

УДК: 681.5

А.С. КУЛИК, С.Н. ПАСИЧНИК, В.Г. ДЖУЛГАКОВ

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ВИХРЕВОГО ЭНЕРГОРАЗДЕЛИТЕЛЯ

Приведены результаты экспериментальных исследований статических и динамических характеристик вихревого энергоразделителя (ВЭ). Определены диапазоны рабочих режимов и основные показатели качества ВЭ как объекта позиционирования. Рассмотрены способы изменения потока энтальпии холодного воздуха ВЭ в составе системы кондиционирования (СК) кабины транспортного средства с целью расширения диапазонов рабочих режимов в случае использования автономного источника сжатого воздуха. Реализация рассмотренных способов возможна путем изменения как относительного расхода холодного воздуха, так и давления сжатого воздуха на входе в ВЭ.

Ключевые слова: вихревой энергоразделитель, система кондиционирования, динамическая характеристика, поток энтальпии.

Введение

Анализ современных энергетических технологий [1] показывает, что одной из перспективных является технология преобразования тепловой энергии на основе вихревого эффекта, что выгодно отличает ее от традиционных простотой технической реализации и обслуживания.

Среди направлений использования вихревого эффекта можно выделить получение холодного и горячего воздуха для систем кондиционирования кабин и салонов самолетов. Основным элементом таких систем является устройство, в котором реализуется вихревой эффект – вихревой энергоразделитель.

Для обеспечения комфортных условий в кабине необходимо целенаправленно изменять температуру T_x^* и количество G_x подаваемого в кабину холодного воздуха. В известных конструкциях вихревых систем кондиционирования [2] используются либо однорежимные вихревые энергоразделители, либо с позиционированием потока энтальпии холодного воздуха при постоянном давлении сжатого воздуха путем изменения относительного расхода холодного воздуха. Такой подход существенно ограничивает диапазон рабочих режимов и не учитывает динамические свойства вихревого энергоразделителя.

В данной работе приводится анализ экспериментальных характеристик и способов целенаправленного изменения потока энтальпии холодного воздуха ВЭ как объекта автоматического позиционирования, что позволит в последующем определить структуру и параметры математической модели ВЭ в виде уравнения вход-выход.

1. Постановка задачи исследования

Для изучения особенностей протекания физических процессов в вихревом энергоразделителе требуется провести серию экспериментальных исследований на макетном образце и получить статические, временные и частотные характеристики ВЭ как объекта автоматического позиционирования.

По результатам экспериментов требуется проанализировать все возможные способы изменения потока энтальпии холодного воздуха

$$(G_x = \text{var}, T_x^* = \text{var}; G_x = \text{const},$$

$$T_x^* = \text{var}; G_x = \text{var}, T_x^* = \text{const}),$$

вытекающих из уравнения для потока энтальпии [3]:

$$Q_{ix} = \mu G_{сж} C_p T_x^*, \quad (1)$$

где Q_{ix} – поток энтальпии, Вт; μ – относительный расход холодного воздуха; $G_{сж}$ – массовый расход сжатого воздуха, кг/с; C_p – удельная изобарная теплоемкость воздуха, Дж/(кг·К).

2. Результаты экспериментальных исследований ВЭ

Серия экспериментов проведена на макетном образце объекта автоматического позиционирования (ОАП) со следующими режимными параметрами:

- ход регулирующего органа вентиля $\Delta x = 2$ мм;
- давление сжатого воздуха $P_{сж} = 0,5 \dots 0,7$ МПа;
- температура окружающей среды $T_H = 292$ К.

ОАП включает в себя следующие функциональные элементы (рис. 1): УМ – усилитель мощности, ШД – шаговый электродвигатель, В – вентиль, Дт – датчик температуры.

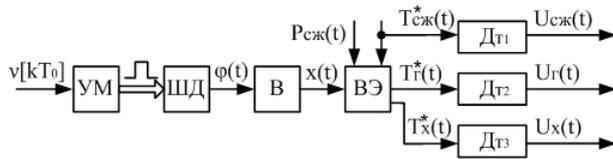


Рис. 1. Функциональная схема объекта автоматического позиционирования

На рис. 1 обозначено: $v[kT_0]$ – частота управляющих импульсов ($T_0 = 0,1$ с), Гц; $\varphi(t)$ – угловое положение вала двигателя, рад; $x(t)$ – линейное положение регулирующего органа вентиля, м; $P_{сж}(t)$ – давление сжатого воздуха, Па; $T_{сж}^*(t)$, $T_{г}^*(t)$, $T_{х}^*(t)$ – температуры торможения сжатого, горячего и холодного воздуха соответственно, К; $U_{сж}(t)$, $U_{г}(t)$, $U_{х}(t)$ – напряжения датчиков температуры, В.

В ходе экспериментальных исследований получены такие характеристики:

1) статические – зависимость холодопроизводительности Q_x , потока энтальпии Q_{ix} , относительного расхода μ и температуры торможения (выраженной в градусах Цельсия) t_x^* холодного воздуха от положения регулирующего органа вентиля x (рис. 2). Значение $x = 0$ соответствует положению вентиля «закрыто»;

2) переходные – реакция на ступенчатое управляющее воздействие $\Delta x(t) = 2,5 \cdot 10^{-4} \cdot 1(t)$ (рис. 3);

3) логарифмические амплитудно-частотные (ЛАЧХ) – реакция на гармонический управляющий сигнал с амплитудой $A_x = 2,5 \cdot 10^{-4}$ м. Частота периодического сигнала изменялась в диапазоне $\omega \in [0,012; 1,57]$ рад/с (рис. 4).

Приведенные графические зависимости позволяют выделить следующие особенности функционирования вихревого энергоделителя:

1) характеристики $Q_x = Q_x(x)$ и $t_x^* = t_x^*(x)$ имеют экстремум. Максимальные значения Q_x соответствуют диапазону значений относительного расхода $0,55 \leq \mu \leq 0,65$, минимальные значения t_x^* – $0,4 \leq \mu \leq 0,5$. При увеличении давления сжатого воздуха экстремум смещается в сторону меньших значений μ .

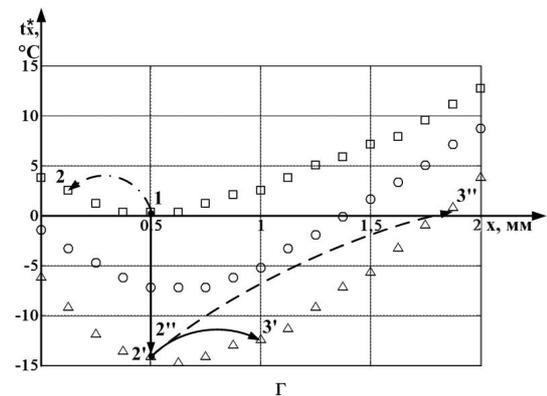
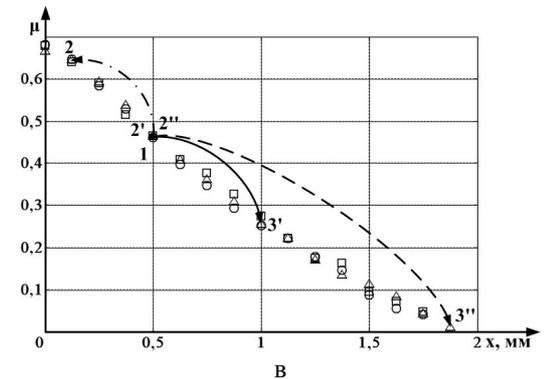
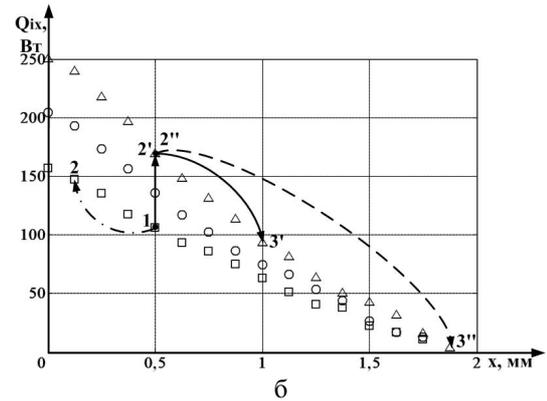
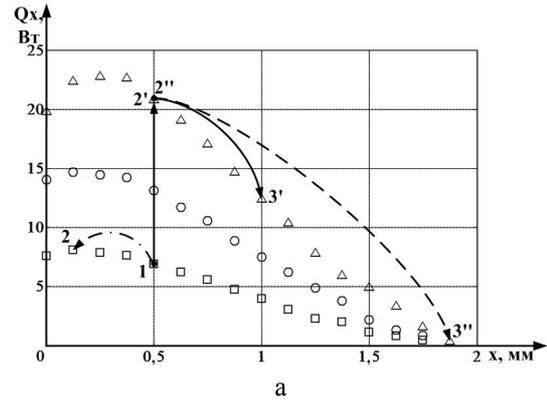


Рис. 2. Зависимости: а – холодопроизводительности, б – потока энтальпии, в – относительного расхода, г – температуры холодного воздуха от положения регулирующего органа вентиля:

□ – $P_{сж} = 0,5$ МПа ; ○ – $P_{сж} = 0,6$ МПа ;
 Δ – $P_{сж} = 0,7$ МПа

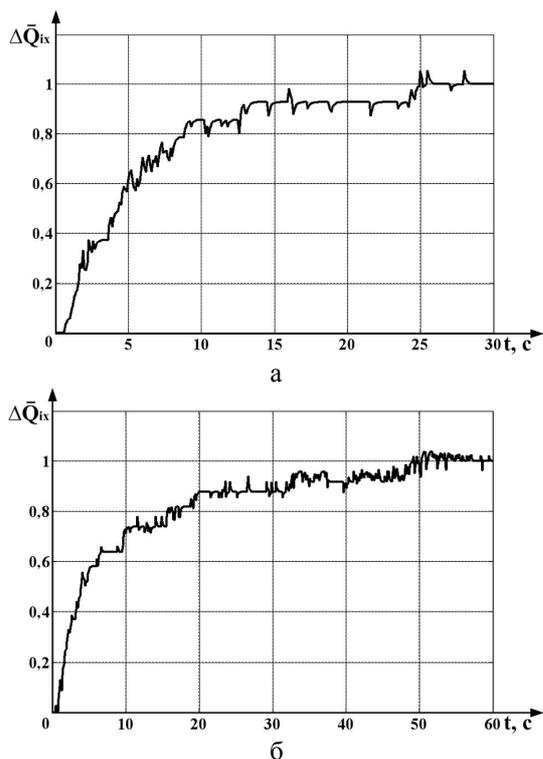


Рис. 3. Переходные характеристики для:
а – $P_{сж} = 0,6$ МПа ; б – $P_{сж} = 0,7$ МПа

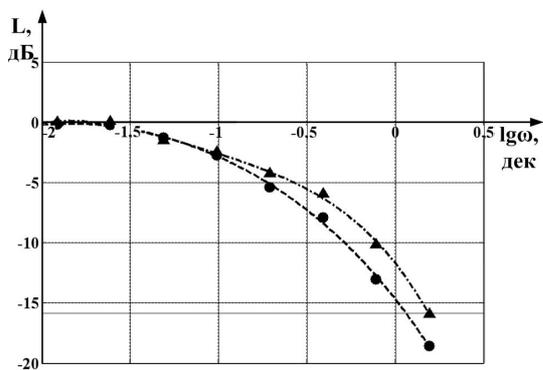


Рис. 4. Логарифмические амплитудно-частотные характеристики: ● – $P_{сж} = 0,6$ МПа ;
▲ – $P_{сж} = 0,7$ МПа

2) вид переходных и частотных характеристик свидетельствует о том, что ОАП представляет собой существенно инерционное динамическое звено (время переходного процесса $30 \text{ с} < t_{\text{пп}} < 50 \text{ с}$). Это подтверждается значением полосы пропускания $\omega_{\text{пр}} \approx 0,1 \text{ рад/с}$.

3. Анализ способов изменения потока энтальпии холодного воздуха ВЭ

Для анализа используются статические характеристики ВЭ (рис. 2), на которых обозначены пути

перехода между режимами для трех способов изменения потока энтальпии: $-\cdot-\cdot-$ – способ $G_x = \text{var}$, $T_x^* = \text{var}$; $—$ – способ $G_x = \text{const}$, $T_x^* = \text{var}$; $----$ – способ $G_x = \text{var}$, $T_x^* = \text{const}$.

Особенностью первого способа является постоянство давления сжатого воздуха $P_{сж} = \text{const}$. Пусть исходный установившийся режим системы определяется положением точки 1. Для стабилизации температуры воздуха в кабине при увеличении тепловой нагрузки необходимо увеличить Q_x . Это достигается изменением проходного сечения вентиля, установленного на «горячем» конце ВЭ. В результате система перейдет в новый режим (точка 2). Увеличить Q_x удалось за счет увеличения расхода холодного воздуха. Однако вместе с расходом увеличилась и температура t_x^* . Эффекта роста температуры можно избежать, если исходный режим системы располагается на правой ветви характеристики (рис. 2, г). Реализация данного способа связана с необходимостью коррекции системы в контуре позиционирования Q_x . Достоинством первого способа является эффективное использование сжатого воздуха для охлаждения кабины. Недосток – небольшой диапазон изменения Q_x .

Для второго способа после увеличения нагрузки на входе ВЭ устанавливается новое значение давления, ВЭ переходит в режим, определяемый положением точки 2'. Далее алгоритм стабилизации переводит ВЭ в режим 3'. В результате Q_x увеличилась на 5,5 Вт, что превышает результат, полученный в первом случае. Преимущество этого способа: рационально выбрав расчетный режим, можно уменьшить габаритно-массовые характеристики ВЭ. Недосток – значительное усложнение структуры системы и алгоритмов управления.

Для третьего способа результатом компенсации увеличения тепловой нагрузки будет уменьшение холодопроизводительности на 6,5 Вт с одновременным уменьшением расхода. Для обеспечения $T_x^* = \text{const}$ необходимо увеличивать G_x . Добиться увеличения Q_x можно выбором соответствующего расчетного режима. Преимуществом такого способа является возможность обеспечения более комфортных температурных условий в кабине.

Заключение

Проведен анализ результатов экспериментальных исследований статических и динамических характеристик противоточного вихревого энергораз-

делителя. Определены диапазоны рабочих режимов. Показано, что ВЭ является существенно инерционным динамическим звеном.

Рассмотрены способы изменения потока энтальпии холодного воздуха ВЭ. Показана принципиальная возможность реализации каждого способа при использовании ВЭ как генератора холода в системе кондиционирования.

Полученные результаты дают возможность сформулировать и решить задачу структурной и параметрической идентификации математической модели ВЭ.

Литература

1. Азаров А.И. От однокамерной вихревой трубы Фултона к модульным многокамерным вихревым

воздухоохладителям: развитие, промышленное использование, перспективы: доклад-лекция // XIУ Школа-семинар молодых ученых и специалистов под рук. акад. РАН А.И. Леонтьева. Проблемы газодинамики и тепломассообмена в энергетических установках. 26-30 мая 2003г., Рыбинск. – М. МЭИ, 2003. – Т. 2. – С. 195-203.

2. 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.

3. Пиралишвили Ш.А. Вихревой эффект. Эксперимент, теория, технические решения / Ш.А. Пиралишвили, В.М. Поляев, М.Н. Сергеев / Под ред. А.И. Леонтьева. – М.: УНПЦ «Энергомаши», 2000. – 412 с.

Поступила в редакцию 20.05.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф., зав. каф. «Авиационные приборы и измерения» Н.Д. Кошевой, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е.Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ВИХРОВОГО ЕНЕРГОРОЗДІЛЮВАЧА

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

Наведено результати експериментальних досліджень статичних та динамічних характеристик вихрового енергорозділювача (ВЕ). Визначено діапазони робочих режимів та основні показники якості ВЕ як об'єкту позиціонування. Розглянуто засоби зміни потоку ентальпії холодного повітря ВЕ у складі системи кондиціонування кабіни іранспортного засобу з метою розширення діапазонів робочих режимів у разі використання автономного джерела стиснутого повітря. Реалізація розглянутих засобів можлива як шляхом зміни відносної витрати холодного повітря, так і тиску стиснутого повітря на вході в ВЕ.

Ключові слова: вихровий енергорозділювач, система кондиціонування, динамічна характеристика, потік ентальпії.

EXPERIMENTAL RESEARCH OF VORTICAL POWER SEPARATOR CHARACTERISTICS

A.S. Kulik, S.N. Pasichnik, V.G. Dzhulgakov

Vortical power separator (VPS) static and dynamic characteristics experiments results are brought. Diapasons of operating modes and main VPS quality factors as positioning control object are determined. Means of VPS cold air enthalpy stream changing in composition of vehicle cabin conditioning system (CS) aimed to operating modes expansion in case of using of autonomous compressed air source are reviewed. Implementation of considered means is possible due to variations of either cold air relative charge or VPS input compressed air pressure.

Keywords: vortical power separator, conditioning system, dynamic characteristic, enthalpy stream.

Кулік Анатолій Степанович – д-р техн. наук, проф., зав. каф. «Системи управління летательных аппаратов», Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е.Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина.

Пасічник Сергей Николаевич – ст. преподаватель каф. «Системи управління летательных аппаратов», Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е.Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина, e-mail: SNPasichnik@gmail.com.

Джулгаків Віталій Георгієвич – доц. каф. «Системи управління летательных аппаратов», Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е.Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина.