Ф. И. ЕЛАНЧИК

ОБ ОДНОМ ПОЛУЭМПИРИЧЕСКОМ МЕТОДЕ ВЫБОРА СРЕДСТВ ГАШЕНИЯ ПУЛЬСАЦИЙ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

В данной статье рассматривается метод повышения запаса динамической устойчивости энергетической системы, содержащей трубопроводы. Предполагается, что колебания столбов жидкости и газа в трубопроводах являются осевыми, т. е. процессы сводятся к распространению плоских волн вдоль трубопроводов. Способы гашения таких колебаний рассматривались, например, в работах [1], [2].

Мы рассмотрим случай, когда пневмогидравлическая система содержит звенья как с известными, так и с неизвестными динамическими характеристиками. Увеличение запасов устойчивости системы достигается путем изменения параметров звеньев, динамические характеристики которых могут быть сосчитаны по данным об их конструкции и режиме работы.

Известны случаи, когда гашение колебаний достигается путем постановки в систему демпфирующих устройств. Эти случаи, однако, не исчерпывают всего класса систем, в которых возможна неустойчивость стационарных процессов.

Предлагаемый ниже метод позволяет подбирать устройства для гашения колебаний в системе по данным ограниченного числа испытаний. Такие устройства по своим характеристикам могут и не принадлежать к демпферам.

Пусть на устойчивость системы влияет лишь одна из передаточных функций некоторого трубопровода, представляющего собой линейный многополюсник, инвариантный во времени.

Тогда, если $W(s)$ — передаточная функция системы,

$$P(s) = \frac{1}{W(s)}, \text{ то } P(s) = P[s, W_м(s)],$$

где $W_м(s)$ — упомянутая передаточная функция трубопровода

Пусть при испытаниях выявлена собственная круговая частота системы ω_0, которой соответствует нулевой либо малый логарифмический декремент затухания σ_0. Пусть далее в этих испытаниях $W_м = \overline{W}_м(s)$. Тогда $P[s_{по}, \overline{W}_м(s_{по})]$, если $s_{по} = -\sigma + i\omega_0$.
Введем изменение в конструкцию магистрали, вследствие чего эта передаточная функция становится равной

$$W_{м_1} = \overline{W}_м + \Delta W_м.$$

Докажем, что при малых по модулю значениях $\Delta W_м(s)$ и всех производных этой функции в окрестности точки $s = s_{по}$ полюс передаточной функции $W(s)$ с точностью до малых более высокого порядка, нежели $|s_п - s_{по}|$, является однозначной аналитической функцией $\Delta W_м(s_{по})$.
Очевидно

$$P[s_п, W_{м_1}(s_п)] = 0; \tag{1}$$

$$\Delta W_м(s) = \Delta W_м(s_{по}) + \int\limits_{s_{по}}^{s} \Delta\left(\frac{dW_м}{ds}\right) ds = \Delta W_м(s_{по}) + \xi\left[(s - s_{по}), \Delta\frac{dW_м}{ds}\right], \tag{2}$$

где $\xi[a, b, c, \ldots]$ — малая более высокого порядка, нежели каждая из величин $a, b, c, \ldots$ в случае, когда все эти последние величины являются малыми одного порядка.

Из (1), (2) путем разложения аналитических функций в ряды Тейлора получаем

$$\frac{\partial P}{\partial s}[s_{по}, \overline{W}_м(s_{по})]\cdot(s_п - s_{по}) + \frac{\partial P}{\partial W_м}[s_{по}, \overline{W}_м(s_{по})]\cdot\Delta W_м(s_{по}) +$$
$$+ \xi\left[(s_п - s_{по}),\ \Delta\frac{dW_м}{ds},\ \Delta W_м(s_{по})\right] = 0.$$

Отсюда

$$s_п - s_{по} = -\Delta W_м(s_{по})\cdot\frac{\dfrac{\partial P}{\partial W_м}[s_{по}, \overline{W}_м(s_{по})]}{\dfrac{\partial P}{\partial s}[s_{по}, \overline{W}_м(s_{по})]} +$$
$$+ \xi\left[(s_п - s_{по}),\ \Delta\frac{dW_м}{ds},\ \Delta W_м(s_{по})\right]. \tag{3}$$

Пренебрегая величинами ξ, получаем:

$$\arg(s_п - s_{по}) - \arg\Delta W_м(s_{по}) = \pi + \arg\frac{\partial P}{\partial W_м}[s_{по}, \overline{W}_м(s_{по})] -$$
$$-\arg\frac{\partial P}{\partial s}[s_{по}, \overline{W}_м(s_{по})] = \mathrm{const}. \tag{4}$$

$$\frac{|s_п - s_{по}|}{|\Delta W_м(s_{по})|} = \frac{\left|\dfrac{\partial P}{\partial W_м}[s_{по}, \overline{W}_м(s_{по})]\right|}{\left|\dfrac{\partial P}{\partial s}[s_{по}, \overline{W}_м(s_{по})]\right|} = \mathrm{const} > 0. \tag{5}$$

Утверждение доказано.

Рассмотрим отклонения конструктивных параметров, при которых: а) $\arg(s_п - s_{по}) - \arg \Delta W_м(s_{по}) = \text{const} + \varepsilon$, где $|\varepsilon| \ll \frac{\pi}{2}$.

б) $\frac{d|s_п - s_{по}|}{d|\Delta W_м(s_{по})|} > 0$.

I. Пусть при заданной функции $\Delta W_м(s) = \Delta W_{м_1}(s)$ $s_п = s_{п_1}$, причем

$$\operatorname{Re} s_{п_1} - \operatorname{Re} s_{по} < 0.$$

Тогда $\operatorname{Re} s_п - \operatorname{Re} s_{по} < 0$ для любой функции $\Delta W_м(s)$, такой, что

$$\arg \Delta W_м(s) = \arg \Delta W_{м_1}(s).$$

При этом $\operatorname{Re} s_п - \operatorname{Re} s_{п_1} < 0$, если $|\Delta W_м(s)| > |\Delta W_{м1}(s)|$.

II. Пусть $\operatorname{Re} s_{п_1} - \operatorname{Re} s_{п0} > 0$. Тогда в тех же предположениях

$$\operatorname{Re} s_п - \operatorname{Re} s_{по} < 0,$$

если $$\arg \Delta W_м(s_{по}) - \arg \Delta W_{м1}(s_{по}) = \pi.$$

III. Пусть $\operatorname{Re} s_{п1} - \operatorname{Re} s_{по} = 0$, $Im\, s_{п1} - Im\, s_{по} \neq 0$.
Для определенности положим

$$\omega_1 - \omega_0 = Im\, s_{п1} - Im\, s_{по} > 0.$$

Случай $Im\, s_{п1} - Im\, s_{по} < 0$ рассматривается аналогично. В высказанных предположениях

$$\operatorname{Re} s_п - \operatorname{Re} s_{по} < 0,$$

если $$\arg \Delta W_м(s_{по}) - \arg \Delta W_{м1}(s_{по}) = \frac{\pi}{2}.$$

Сформулированные утверждения можно использовать для подбора функции $\Delta W_м(s)$, позволяющей увеличить запас устойчивости, т. е. уменьшить величину $\operatorname{Re} s_п$ по сравнению с исходным вариантом. По условиям, накладываемым на функцию $\Delta W_м(s)$, можно определить требуемые конструктивные изменения соответствующего трубопровода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Луиджи Крокко и Чжен Синь-и. Теория неустойчивости горения в жидкостных ракетных двигателях. НИЛ, 1958.
2. П. А. Гладких, С. А. Хачатурян. Вибрации в трубопроводах и методы их устранения. Машгиз, 1959.