

УДК 62-82-027.45-947

**АНАЛИЗ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ,
ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ МАТЕМАТИЧЕСКОМ
МОДЕЛИРОВАНИИ ПНЕВМОСИСТЕМ**

ANALYSIS OF GAS DYNAMIC FUNCTIONS USED
IN MATHEMATICAL MODELING OF PNEUMATIC SYSTEMS

Филипова Л. Г., ст. преп., **Сокол В. А.**, ст. преп.,
Чикилевский Я. А., преп., **Модонов И. Д.**, студ.,
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

L. Filipova, Senior Lecturer, V. Sokol, Senior Lecturer,
Y. Chikilevsky, Lecturer, I. Modonov, Student,
Belarusian national technical University, Minsk, Belarus

В современных многоконтурных тормозных пневматических приводах, рассчитанных на работу в определенном технологическом режиме, необходимо выбрать оптимальные параметры элементов системы подачи и коррекции воздуха, чтобы правильная подача рабочего органа повышала стабильность работы пневмопривода.

In modern multi-circuit pneumatic brake actuators, designed to operate in a certain technological mode, it is necessary to select the optimal parameters of the elements of the air supply and correction system so that the correct supply of the working body increases the stability of the pneumatic actuator.

Ключевые слова: пневматический привод, транспортное средство, автопоезд, торможение, динамика, математическая модель, быстрдействие

Keywords: pneumatic drive, vehicle, road train, braking, dynamics, mathematical model, performance

ВВЕДЕНИЕ

Рост количества автотранспортных средств и скорость их передвижения выдвигает все более жесткие требования к эффективности систем безопасности. Возрастающая интенсивность движения

таких средств приводит к уменьшению времени на принятие оптимального решения в процессе управления тормозной системой, особенно при экстренном торможении.

Особого внимания заслуживает проблема торможения длиннобазных автомобилей и автопоездов большой грузоподъемности, оборудованных многоконтурными пневматическими тормозными приводами.

Быстродействие и синхронность работы тормозных приводов зависят от типа пневматической системы и ее конструктивных параметров. Путем рационального подбора размеров трубопроводов и агрегатов далеко не всегда можно достичь требуемого быстродействия привода.

Чтобы провести математическое моделирование и динамический расчет таких приводов необходимо правильно выбрать не только необходимую их схему, но особое внимание уделить газодинамическим функциям, используемым при этом.

АНАЛИЗ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ МАТЕМАТИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ПНЕВМОСИСТЕМ

От принятой при математическом моделировании газодинамической функции зависит трудоемкость и точность расчетов пневмоприводов.

Мгновенный массовый расход воздуха через местное сопротивление (например, дроссель) имеет вид [1]:

$$\left(\frac{dm}{dt} \right)_d = \dot{m}_d = f_c \cdot v_i \cdot \rho_i, \quad (1)$$

где f_c – площадь поперечного сечения струн; v_i – скорость струи в выходном сечении канала; ρ_i – плотность воздуха на выходе из канала дросселях.

В зависимости от конкретной функции расхода можно получить ряд функций для мгновенного массового расхода воздуха. Например, истечение газа из отверстий и насадок при переменном давлении или наполнение ёмкостей при постоянном внешнем давлении

чаще всего описывается с помощью газодинамической функции расхода Сен-Венана и Ванцеля [2]:

– при докритическом истечении воздуха:

$$\frac{dm}{dt} = \mu \cdot f \cdot \sqrt{2 \cdot \rho_0 \cdot p_0 \cdot \frac{k}{k-1} \cdot \left[\left(\frac{p_1}{p_0} \right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p_1}{p_0} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right]}, \quad (2)$$

– при надкритическом истечении воздуха:

$$\frac{dm}{dt} = \mu \cdot f \cdot \sqrt{2 \cdot \rho_0 \cdot p_0 \cdot \frac{k}{k+1} \cdot \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{2}{k-1}}}, \quad (3)$$

где dm/dt – мгновенный массовый расход воздуха; μ – коэффициент расхода; f – живое сечение трубопровода (дресселя); p_0 и p_1 – давления на входе и выходе пневматического дросселя; ρ_0 – плотность воздуха; k – показатель адиабаты.

Так как особое место среди пневматических тормозных приводов с корректирующими устройствами занимают длинные трубопроводы, то представляет интерес газодинамическая функция расхода, учитывающая коэффициент трения воздуха λ в трубопроводе и его геометрические параметры [3].

Из сказанного видно, что из всех газодинамических функций массового расхода воздуха ни одна не может полностью соответствовать требованиям, предъявляемым при расчете пневматических тормозных приводов автопоезда, обладающих своими специфическими особенностями.

Ранее была получена линеаризованная газодинамическая функция расхода [4]:

– для наполнения:

$$\frac{dm}{dt} = \frac{E}{R \cdot T} \cdot (\alpha \cdot p_0 - p_1); \quad p_{1\text{нач}} \leq p_1 \leq p_0, \quad (4)$$

– для опорожнения:

$$-\frac{dm}{dt} = \frac{E}{R \cdot T} (p_1 - \beta \cdot p_0); \quad p_0 \leq p_1 \leq p_{max}; \quad (5)$$

$$-\frac{dm}{dt} = \frac{E}{R \cdot T} \cdot (-p_0 + \alpha \cdot p_1); \quad p_0 \leq p_1 \leq p_{max}, \quad (6)$$

где $E = \mu \cdot f \cdot v_{кр}$; α – коэффициент аппроксимации; β – соотношение эффективных площадей.

Как показали исследования [4], с этой функцией хорошо описываются процессы, протекающие в простейших пневматических приводах. Она позволяет получить решения в аналитическом виде с достаточной степенью точности, поэтому ее можно использовать при расчете одноконтурных тормозных приводов.

В Белорусском национальном техническом университете была получена гиперболическая газодинамическая функция расхода [1]:

$$\frac{dm}{dt} = \mu \cdot f \cdot v_{кр} \cdot \frac{A \cdot p_{вх}}{R \cdot T} \cdot \frac{p_{вх} - p_{вых}}{B p_{вх} - p_{вых}}, \quad (7)$$

где A и B – постоянные коэффициенты; $p_{вх}$ и $p_{вых}$ – давления на входе и выходе ДЕ-звена.

Она выражена одним уравнением, удобна в исследовании как для простых, так и для сложных многозвенных систем, что будет показано ниже. Ее рекомендуется использовать для многоконтурных тормозных приводов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследования показали, что с помощью рекомендуемого математического моделирования и применения средств, повышающих быстродействие, можно разрабатывать и проектировать различные многоконтурные пневматические тормозные приводы для многоосных транспортных средств. После создания математической модели необходимо выполнить поверочный расчет. По его результатам при необходимости корректируют размеры исполнительных механизмов, диаметры тормозных шлангов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Метлюк, Н. Ф. Динамика пневматических и гидравлических приводов автомобиля / Н. Ф. Метлюк, В. П. Автушко. – М. : Машиностроение, 1980. – 231 с.
2. Герц, Е. В. Расчет пневмоприводов. Справочное пособие / Е. В. Герц, Г. В. Крейнин. – М.: Машиностроение, 1975. – 272 с.
3. Герц Е. В. Динамика пневматических приводов машин-автоматов/ Е. В. Герц. – М. : Машиностроение, 1964. – 230 с.
4. Беленький, Ю. Б. Расчет колодочных механизмов и их приводов / Ю. Б. Беленький. – Мн. : МВ ССО БССР, 1963. – 133 с.
5. Бартош, П. Р. К выбору газодинамической функции и использованию допущений при математическом моделировании пневматических приводов / П. Р. Бартош, Л. Г. Филипова. – Мн.: БНТУ, 2019. – С. 252–257 с.

Представлено 11.05.2024

УДК 629.114. 2

АНАЛИЗ СХЕМ ГИДРООБЪЕМНОГО РУЛЕВОГО УПРАВЛЕНИЯ

ANALYSIS OF HYDROVIDEO VOLUME STEERING SYSTEMS

Белениник А. И., аспирант, **Клоков Д. В.**, канд. техн. наук, доц.,
Захаров А. В., канд. техн. наук, доц., **Ермилов С. В.**, ст. преп.,
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

A. Belianinik, Graduate Student, D. Klokov, Ph. D. in Eng., Ass. Prof.,
A. Zaharov, Ph. D. in Eng., Ass. Prof., S. Yermilov, Senior Lecturer,
Belarusian national technical University, Minsk, Belarus

В данной работе рассмотрены современные схемы, гидрообъемного рулевого управления (ГОРУ). Проанализированы преимущества с недостатками каждой схемы. Предложен перспективный вариант развития ГОРУ, учитывая актуальность энергосбереже-