

Ю.С. Анисимкин

ТРЕБУЕМОЕ ДЕМПФИРОВАНИЕ И КАЧЕСТВО ПРОЦЕССА РЕГУЛИРОВАНИЯ В РЕГУЛЯТОРЕ ДАВЛЕНИЯ ТОПЛИВА

Рассматривается уравнение движения системы регулирования на основе упрощенной расчетной модели регулятора давления топлива. Дан анализ влияния эксплуатационных и конструктивных параметров на требуемое демпфирование подвижных элементов регулятора давления топлива и качество переходных процессов системы регулирования по управляющему воздействию. Получено условие обеспечения устойчивости и заданного качества переходного процесса системы регулирования, согласующееся с экспериментальными данными для конкретных условий эксплуатации.

Обеспечение устойчивости и качества процесса регулирования регуляторов давления для пневмогидравлических и топливных систем двигателей и летательных аппаратов с требуемой точностью регулируемых параметров, необходимым ресурсом, с минимальными габаритами и весом является важной проблемой, решение которой в процессе их создания и доводки осуществляется демпфированием подвижных регулирующих органов [1, 2].

Из динамической расчетной модели системы, описывающей процесс в топливном регуляторе, определяется уравнение движения системы регулирования по управляющему воздействию в виде [3]

$$(A_6 p^6 + A_5 p^5 + A_4 p^4 + A_3 p^3 + A_2 p^2 + A_1 p + A_0) \varphi = (B_5 p^5 + B_4 p^4 + B_3 p^3 + B_2 p^2 + B_1 p + B_0) \psi. \quad (I)$$

Коэффициенты уравнения движения системы регулирования определяются по выражениям, приведенным в работе [3].

Характеристическое уравнение системы регулирования запишется в соответствии с выражением (I) в виде

$$A_0 p^5 + A_5 p^4 + A_4 p^3 + A_3 p^2 + A_2 p + A_1 + A_0 = 0. \quad (2)$$

Устойчивость системы регулирования по критерию Гурвица обеспечивается при выполнении условий [4]

$$\left. \begin{aligned} A_5 > 0; A_4 > 0; A_3 > 0; A_2 > 0; A_1 > 0; A_0 > 0; \\ A_5 A_4 - A_3 A_6 > 0; \\ A_3 (A_5 A_4 - A_3 A_6) + A_5 (A_1 A_6 - A_2 A_5) > 0; \\ (A_5 A_0 - A_3 A_2 - A_1 A_4) (A_5 A_4 - A_3 A_6) - (A_1 A_6 - A_2 A_5)^2 > 0; \\ A_1 [(A_5 A_0 + A_3 A_2 - A_1 A_4) (A_5 A_4 - A_3 A_6) - (A_1 A_6 - A_2 A_5)^2] - \\ - A_0 [A_5 A_3 (A_4 A_3 - A_2 A_5) + A_5^2 (A_5 A_0 - A_1 A_4) - A_6 A_3 (A_3^2 - \\ - 2 A_1 A_5)] > 0. \end{aligned} \right\} (3)$$

Выражение для требуемого демпфирования регулирующего органа регулятора определяется из условий (3):

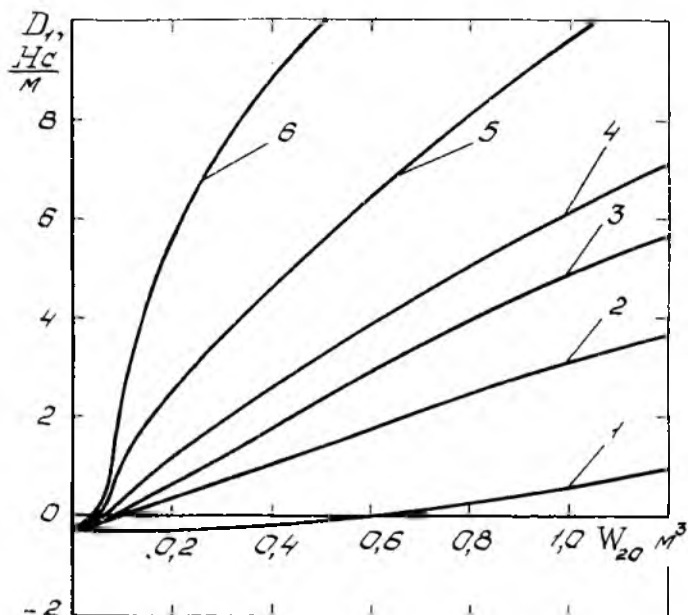
$$|B_1| > \frac{(F_{20} - F_{10}) P_{20}}{x_0} \cdot \frac{-C_{42} [A_1^* C_{10} C_{35} + A_2^* (C_{11} C_{35} - C_{13} C_{33})] \pm \sqrt{[A_1^* C_{10} \times \\ \times C_{35} C_{42} + A_2^* C_{42} (C_{11} C_{35} - C_{13} C_{33})]^2 - 4(A_1^* A_2^* - A_0 A_3) [C_{42}^2 C_{10} C_{35} (C_{11} C_{35} - C_{13} C_{33})]}}{2 C_{42}^2 C_{10} C_{35} (C_{11} C_{35} - C_{13} C_{33})}. \quad (4)$$

С использованием выражения (4) для границы устойчивости и значений параметров регулятора $F_{20} = 39,12 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$; $F_{10} = 4,78 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$; $F_{30} = 0,785 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$; $J_1 = 1,4 \cdot 10^3 \text{ н/м}$; $J_2 = 4,2 \cdot 10^3 \text{ н/м}$; $M_f = 1,5 \text{ кг}$; $d_1 = 0,1 \text{ м}$; $d_4 = 0,01 \text{ м}$; $S_{20} = 78,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$; $S_{20} = S_{50} = 0,314 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$; $S_{60} = 0,628 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$; $Z = 0,8 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{н}$; $\rho = 0,8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$; $\mu = 0,6$. На ЭВМ ЕС-1045 были определены характеристики требуемого демпфирования регулирующего органа регулятора в заданном диапазоне изменения его конструктивных и эксплуатационных параметров (рис. 1).

Анализ данных характеристик показал:

регулирующий орган регулятора можно не демпфировать при давлении рабочей среды на входе в регулятор в 1 МПа и объеме объекта регулирования, равном 0,6 м³;

увеличение давления рабочей среды на входе в регулятор от 1 до 2,8 МПа увеличивает эквивалентный коэффициент демпфирования регулирующего органа от 1,2 до 8,2 Нс/м;



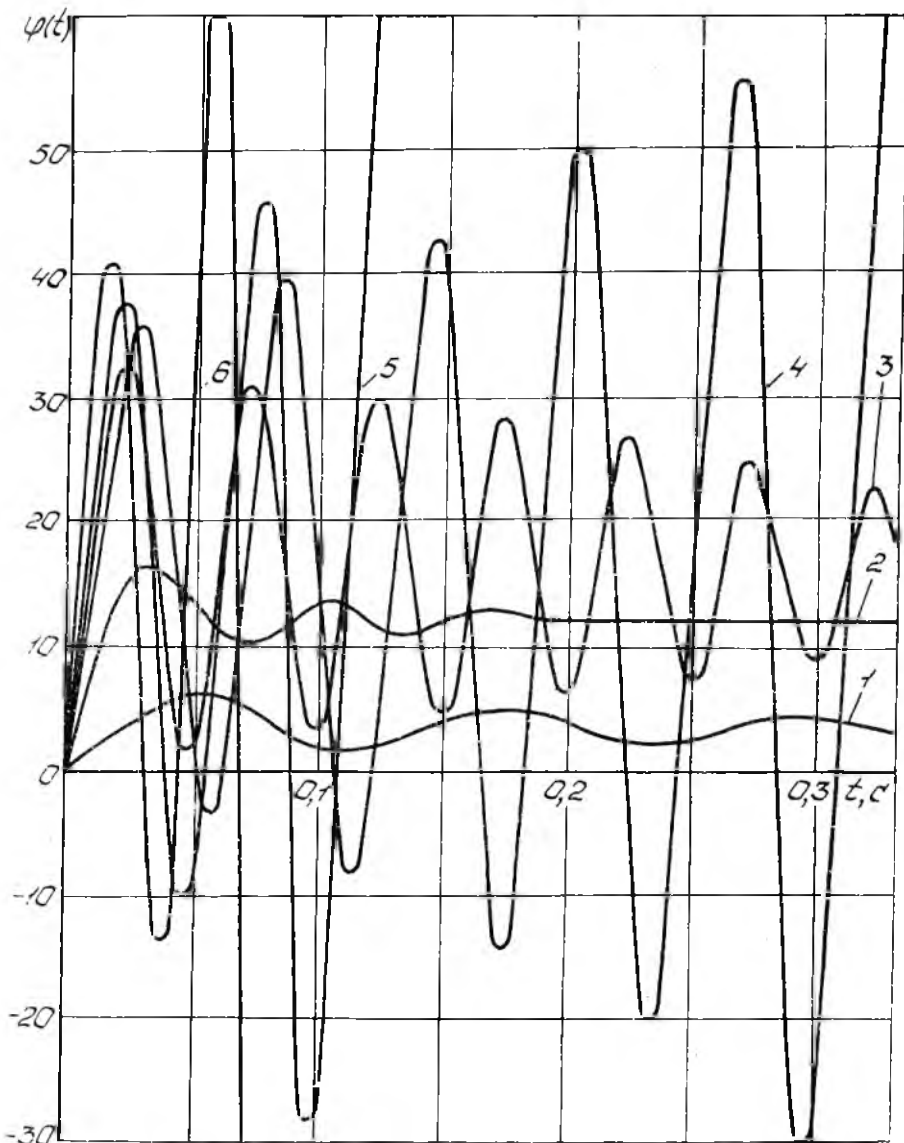
Р и с. 1. Влияние эксплуатационных параметров системы регулирования на требуемое демпфирование регулятора давления топлива:

- 1 - $P_{10} = 1,0$ МПа; $S_{30} = 78,5 \cdot 10^{-4}$ м²; $M_1 = 1,5$ кг;
- 2 - $P_{10} = 1,5$ МПа; $S_{30} = 78,5 \cdot 10^{-4}$ м²; $M_1 = 1,5$ кг;
- 3 - $P_{10} = 2,0$ МПа; $S_{30} = 78,5 \cdot 10^{-4}$ м²; $M_1 = 1,5$ кг;
- 4 - $P_{10} = 2,8$ МПа; $S_{30} = 78,5 \cdot 10^{-4}$ м²; $M_1 = 1,5$ кг;
- 5 - $P_{10} = 2,8$ МПа; $S_{30} = 78,5 \cdot 10^{-4}$ м²; $M_1 = 2,5$ кг;
- 6 - $P_{10} = 2,8$ МПа; $S_{30} = 40 \cdot 10^{-4}$ м²; $M_1 = 1,5$ кг

увеличение объема объекта регулирования от 0,1 до 1,4 м³ увеличивает требуемый эквивалентный коэффициент демпфирования от 0,3 до 8,2 Нс/м;

увеличение массы регулирующего органа регулятора от 1,5 до 2,5 кг приводит к увеличению требуемого эквивалентного коэффициента демпфирования от 8,2 до 12 Нс/м;

уменьшение площади проходного сечения на выходе регулятора и объекта регулирования от $78,5 \cdot 10^{-4}$ до $40 \cdot 10^{-4}$ м² приведет к увеличению требуемого эквивалентного коэффициента демпфирования от 8,2 до 16 Нс/м.



Р и с. 2. Влияние эксплуатационных параметров на переходные процессы в системе регулирования с регулятором давления топлива:

- 1- $P_{10}=0,8$ МПа; $S_{30}=78,5 \cdot 10^{-4}$ м²; $M_1=1,5$ кг; $W_{20}=150 \cdot 10^{-3}$ м³;
 2- $P_{10}=1,5$ МПа; $S_{30}=78,5 \cdot 10^{-4}$ м²; $M_1=1,5$ кг; $W_{20}=150 \cdot 10^{-3}$ м³;
 3- $P_{10}=2,8$ МПа; $S_{30}=78,5 \cdot 10^{-4}$ м²; $M_1=1,5$ кг; $W_{20}=150 \cdot 10^{-3}$ м³;
 4- $P_{10}=2,8$ МПа; $S_{30}=78,5 \cdot 10^{-4}$ м²; $M_1=2$ кг; $W_{20}=150 \cdot 10^{-3}$ м³;
 5- $P_{10}=2,8$ МПа; $S_{30}=78,5 \cdot 10^{-4}$ м²; $M_1=1,5$ кг; $W_{20}=300 \cdot 10^{-3}$ м³;
 6- $P_{10}=2,8$ МПа; $S_{30}=40,0 \cdot 10^{-4}$ м²; $M_1=1,5$ кг; $W_{20}=150 \cdot 10^{-3}$ м³

Из полученных результатов следует, что регулятор давления топлива будет устойчиво работать во всем диапазоне эксплуатационных параметров системы регулирования, если в его конструкции реализовано демпфирование регулирующего органа с эквивалентным коэффициентом $D_f > 16 \text{ Нс/м}$.

С учетом уравнения движения системы регулирования (I) на ЭВМ ВС-1045 получены переходные характеристики для конкретных значений ее конструктивных, настроечных, эксплуатационных параметров и эквивалентного коэффициента демпфирования $D_f = 1,3 \text{ Нс/м}$ (рис. 2).

Анализ данных переходных характеристик показал, что при заданном значении эквивалентного коэффициента демпфирования $D_f = 1,3 \text{ Нс/м}$:

уменьшение давления рабочей среды на входе в регулятор от 2,8 до 0,8 МПа способствует улучшению качества процесса регулирования — уменьшению колебательности, перерегулирования и времени переходного процесса за счет увеличения запаса по коэффициенту эквивалентного демпфирования;

увеличение массы регулирующего органа регулятора от 1,5 до 2 кг, объема объекта регулирования от 0,15 до 0,3 м³ и уменьшение площади проходного сечения на выходе регулятора и объекта регулирования от $78,5 \cdot 10^{-4}$ до $40 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ приводит к неустойчивым режимам работы регулятора давления топлива за счет потери запаса по коэффициенту эквивалентного демпфирования.

Следовательно, для обеспечения заданного качества процесса регулирования во всем диапазоне эксплуатационных параметров системы необходимо в конструкции регулятора давления топлива реализовать требуемый запас по эквивалентному коэффициенту демпфирования регулирующего органа.

Библиографический список

1. Анисимкин Ю.С., Чибизов В.В. Исследование влияния эксплуатационных параметров системы регулирования на требуемое демпфирование регулятора давления //Динамические процессы в силовых и энергетических установках летательных аппаратов: Сб. науч. тр. Куйбышев. авиац. ин-т. Куйбышев, 1985. С. 5–10.

2. Попов Д.Н. Динамика и регулирование гидро- и пневмосистем. М.: Машиностроение, 1977. 416 с.

3. Анисимкин Ю.С. Исследование влияния эксплуатационных параметров системы регулирования на требуемое демпфирование регулятора давления топлива //Динамические процессы в силовых и энергетических установках летательных аппаратов: Сб.науч. тр. /Куйбышев. авиац. ин-т. Куйбышев, 1988. С. 5-13.

4. Теория автоматического управления /Под ред. А.А.Воронова. Ч. I. М.: Высшая школа, 1977. 288 с.