючого органу вентиля: ■ – $P_{c1} = 0,5 \text{ МПа}$; ● – $P_{c2} = 0,6 \text{ МПа}$; ▲ – $P_{c3} = 0,7 \text{ МПа}$; --- апроксимація при P_{c1} ; --- апроксимація при P_{c2} ; --- апроксимація при P_{c3}

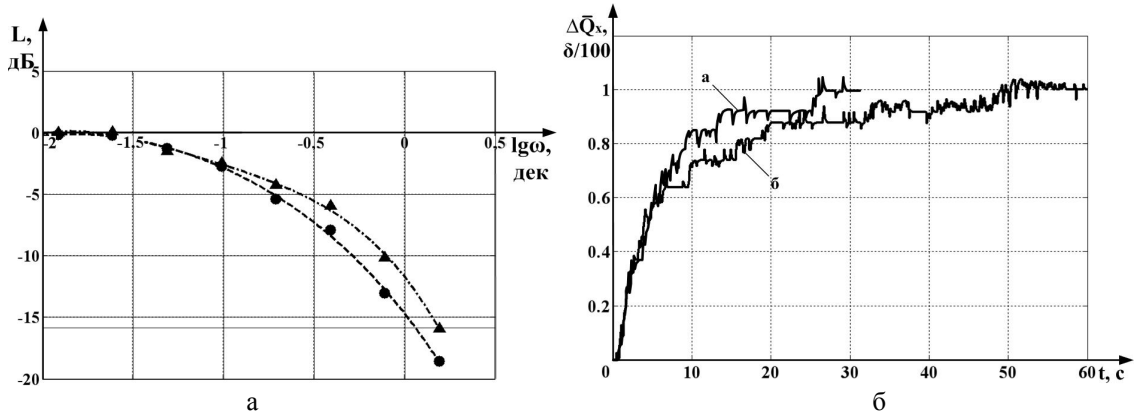


Рисунок 3 – Динамічні характеристики ОАП: а – ЛАЧХ; б – перехідні характеристики: ● – $P_c = 0,6 \text{ МПа}$; ▲ – $P_c = 0,7 \text{ МПа}$; ---- апроксимація при $P_c = 0,6 \text{ МПа}$; ---- апроксимація при $P_c = 0,7 \text{ МПа}$

Наведені графічні залежності дозволяють виділити наступні особливості функціонування вихрового енергорозділювача: 1) характеристики $t_x^* = t_x^*(\zeta)$ мають виражений екстремум. Мінімальні значення t_x^* відповідають діапазону значень керуючого впливу $0,5 \leq \zeta \leq 0,625$. При збільшенні тиску стиснутого повітря екстремум переміщується у бік більших значень ζ . Характер $t_x^* = t_x^*(\zeta)$; 2) вид перехідних та частотних характеристик говорить про те, що ОАП являє собою інерційну динамічну ланку (час перехідного процесу $30 \text{ с} < t_m < 50 \text{ с}$). Це підтверджується значенням смуги пропускання $\omega_{np} \approx 0,1 \text{ рад/с}$.

Висновки. Запропонований стенд ВЕ, апаратне та алгоритмічне забезпечення дозволяють проводити експериментальне дослідження статичних та динамічних характеристик ВЕ як об'єкту автоматичного позиювання, що дасть можливість отримати математичну модель вихрового енергорозділювача у вигляді рівняння вхід-вихід.

Список використаних джерел

1. Пат. 2213016 Российская Федерация, МПК⁷ В60Н1/22, В60Н3/00. Климатическая установка транспортного средства / Курносов Н.Е.; Заявитель и патентообладатель Курносов Н.Е. – № 2001126082/28; заявл. 24.09.01; опубл. 27.09.03. – 6 с.: ил.

2. Пиралишвили Ш.А. Вихревой эффект. Эксперимент, теория, технические решения / Пиралишвили Ш.А., Поляев В.М., Сергеев М.Н. / под ред.: Леонычева А.И.. – М.: УНПЦ "Энергомаш", 2000. – 412 с.

Аннотация

АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВИХРОВОГО ЭФФЕКТА

Кулик А.С., Джулгаков В.Г., Пасичник С.Н.

Приведена структура стенда для исследования эффекта температурного разделения. Показаны результаты экспериментальных исследований статических и динамических характеристик вихревого энергоразделителя

Abstract

HARDWARE AND SOFTWARE TOOLS FOR VORTEX EFFECT RESEARCH

A. Kulik, V. Dzhulgakov, S. Pasichnik

Workbench structure for temperature separating effect research is given. Research results for experimental obtained static and dynamic characteristics of vortex energy separator are shown.