

А.Н.Головин, Г.В.Шестаков

СТРУКТУРА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАСЧЕТА  
ГАСИТЕЛЕЙ КОЛЕБАНИЙ ДАВЛЕНИЯ

Эффективным средством для подавления вынужденных колебаний давления в гидравлических и топливных системах является применение специальных устройств – гасителей колебаний. В настоящее время разработано большое число схем гасителей и накоплен опыт по расчету и конструированию таких устройств. Однако нерешенной остается задача создания для конкретной системы гасителя, имеющего оптимальную структуру и оптимальные геометрические размеры элементов. Это обусловлено рядом причин, среди которых:

неупорядоченность методов расчета характеристик гасителей;  
отсутствие единого подхода к оценке эффективности действия устройств;

отсутствие методов проектирования гасителей, основанных на современных способах автоматизации и оптимизации расчетных работ и др.

Анализ различных подходов к проблеме показал, что создание оптимального гасителя предполагает последовательное решение ряда взаимосвязанных задач, среди которых узловыми являются:

выбор схемы устройства;  
установление оптимального соотношения между его характеристиками.

Рассмотрим поэтапно один из путей решения поставленных задач.

Выбор схемы гасителя. Исходными данными на этом этапе являются сведения о динамических характеристиках системы, в которую будет установлен гаситель, и соотношения, связывающие эффективность действия гасителя с его характеристиками и характеристиками системы. Динамические характеристики системы определяются предварительным расчетом или экспериментально. В качестве уравнений связи между характеристиками системы и гасителя примем зависимости для коэффициента бегущей волны  $K_B$ , и коэффициента вносимого затухания  $K_{ВН}$ , которые отражают эффективность действия устройства соответственно на входном и выходном участках /1/. Эти выражения имеют следующий вид:

$$K_{\delta H} = \frac{K_c}{K_{\text{стр}}} \sqrt{\frac{Z_B}{Z_{c1}}} \left| \frac{Z_1 + Z_{c1}}{Z_1 + Z_B} \right| \sqrt{\frac{Z_B}{Z_{c2}}} \left| \frac{Z_2 + Z_{c2}}{Z_2 + Z_B} \right| \times$$

$$\times \frac{\left| 1 - \frac{e^{-j2\varphi_1}}{K_c^2} \left( \frac{Z_1 - Z_{c1}}{Z_1 + Z_{c1}} \right) \left( \frac{Z_2 - Z_{c2}}{Z_2 + Z_{c2}} \right) \right|}{\left| 1 - \frac{e^{-j2\varphi_{\text{тр}}}}{K_{\text{стр}}^2} \left( \frac{Z_1 - Z_B}{Z_1 + Z_B} \right) \left( \frac{Z_2 - Z_B}{Z_2 + Z_B} \right) \right|}; \quad (1)$$

$$K_B = \left| \frac{1 + \left( \frac{1 - Z_1}{1 + Z_1} \right) \left( \frac{Z_B \alpha - 1}{Z_B \alpha + 1} \right)}{1 + \left( \frac{Z_B \alpha - 1}{Z_B \alpha + 1} \right) e^{-j \frac{2\omega x}{a}}} \right|, \quad (2)$$

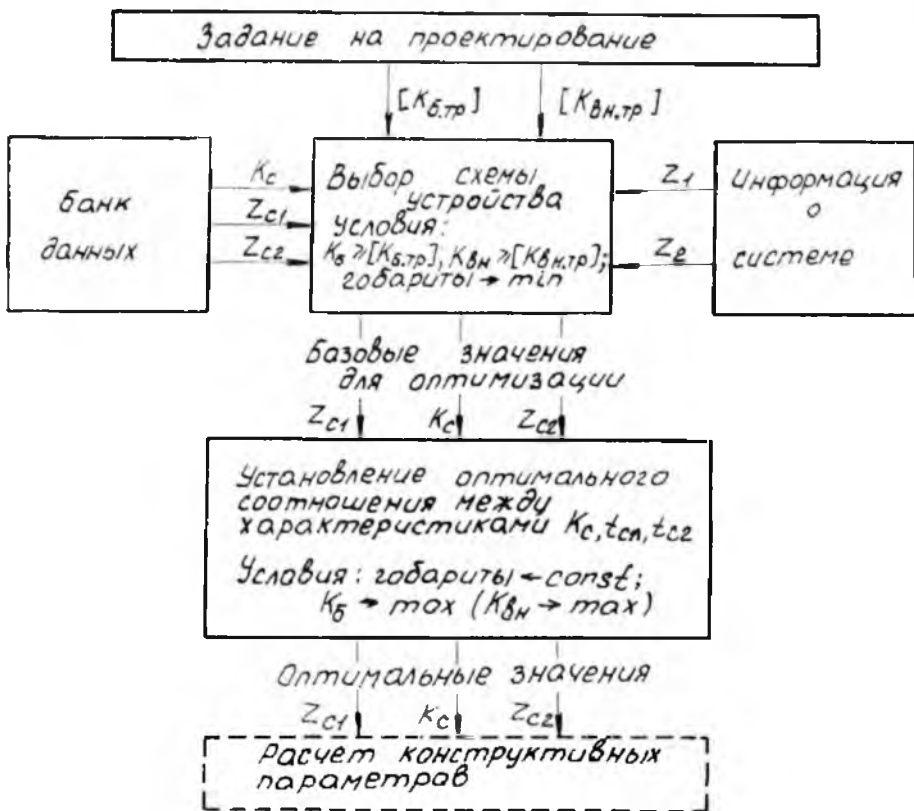
где  $Z_1, Z_2$  - входные импедансы частей системы, расположенных до и после гасителя;  $K_c$  - коэффициент собственного затухания гасителя;  $Z_{c1}, Z_{c2}$  - волновые сопротивления гасителя со стороны входа и выхода;  $Z_B, K_{\text{стр}}$  - волновое сопротивление и коэффициент затухания удаляемого отрезка трубопровода;  $\varphi_1, \varphi_{\text{тр}}$  - характеристические фазовые сдвиги гасителя и удаляемого отрезка трубопровода;  $j = \sqrt{-1}$ ;  $Z_\alpha$  - входной импеданс гасителя;  $\omega$  - круговая частота колебаний;  $a$  - скорость звука в рабочей жидкости;  $x$  - координата сечения трубопровода, в котором устанавливается гаситель,

Из анализа зависимостей (1), (2) следует, что искомой схемой устройства будет такая, которая при прочих равных условиях позволяет обеспечить выполнение соотношений

$$K_B \geq [K_{\text{Б.тр}}]; \quad K_{\delta H} \geq [K_{\delta H.тр}], \quad (3)$$

где  $[K_{\text{Б.тр}}], [K_{\delta H.тр}]$  - требуемые значения коэффициентов  $K_B$  и  $K_{\delta H}$ . При этом любая схема устройства будет однозначно определена, если известен комплекс собственных характеристик гасителя  $K_c, Z_{c1}, Z_{c2}$ . Поэтому решение сводится к определению значений  $K_c, Z_{c1}, Z_{c2}$  при которых выполняются требования по  $K_B$  и  $K_{\delta H}$ . Однако задача нахождения характеристик гасителя по значениям  $[K_{\text{Б.тр}}]$  и  $[K_{\delta H.тр}]$  аналитического решения не имеет. Для ее решения авторами разработан метод, базирующийся на использовании банка данных. Суть его в следующем. В банке данных формируется информация о характеристиках  $K_c, Z_{c1}, Z_{c2}$ , предварительно

расчетных для различных схем гасителей. На основании этих данных сведений о характеристиках системы определяется устройство, которое удовлетворяет требованиям (3) при минимальных габаритах (рис.1).



Р и с. 1. Алгоритм выбора схемы устройства и установления оптимального соотношения между характеристиками гасителя

Принцип выбора схемы устройства с минимальными габаритами в процедуре сравнения осуществляется исходя из следующей концепции. Волновые сопротивления  $Z_{с1}$ ,  $Z_{с2}$  и коэффициент затухания  $K_c$  при фиксированных габаритах гасителя определены для каждой схемы однознач-

но. Причем коэффициент  $K_c$ , характеризующий затухание комбинаторной энергии, зависит в большей степени от габаритов устройства, а волновые сопротивления  $Z_{c1}$  и  $Z_{c2}$  более чувствительны к изменению соотношения параметров элементов гасителя. Поэтому сравнение различных схем производится при одних и тех же значениях  $K_c$ , что позволяет контролировать и сравнивать габариты гасителей.

Изложенный принцип реализован при формировании банка данных (рис. 2). Информация банка упорядочена в виде последовательности нескольких массивов. Элементами массива являются значения волновых сопротивлений  $N$  схем гасителей, рассчитанные при одинаковой величине  $K_c$ , причем каждый массив организован при новой величине коэффициента затухания. Количество массивов определяется диапазоном и шагом изменения  $K_c$ , выбранных из условия реализации возможных значений  $[K_{в.тр}]$ ,  $[K_{вн.тр}]$ .

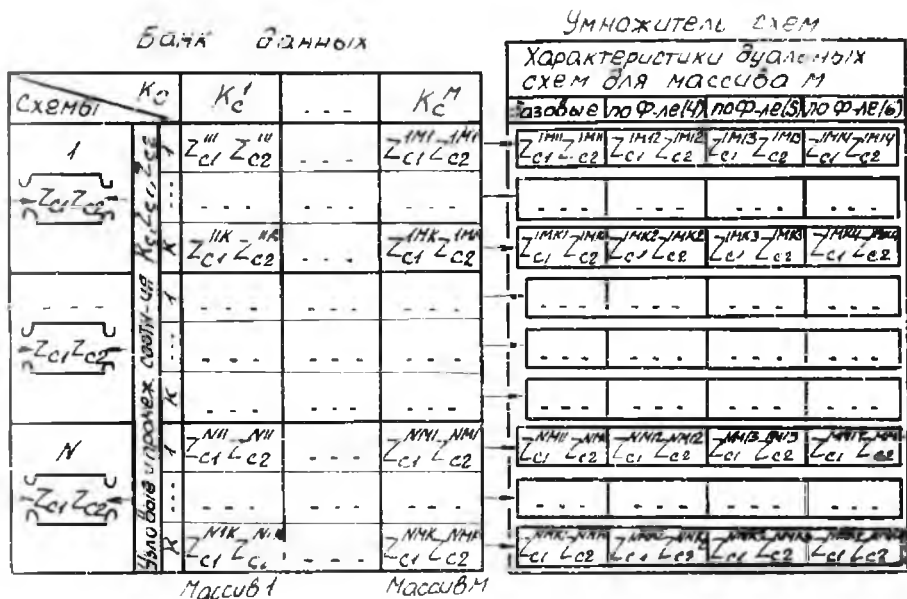
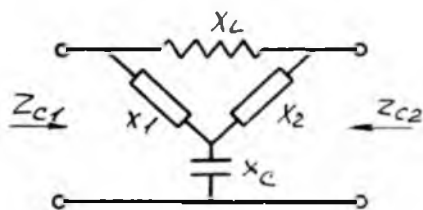


Рис. 2. Структура банка данных с умножителем схем:  $N$  - число схем;  $M$  - число массивов по  $K_c$ ;  $K$  - число сочетаний;  $Z_{c1}, Z_{c2}$  для каждой схемы;  $Z_{c1}^{NIX}, Z_{c2}^{NIX}$  - волновые сопротивления гасителя схемы  $N$ , массива  $M$  сочетания  $K$

Расчет элементов массивов осуществляется на основании обобщенной структуры /2/ (рис. 3), позволяющей получать характеристики различных гасителей как ее частные варианты. Применение обобщенной структуры позволяет:

обеспечить единство подходов при формировании моделей гасителей различных схем;

существенно упростить расчеты ввиду унификации отдельных блоков программы.



Р и с. 3. Электрический аналог гасителя обобщенной структуры

но из сопротивлений ( $X_1$  или  $X_2$ ) принимает предельное значение равно 0 или  $\infty$  либо у одного из них изменяется характер (упругий на инерционный или активный и т.д.). Поэтому характеристики гасителя ( $K_c, Z_{c1}, Z_{c2}$ ) конкретной схемы рассчитываются в узловых точках и нескольких промежуточных. Количество промежуточных значений сопротивлений  $X_1$  и  $X_2$  определяется (также как и для  $K_c$ ) возможным диапазоном изменения этих сопротивлений для данной схемы и выбранным шагом.

Для уменьшения количества информации, записанной в банк данных, был разработан множитель схем, использующий соотношения для дуальных гасителей:

$$Z_{c1}(1/\kappa, m) = 1/Z_{c2}(\kappa, m); \quad Z_{c2}(1/\kappa, m) = 1/Z_{c1}(\kappa, m); \quad (4)$$

$$Z_{c1}(\kappa, 1/m) = Z_{c2}(\kappa, m); \quad Z_{c2}(\kappa, 1/m) = Z_{c1}(\kappa, m); \quad (5)$$

$$Z_{c1}(1/\kappa, 1/m) = 1/Z_{c1}(\kappa, m); \quad Z_{c2}(1/\kappa, 1/m) = 1/Z_{c2}(\kappa, m), \quad (6)$$

где  $\kappa = X_1 X_2$ ;  $m = X_1 / X_2$ .

В результате расчетов на этом этапе выявляется схема гасителя, удовлетворяющая требованиям (3) и обладающая минимальными (по сравнению с другими схемами) габаритами.

Установление оптимального соотношения между характеристиками гасителя. Соотношение характеристик схемы гасителя, выбранной на предыдущем этапе, не является безусловно оптимальным ввиду ступенчатости формирования банка данных. Установление оптимального соотношения  $K_c, Z_{c1}, Z_{c2}$  осуществляется следующим образом. Значения  $X_1$  и  $X_2$ , определяющие комплекс характеристик  $K_c, Z_{c1}, Z_{c2}$ , принимаются в качестве базовых. Затем, изменяя  $X_1$  и  $X_2$  в пределах интервала их шага, исследуются на максимум целевые функции  $K_B$  и  $K_{BH}$ . Поиск максимумов производится при помощи одного из методов многомерной оптимизации – метода покоординатного спуска. Полученное соотношение параметров  $X_1$  и  $X_2$  и соответствующее ему соотношение характеристик  $K_c, Z_{c1}, Z_{c2}$ , обеспечивающее максимум  $K_B$  или  $K_{BH}$ , будет оптимальным.

#### Библиографический список

1. Шорин В.П. Устранение колебаний в авиационных трубопроводах. – М.: Машиностроение, 1980. – 156 с.
2. Головин А.Н. Разработка гасителей колебаний жидкости для трубопроводных цепей двигателей и систем летательных аппаратов /Дис., канд. техн. наук. – Куйбышев, 1983. – 200 с.

УДК 629.7.036:621.454.001.1(075).8

Н.П.Шумский, В.И.Зазулов

#### ИНЖЕНЕРНЫЕ МЕТОДЫ СИНТЕЗА ОПТИМАЛЬНЫХ МНОГОМЕРНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ГТД

Современные системы регулирования ГТД летательных аппаратов представляют сложные динамические многомерные системы автоматического управления (МСАУ). Непрерывное повышение требований к летательному аппарату вызывает необходимость улучшения характеристик силовых установок, что неизбежно приводит к существенному усложне-