

axis wind turbine // Proc.IMEchE. Vol.222. Part C: J. Mechanical Engineering Science. 2008. Pp.1681-1694. **10.** D.M.Sommers. Design and experimental results for the S809 airfoil / Airfoils, incorporated state college, Pensilvania. NREL technical monitor: J.Tangler. Jan.1997. – 24 p. **11.** К.В.Аврамов, К.Пьерр, Н.В.Ширяева. «Уравнения нелинейных изгибно-изгибно-крутильные колебаний вращающихся стержней произвольного поперечного сечения» // Механіка та машинобудування. 2006, №1, стр.8-19. **12.** К.В.Аврамов, К.Пьерр, Н.В.Ширяева. «Нелинейные нормальные формы колебаний системы с гироскопическими силами» // ДНАН України. № 11, 2006. С. 7-10.

Поступила в редколлегию 15.02.2012

УДК 621.646.42

Г.А. КРУТИКОВ, докт. техн. наук, доцент, НТУ "ХПИ", Харьков,
М.Г. СТРИЖАК, асп., НТУ "ХПИ", Харьков

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЛАСТЕЙ УСТОЙЧИВОСТИ АНАЛОГОВОГО ЭЛЕКТРОПНЕВМАТИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ В ПРОСТРАНСТВЕ ЕГО КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ

В статье описан метод выделения областей устойчивости электропневматического редуцирующего клапана с пропорциональным электроуправлением в пространстве его конструктивных параметров, приведен алгоритм реализации метода на ЭВМ и полученные графики.

У статті описаний метод виділення областей стійкості електропневматичного редуційного клапана з пропорційним електрокеруванням в просторі його конструктивних параметрів, наведений алгоритм реалізації метода на ЕОМ і отримані графіки.

This article describes the method for separating the regions of stability of electro-reducing valve with proportional electric control in the space of its design parameters, an algorithm implementing the method on a computer and the resulting graphs.

Постановка задачи. При переходе от редуцирующих клапанов (РК) с пружинным управлением к РК с пропорциональным электрическим управлением становится чрезвычайно острым вопрос устойчивости их работы. В этом случае пружину большой жёсткости, стабилизирующую равновесие мембранно-клапанного узла, требуется заменить упруго-вязкостными звеньями, использующими газодинамические эффекты для достижения устойчивой работы РК.

Основные результаты. На рис. 1 представлена расчётная схема РК с пропорциональным электроуправлением, у которого в целях стабилизации работы введена надмембранная демпфирующая камера. В линейной модели такого РК с механическим аналогом надмембранной демпфирующей камеры. (рис. 2) воздействие воздуха в

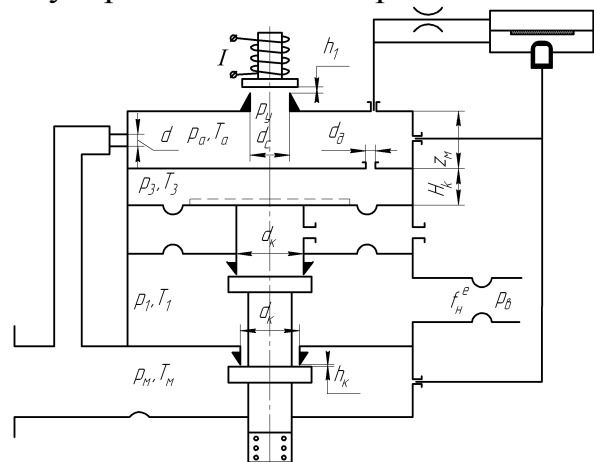


Рис. 1. Расчётная схема пропорционального РК с электроуправлением с надмембранной демпфирующей камерой

надмембранной камере на мембрану представим как действие пружины, верхний конец которой закреплен не жёстко, а через демпфер (т.е. подвержен действию вязкого трения), а нижний конец соединен с мембраной жёстко.

Значение присоединенной жесткости пневмопружины и коэффициента вязкого трения найдем из уравнения энергетического баланса газа в надмембранной камере, записанного в приращениях:

$$\begin{cases} \dot{p}_3 = -\frac{1}{\tau_1} p_3 - \frac{k \cdot p_{30}}{H_k} \dot{i}; \\ c_1 (l_1 - l) = p_3 \cdot F_M. \end{cases} \quad (1)$$

Отсюда:
$$\left(\frac{k \cdot p_{30} \cdot \tau_1}{H_k} - \frac{\tau_1 \cdot c_1}{F_M} \right) \Delta i + \frac{\tau_1 \cdot c_1}{F_M} \Delta l_1 + k \frac{c_1}{F_M} (\Delta l_1 - \Delta l) = 0, \quad (2)$$

где p_3 – давление в надмембранной камере; α – проводимость дросселя надмембранной камеры; $\tau_1 = F_M H_k / kRT\alpha$ – постоянная времени надмембранной камеры; l_1 – перемещение верхнего задемпфированного конца фиктивной пружины; c_1 – жесткость пневмопружины. Нижний конец пружины, имеющий координату l не испытывает воздействия вязкого трения, (первый член уравнения (2) равен нулю), т.е.:

$$c_1 = \frac{k \cdot p_{30}}{H_k} F_M; \quad (3)$$

Тогда:
$$\frac{\tau_1 \cdot c_1}{k} \dot{l}_1 + c_1 (l_1 - l) = 0; \quad (4)$$

Член при l_1 обозначим через h_1 (коэффициент вязкого трения присоединенного звена демпфирования).

$$h_1 = \frac{\tau_1 \cdot p_{30}}{H_k} F_M; \quad (5)$$

Систему уравнений для РК получим в виде:

$$\begin{cases} \tau_2 \Delta \dot{p}_1 + \Delta p_1 = k_1 \Delta l + k_2 \Delta f_1^{\circ}; \\ m \Delta \ddot{l} + h \Delta \dot{l} + c \Delta l + c_1 (\Delta l - \Delta l_1) = -F_M \Delta p_1; \\ h_1 \Delta \dot{l}_1 = c_1 (\Delta l - \Delta l_1), \end{cases} \quad (6)$$

где $\tau_2 = W / RT \cdot F_\partial$ – постоянная времени нагрузочной линии РК;

$$F_\partial = \frac{k \cdot f_1^{\circ}}{2} \sqrt{\frac{g}{2RT}} \left(\frac{2i-1}{1-i} \sqrt{i_n(1-i_n)} + \sqrt{i_n(1-i_n)} \right) - \text{коэффициент самовыравнивания}$$

$$\text{нагрузочной линии РК; } k_1 = \frac{\mu_1 \pi d_k p_a k}{F_\partial} \sqrt{\frac{2g}{RT}} i(1-i) - \text{коэффициент усиления}$$

клапана по давлению.

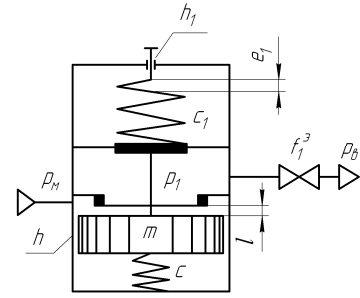


Рис. 2 . Расчётная схема РК

Характеристический полином передаточной функции по отношению к любому из возможных видов возмущающих воздействий представим в виде:

$$A_4s^4 + A_3s^3 + A_2s^2 + A_1s + A_0 = 0; \quad (7)$$

где $A_0 = F_m \cdot k_1 \cdot c_1 + c_1 c$; $A_1 = h_1 \cdot c_1 + h_1 c_1 + c_1 h + R_1 k_1 F + c_1 c - \tau_2$;

$A_2 = h_1 \cdot h + c_1 m + \tau_2 c h_1 + h_1 c_1 \tau_2 + c_1 h \tau_2$; $A_3 = m h_1 + \tau_2 h_1 h + c_1 m \tau_2$; $A_4 = h_1 m \tau_2$.

Построение областей устойчивости по методу Неймарка (Д-разбиение) невозможно. Это обусловлено тем, что варьируемые параметры входят нелинейно в коэффициенты полинома знаменателя. Для построения областей устойчивости в этом случае необходимо использовать ЭВМ.

Условие устойчивости по Гурвицу имеет вид:

$$D = A_1 A_2 A_3 - A_0 A_3^2 - A_1^2 A_4 > 0.$$

Применим для нахождения границы области устойчивости на плоскости двух параметров метод слежения вдоль границы [2]. Направление изменения параметров на плоскости (рис. 3) происходит по сторонам квадрата: вниз, вверх; влево, вправо. После каждого шага проверяется условие устойчивости. Алгоритм представлен на рис. 4: в плоскости двух параметров системы A и B выделяется область допустимых значений этих параметров ($A_n - A_k$, $B_n - B_k$), исходя из габаритных ограничений и наиболее вероятных условий функционирования РК. Поиск границы устойчивости состоит из двух частей. Если, начиная из исходной точки поиска (A_0 , B_0) при движении вдоль координаты A , мы не пересекли границы области устойчивости, то при достижении границы по A (A_k),

происходит смещение на шаг по B ($B_1 = B_0 + \Delta B$) и движение вдоль координаты A , начиная с нижней границы (A_n). Если на данном шаге мы пересекаем границу и входим в искомую область, то меняется направления поиска и следующий шаг совершается вдоль другой координаты по часовой стрелке. Если после этого пересечение границы не наблюдается, то опять делается шаг по часовой стрелке и так до тех пор, пока не произойдет пересечение границы и выхода за пределы области (рис. 3).

Для реализации этого алгоритма вводится ряд идентификаторов ($k, j, i, \gamma_1, \gamma_2$): k – для соблюдения очередности шагов вдоль координат A и B ; j – для выбора направления обхода квадрата; i – для смены стратегии поиска; γ_1, γ_2 – для выбора направления шага вдоль A и B соответственно.

При выходе за область допустимых значений параметров A и B гурвициану D присваивается значение, равное (-1). Данный алгоритм позволяет обойти и выделить область, где $D > 0$.

В качестве варьируемых примем размеры надмембранной камеры и величину диаметра дросселя в надмембранной камере – F_m, H_k, α , в качестве дополнительных параметров возьмем W, f_1^3 и d_k .

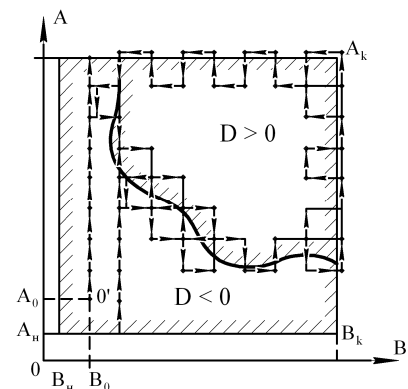


Рис. 3. Слежение вдоль границы устойчивости

На рис. 5 – 9 представлены результаты расчета областей устойчивости. Эти графики дают наглядную картину изменения области допустимых значений α при изменении параметров H_k , F_M , W , d_k и f_1^{\ominus} . Значения остальных параметров следующие: $p_M = 0,6$ МПа, $p_1 = 0,35$ МПа, $T = 300$ К, $\mu_1 = 0,85$, $p_b = 0,1$ МПа, $m = 0,79 \cdot 10^{-1}$ кг, $h = 50$ Н·сек/м. Анализ графиков на рис. 5 позволяет установить что: – чем меньше объем W , тем уже область допустимых значений H_k и α ; – наибольший допуск на диаметр дросселя в надмембранной камере будет при половине максимально

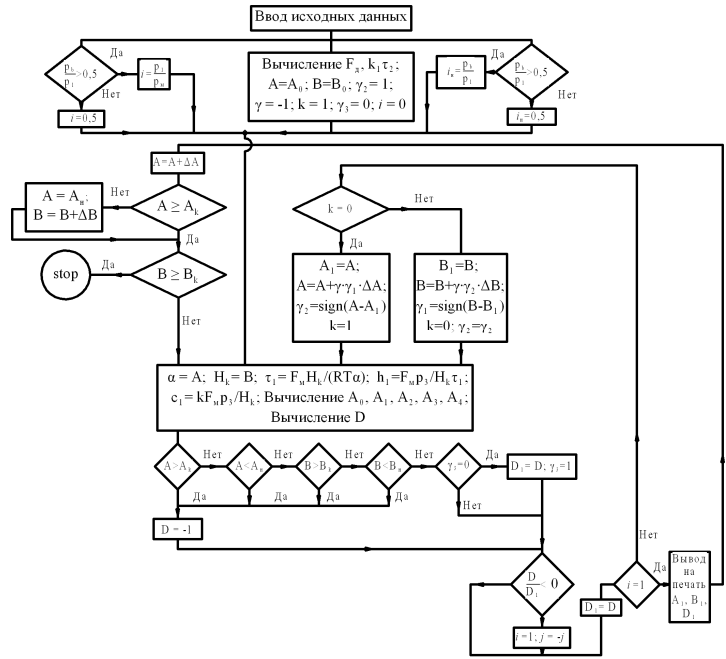


Рис. 4. Блок схема машинной реализации алгоритма слежения вдоль границы устойчивости

возможного диапазона изменения H_k ; – допуск на величину H_k будет максимальным при значении α , отличном от нуля (то есть дросселирование воздуха через отверстие в надмембранной камере целесообразно). Графики на рис. 6 позволяют сделать следующие выводы: – при очень маленьких значениях F_M для устойчивой работы РК достаточно заданной величины h и c , поэтому все кривые асимптотически стремятся к этому значению F_M ; – при малых значениях H_k ($0,6 \cdot 10^{-2}$ м и менее) с увеличением F_M допуск на α увеличивается (минимум допуска на α имеет место при малых значениях F_M); – при средних значениях H_k ($0,8 \cdot 10^{-2}$ м – $0,7 \cdot 10^{-2}$ м) с увеличением F_M сначала идёт увеличение допуска на α , а затем его быстрое уменьшение со смещением поля допуска вверх по шкале α ; – при значениях

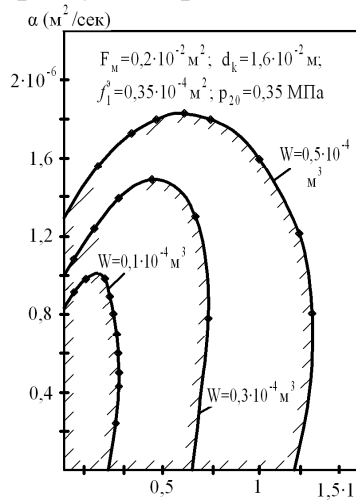


Рис. 5. Области устойчивости

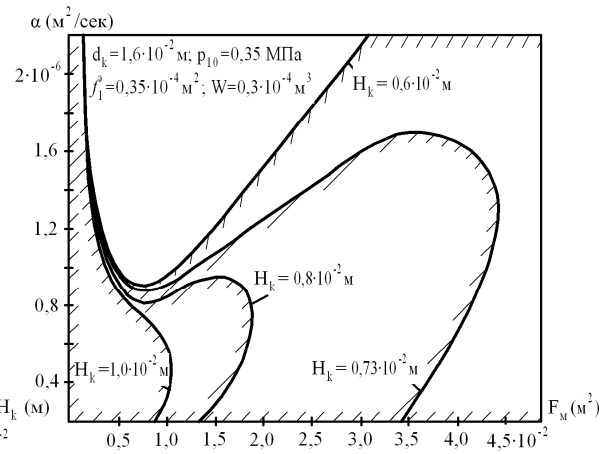


Рис. 6. Области устойчивости

уменьшением F_M допуск на α увеличивается (минимум допуска на α имеет место при малых значениях F_M); – при средних значениях H_k ($0,8 \cdot 10^{-2}$ м – $0,7 \cdot 10^{-2}$ м) с увеличением F_M сначала идёт увеличение допуска на α , а затем его быстрое уменьшение со смещением поля допуска вверх по шкале α ; – при значениях

$H_k > 0,9 \cdot 10^{-2}$ м с увеличением F_M допуск на α уменьшается при некотором смещении поля допуска вверх от нулевого значения.

Из рис. 7

следует, что:
 — с увеличением объёма нагрузочной линии РК (W) допуск на α растёт, однако его ширина даже для самых

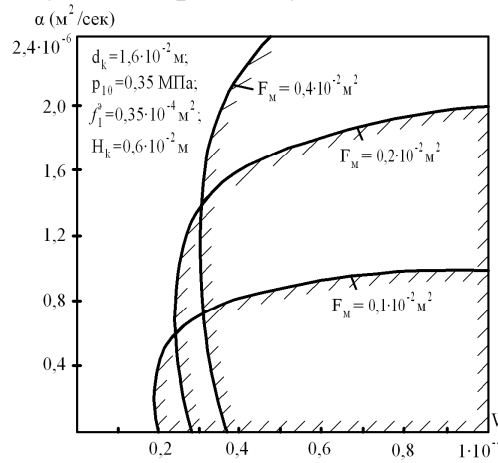


Рис. 7. Области устойчивости

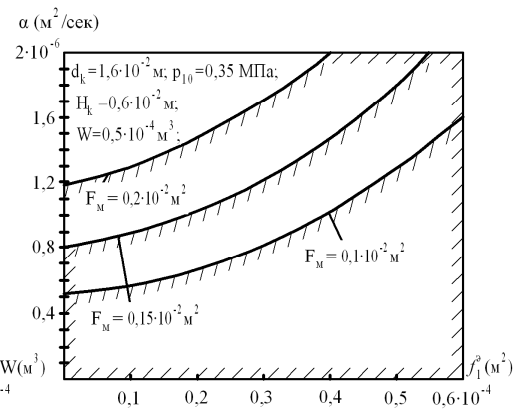


Рис. 8. Области устойчивости

больших значений W ограничена и зависит от величины F_M ; — чем меньше F_M , тем меньше минимальный объем, необходимый для устойчивой работы РК; — минимальное значение W для устойчивой работы РК имеем при значении α , отличном от нуля, которое тем больше, чем больше F_M .

Из рис. 8 следует, что чем больше сопротивление нагрузочного тракта, тем уже допуск на диаметр отверстия в надмембранной камере.

Анализируя графики на рис. 9, можем установить, что:

— с увеличением диаметра седла клапана d_k допуск на α уменьшается; с увеличением d_k поле допуска для α смещается вверх по шкале α , причем, чем больше F_M , тем выше смещается значение α , при котором можно добиться максимального значения d_k ; чем больше F_M , тем шире поле допуска на α в случае устойчивой работы РК; — наибольший допуск для d_k имеем при малом значении

F_M ($F_M = 0,1 \cdot 10^{-2}$ м²), однако, при этом диапазон допустимых значений α очень узок и мал по абсолютной величине.

В заключение рассмотрим области устойчивости по параметрам $H_k - d_k$ и $H_k - d_k$ (рис. 10 – 11). На рис. 10 представлены области устойчивости при изменении параметров H_k и d_k при разных значениях α .

Для относительно больших значений α ($\alpha = 1 \cdot 10^{-6}$ м²/сек) имеет в области допустимых значений параметров H_k и F_M две несвязанные между собой области устойчивости. При увеличении F_M от нуля система устойчива, затем идет область неустойчивой работы (в этом диапазоне изменений F_M не удается за счет

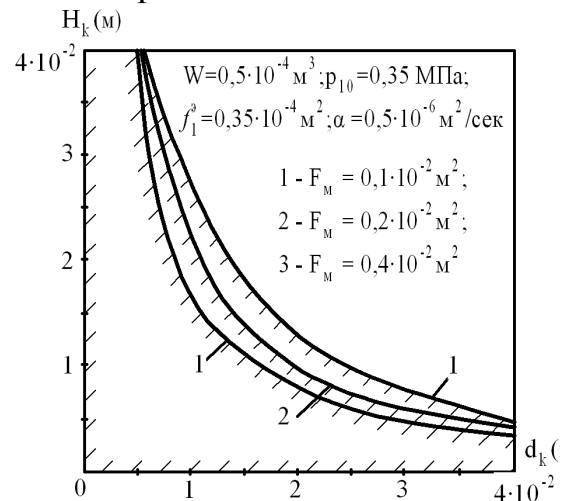


Рис. 9. Области устойчивости

вариации H_k добиться устойчивой работы), далее при увеличении F_M появляется зона устойчивой работы: сначала в узком диапазоне H_k , затем этот диапазон расширяется. При малых значениях α ($\alpha = 1 \cdot 10^{-6}$ м²/сек) область устойчивости не имеет разрывов. Характерно, что с увеличением F_M допуск на H_k сначала уменьшается, затем на длительном участке изменения F_M остается практически неизменным, а

затем начинает медленно возрастать. При увеличении d_k допуск на H_k сужается, убывая практически по гиперболе (рис. 11).

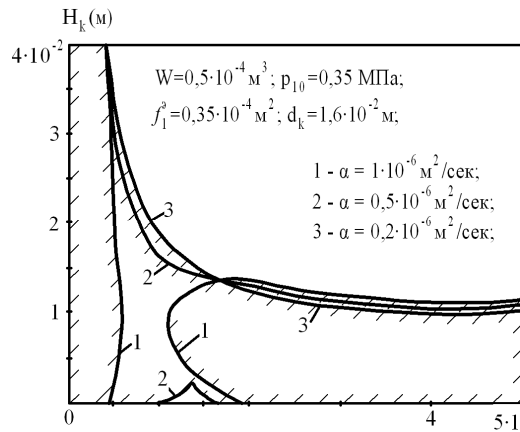


Рис. 10. Области устойчивости

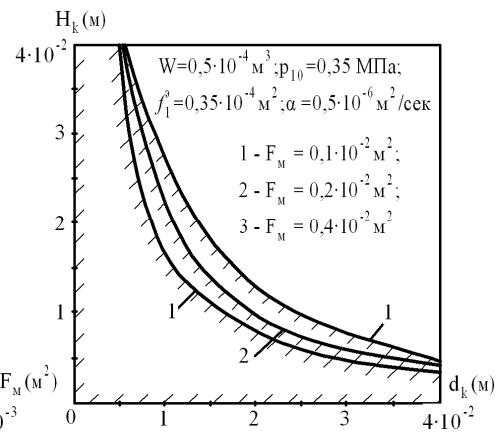


Рис. 11. Области устойчивости

Заключение. Построение областей устойчивости дает наглядную картину влияния параметров РК на устойчивость. Информацию о поведении системы в переходном режиме внутри области мы можем получить, построив кривые равного качества переходного процесса. Предложенный метод и полученные результаты полезны при проектировании электропневматических преобразователей, которые становятся всё более востребованными в качестве интерфейсных устройств в электропневматических системах.

Список литературы: 1. Залманзон Л.А. Об учёте влияния нелинейности характеристик глухих камер пневморегуляторов на процесс регулирования // Автоматика и телемеханика. – 1955. – № 5.2. Теория автоматического управления. Ч. I. Теория линейных систем автоматического управления. Под ред. А.А. Воронова – М.: В. Шк.. – 1977.

Поступила в редколлегию 15.02.2012

УДК 621.74.043:669.795

Ю.В. ДОЦЕНКО, канд. техн. наук, доц., НМетАУ, Днепропетровск,
В.Ю. СЕЛИВЕРСТОВ, докт. техн. наук, проф., НМетАУ, Днепропетровск,
В.В. МАЦИЙЧУК, инж., ВТ "Интерметалл", Одесса
С.В. МАЛЫХ, канд. экон. наук., доц., ОНПУ, Одесса

ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ОТЛИВОК СПОСОБОМ ЛИТЬЯ ПОД ВЫСОКИМ ДАВЛЕНИЕМ

За допомогою розробленої методики проведено аналіз групи машин лиття під тиском і виявлена модель машини, показники якої найбільш конкурентоспроможні у своїй групі в даний час.

Ключові слова: машина лиття під тиском, гіпотетичний інноваційний зразок, конкурентоспроможність.