

ВЫБОР ХАРАКТЕРИСТИК ГАСИТЕЛЕЙ КОЛЕБАНИЙ

© 2020 А.Н. Головин

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

Статья поступила в редакцию 10.02.2020

В работе анализируются показатели эффективности подавления колебаний рабочей среды в трубопроводных системах гасителями типа акустических фильтров. На основе анализа этих показателей получены аналитические зависимости, позволяющие оценивать изменение волнового процесса в трубопроводной системе до и после гасителя. Разработаны рекомендации по выбору обобщенных параметров гасителей, обеспечивающих необходимую степень ослабления колебаний давления.

Ключевые слова: гаситель колебаний, характеристики, эффективность, подавление колебаний, волновой процесс, трубопроводная система, ослабление колебаний.

При проектировании гасителей колебаний, построенных по типу акустических фильтров низких частот, одной из основных задач является оценка эффективности действия устройств, которая осуществляется сравнением параметров волнового процесса в трубопроводной системе без гасителя и с гасителем. По отношению к гасителю изменения волнового процесса происходят на участке системы до устройства (входной участок) и на участке системы после устройства (выходной участок). Оценка этого изменения осуществляют показателями эффективности действия гасителей на входном и выходном участках системы. В качестве таких показателей применяют соответственно коэффициент бегущей волны, K_6 , и коэффициент вносимого затухания, $K_{вн}$ [1, 2]. Однако часто эти показатели эффективности рассматриваются независимо друг от друга. И это является основным препятствием формированию методов расчёта устройств адекватных изменениям динамических процессов, происходящих в трубопроводных системах при размещении в них гасителей колебаний. Поэтому установление аналитических зависимостей между показателями эффективности K_6 и $K_{вн}$ является необходимым условием для определения стратегии расчётов и создания оптимальных гасителей колебаний для каждого варианта их применения. Следует отметить, что все рассматриваемые в статье параметры являются частотно-зависимыми.

Рассмотрим варианты размещения гасителя в трубопроводной системе на примере схемы, приведённой на рис. 1.

Гаситель размещается:

- на удалении от источника колебаний между сечениями 1 и 2;
- непосредственно у источника колебаний между сечениями 1¹(И) и 2¹.

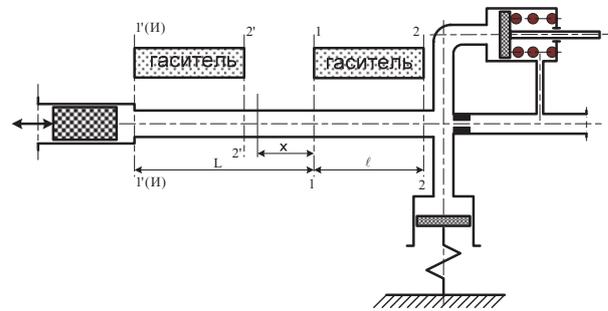


Рис. 1. Схема трубопроводной системы и варианты размещения гасителя

На схеме системы, рис. 1, показано два положения гасителя. В одном случае устройство размещено между сечениями 1¹(И)-2¹ – у источника колебаний, в другом – между сечениями 1-2 – на удалении «L» от источника колебаний. Протяжённость гасителя обозначена индексом «l», а расстояние от гасителя до произвольного сечения входного трубопровода – индексом «x».

Приведём методом эквивалентных преобразований характеристики источника колебаний и потребителей (нагрузки) к сечениям входа и выхода гасителя [3]. В результате расчётная схема трубопроводной системы примет вид, изображённый на рис. 2.

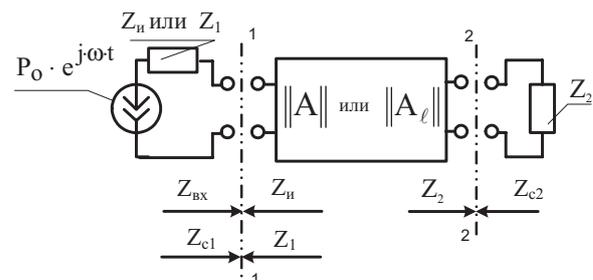


Рис. 2. Расчётная схема трубопроводной системы. Импедансы источника колебаний и нагрузки «приведены» к сечениям «1-1» и «2-2»

На расчётной схеме обозначения следующие: $Z_{и(1)}$, Z_2 , $Z_{вх}$ – соответственно, входные импедансы источника колебаний, нагрузки и гасителя с присоединённой нагрузкой; $\|A\|$ или $\|A_t\|$ матрица передачи гасителя как четырёхполюсника; $Z_{с1}$, $Z_{с2}$ – волновые сопротивления гасителя как четырёхполюсника со стороны входа и выхода; P_0 – амплитуда колебаний давления, генерируемая источником; ω – круговая частота колебаний; $j = \sqrt{-1}$. При приведении параметров источника колебаний к сечению входа в гаситель 1-1 принято $Z_{и(1)} = Z_1$.

Рассмотрим зависимости для показателей эффективности действия гасителей на выходном, $K_{вн}$, и входном, $K_в$, участках системы.

Введём дополнительные обозначения и, учитывая, что коэффициент собственного затухания отрезка трубопровода как четырёхполюсника вместо которого устанавливается гаситель $K_{стр} \approx 1$, формулу для $K_{вн}$ запишем в виде [2]

$$K_{вн} \approx K_c \cdot \Theta_1 \cdot \Theta_2 \cdot \left(\frac{M}{N} \right). \quad (1)$$

В формулу (1) входят параметры, которые имеют следующие зависимости:

$$\Theta_i = \sqrt{\frac{Z_B}{Z_{ci}}} \cdot \left| \frac{Z_i + Z_{ci}}{Z_i + Z_B} \right| \quad (2)$$

функции взаимодействия гасителя и системы в сечении входа $i = 1$ и в сечении выхода $i = 2$;

$$M = \left| 1 - \frac{e^{-j2\varphi_r}}{K_c^2} \cdot \left(\frac{Z_1 - Z_{c1}}{Z_1 + Z_{c1}} \right) \cdot \left(\frac{Z_2 - Z_{c2}}{Z_2 + Z_{c2}} \right) \right| \quad (3)$$

функция, характеризующая затухание, обусловленное несовпадением входных импедансов участков системы и соответствующих волновых сопротивлений гасителя;

$$N \approx \left| 1 - e^{-j2\varphi_p} \cdot \left(\frac{Z_1 - Z_B}{Z_1 + Z_B} \right) \cdot \left(\frac{Z_2 - Z_B}{Z_2 + Z_B} \right) \right| \quad (4)$$

функция, характеризующая затухание, обусловленное несовпадением входных сопротивлений участков системы и волнового сопротивления удаляемого отрезка трубопровода или трубопровода, в который устанавливается гаситель. В формулах (1), (4) знак приближенного равенства стоит из-за пренебрежения активными потерями по длине удаляемого отрезка трубопровода, т.е. принято, что $K_{стр} \approx 1$. K_c – коэффициент собственного затухания гасителя как четырёхполюсника; Z_B – волновое сопротивление трубопровода, в который устанавливается гаситель.

Значения функций M и N зависят:

- M – от характеристик гасителя и его места установки в системе;
- N – от предполагаемого места размещения гасителя в системе и относительной длины

$\bar{\ell} = \ell/\lambda$ удаляемого отрезка трубопровода. Параметр λ – длина волны подавляемых колебаний.

Формула (1) для коэффициента вносимого затухания при условии, что значения коэффициента собственного затухания гасителя как акустического четырёхполюсника $K_c > 2,5 \dots 3$ упростится и примет вид [2]

$$K_{вн} \geq \frac{K_c}{2} \cdot \Theta_1 \cdot \Theta_2. \quad (5)$$

Формулу (2) можно переписать в виде

$$\Theta_i = \sqrt{\frac{1}{|Z_{ci}|} \frac{|Z_{ci}|^2 + |Z_i|^2 + 2 \cdot |Z_{ci}| \cdot |Z_i| \cdot \cos(\varphi_{ci} - \varphi_{zi})}{1 + 2 \cdot |Z_i| \cdot \cos \varphi_{zi} + |Z_i|^2}}, \quad (6)$$

где $|Z_{ci}| = \left| \frac{Z_{ci}}{Z_B} \right|$, $|Z_i| = \left| \frac{Z_i}{Z_B} \right|$,

$$\varphi_{ci} = \arg(Z_{ci}), \quad \varphi_{zi} = \arg(Z_i).$$

Предельные значения функции взаимодействия вычисляются по формулам

$$\inf \Theta_i = \sqrt{\frac{1}{|Z_{ci}|} \frac{|Z_i|^2 + |Z_{ci}|^2}{1 + 2 \cdot |Z_i| + |Z_i|^2}}; \quad (7)$$

$$\sup \Theta_i = \sqrt{\frac{1}{|Z_{ci}|} \frac{|Z_i|^2 + 2 \cdot |Z_{ci}| \cdot |Z_i| + |Z_{ci}|^2}{1 + |Z_i|^2}}. \quad (8)$$

Графики функций $\inf \Theta_i$ и $\sup \Theta_i$ приведены на Рис. 3.

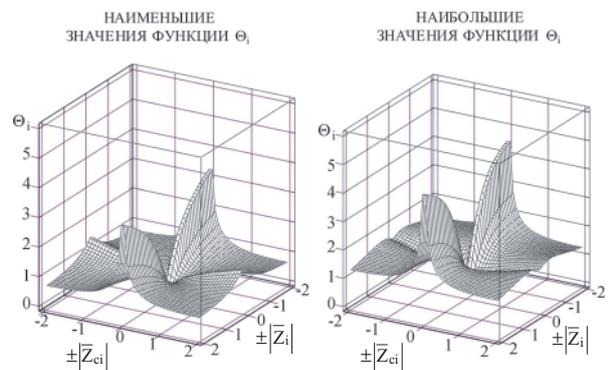


Рис. 3. Зависимости наибольших и наименьших значений функций взаимодействия от изменения волновых сопротивлений гасителя и входных импедансов присоединенных к гасителю частей трубопроводной системы

Из анализа графиков следует, что зависимости имеют сложную пространственную конфигурацию с экстремумами и симметричны относительно значений $|Z_i| = 0$ и $|Z_{ci}| = 0$. Для расчётов и исследований функций $\inf \Theta_i$ и $\sup \Theta_i$ следует принимать значения $|Z_i| \geq 0$ и $|Z_{ci}| \geq 0$.

Рассмотрим три важнейших случая, которые вытекают из анализа соотношений (2), (5).

1. Если в выражении (2) принять $Z_{c1} = Z_B$ ($\bar{Z}_{c1} = 1$), то значение функции $\Theta_1 = 1$, и соотношение (5) примет вид

$$K_{\text{вн}} \geq \frac{K_c}{2} \Theta_2. \quad (9)$$

Из формулы (9) следует, что минимальная величина вносимого затухания не зависит от импеданса источника колебаний. Гаситель можно проектировать без учета характеристик источника колебаний. Устройство, спроектированное для конкретной гидравлической системы, будет эффективно работать при любых источниках колебаний.

2. Полагаем в выражении (2) $Z_{c2} = Z_B$ ($\bar{Z}_{c2} = 1$). Тогда $\Theta_2 = 1$ и из (5) получим

$$K_{\text{вн}} \geq \frac{K_c}{2} \Theta_1. \quad (10)$$

Теперь минимальная величина вносимого затухания не зависит от импедансных характеристик нагрузки или присоединенной цепи. Гаситель, спроектированный для конкретного источника колебаний, будет эффективно работать в любой системе.

3. При значениях волновых сопротивлений $Z_{c1} = Z_{c2} = Z_B$ функции $\Theta_1 = \Theta_2 = 1$ и условие эффективности гасителя на выходном участке системы запишется следующим образом

$$K_{\text{вн}} \geq \frac{K_c}{2}. \quad (11)$$

В этом случае минимальная величина вносимого затухания определяется только коэффициентом собственного затухания, т.е. схемой и конструкцией самого гасителя. Такой гаситель будет эффективен в любой системе с любым источником колебаний.

При анализе зависимостей для коэффициента бегущей волны K_6 рассмотрим два варианта установки гасителя в системе (рис. 1):

- гаситель размещен на удалении от источника колебаний и соединен с ним трубопроводом, длина которого соизмерима с длиной волны подавляемых колебаний;
- гаситель размещен в непосредственной близости от источника колебаний.

При расположении гасителя на удалении от источника колебаний, соизмеримым с длиной волны подавляемых колебаний, минимально возможным уровнем пульсаций давления на входном участке является амплитуда колебаний, реализующаяся в бегущей волне, P_6 (при оценке амплитуд колебаний по максимальным значениям) [1]. Возьмем данный уровень амплитуд за базовый уровень. Тогда отношение

амплитуд колебаний давления в бегущей волне P_6 к амплитуде колебаний давления в любом сечении входного трубопровода P_x , пренебрегая потерями по длине входного трубопровода, можно записать в виде [2]

$$\left| \frac{P_6}{P_x} \right| = K_6 = \left| \frac{1 + \Gamma_{\text{и}} \cdot \Gamma_{c1} \cdot e^{-j\frac{2\omega L}{\alpha}}}{1 + \Gamma_{c1} \cdot e^{-j\frac{2\omega x}{\alpha}}} \right|, \quad (12)$$

где $\Gamma_{c1}, \Gamma_{\text{и}}$ – коэффициенты отражения в сечениях соединения подводящего трубопровода с гасителем и источником колебаний; x – координата сечения трубопровода (координата направлена по оси трубопровода от гасителя к источнику колебаний); L – длина трубопровода, соединяющего источник колебаний с гасителем; α – скорость звука. Коэффициенты отражения вычисляются по формулам:

$$\Gamma_{c1} = \frac{Z_{c1} - 1}{Z_{c1} + 1}; \quad \Gamma_{\text{и}} = \frac{1 - \bar{Z}_{\text{и}}}{1 + \bar{Z}_{\text{и}}};$$

$$|\Gamma_{c1}| \leq 1; \quad |\Gamma_{\text{и}}| \leq 1.$$

Коэффициент отражения $\Gamma_{\text{и}}$ в сечении соединения источника колебаний с подводящим трубопроводом связан с коэффициентом отражения Γ_1 источника колебаний, приведенного к сечению входа в гаситель, следующим соотношением

$$\Gamma_{\text{и}} = \Gamma_1 e^{j\frac{2\omega L}{\alpha}}, \quad (13)$$

где $\Gamma_1 = \frac{1 - \bar{Z}_1}{1 + \bar{Z}_1}$.

Подставив выражение (13) в формулу (12) получим

$$K_6 = \left| \frac{1 + \Gamma_1 \cdot \Gamma_{c1}}{1 + \Gamma_{c1} \cdot e^{-j\frac{2\omega x}{\alpha}}} \right|. \quad (14)$$

Выражение (14) при установленных параметрах Γ_1 и Γ_{c1} позволяет определить распределение амплитуд давления по длине входного трубопровода. Однако на практике часто вызывает интерес не распределение амплитуд, а максимально возможная амплитуда давления на входном участке без привязки к какому-либо сечению трубопроводной цепи.

Для этого варианта решения задачи из выражения (14) получим

$$\text{Inf}(K_6) = \frac{|1 + \Gamma_1 \cdot \Gamma_{c1}|}{1 + |\Gamma_{c1}|} \leq \frac{1 - |\Gamma_1| \cdot |\Gamma_{c1}|}{1 + |\Gamma_{c1}|}. \quad (15)$$

Учитывая диапазон изменения модулей коэффициентов отражения, нетрудно опреде-

литель, что максимальная величина выражения (15) равна единице. Причем указанное равенство будет всегда выполняться при условии $|\Gamma_{c1}|=0$, когда волновое (входное) сопротивление гасителя равно волновому сопротивлению соединительного трубопровода. Выражение (15) позволяет решить и обратную задачу. Определить величину волнового (входного) сопротивления гасителя при заданной максимальной величине $|P_x| \geq |P_6|$. Расчёты существенно упростятся, если “исключить влияние” источника колебаний, приняв $|\Gamma_1|=1$ и считать, что в действительности максимальная величина $|P_x|$ будет всегда меньше полученной при расчёте.

После соответствующих преобразований получим выражение для расчёта волнового (входного) сопротивления гасителя, обеспечивающего условия $|P_x| \leq |P_6|$, в виде

$$|\Gamma_{c1}| \leq \frac{1 - \inf K_6}{1 + \inf K_6}, \quad (16)$$

где $|P_x|$ – допустимая амплитуда колебаний давления во входном трубопроводе.

Рассмотрим вариант размещения гасителя у источника колебаний. Приняв в формуле (14) $L \approx x \approx 0$ и $P_x = P_1$, будем иметь

$$\left| \frac{P_6}{P_1} \right| = K_6 = \left| \frac{1 + \Gamma_1 \cdot \Gamma_{c1}}{1 + \Gamma_{c1}} \right|. \quad (17)$$

Заметим, что формула (17) и полученные на ее основе соотношения будут справедливы и при некотором удалении гасителя от источника колебаний, когда допустимы приближения вида

$$\cos \frac{2\omega L}{\alpha} \approx 1, \quad \sin \frac{2\omega L}{\alpha} \approx 0.$$

Раскрыв выражения для коэффициентов отражения, соотношение (17) приведем к виду

$$K_6 = \frac{1}{|\bar{Z}_{c1}|} \cdot \sqrt{\frac{|\bar{Z}_{c1}|^2 + |\bar{Z}_i|^2 + 2 \cdot |\bar{Z}_{c1}| \cdot |\bar{Z}_i| \cdot \cos(\varphi_{c1} - \varphi_1)}{1 + 2 \cdot |\bar{Z}_i| \cdot \cos \varphi_1 + |\bar{Z}_i|^2}}, \quad (18)$$

где $|\bar{Z}_{c1}| = \left| \frac{Z_{c1}}{Z_B} \right|$, $|\bar{Z}_i| = \left| \frac{Z_i}{Z_B} \right|$,

$\varphi_{c1} = \arg(\bar{Z}_{c1})$, $\varphi_{zi} = \arg(\bar{Z}_i)$ – соответственно, модули и аргументы волновых сопротивлений гасителя и входных импедансов участков системы.

Примем в формуле (18) возможные предельные значения функций косинусов и для этих значений запишем выражения для наименьших и наибольших значений коэффициента K_6 :

$$\inf K_6 = \frac{1}{|\bar{Z}_{c1}|} \sqrt{\frac{|\bar{Z}_i|^2 + |\bar{Z}_{c1}|^2}{1 + 2 \cdot |\bar{Z}_i| + |\bar{Z}_i|^2}}; \quad (19)$$

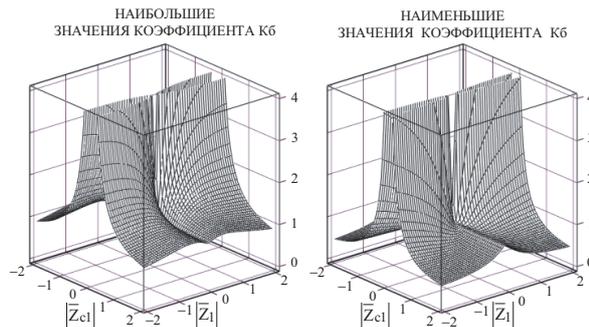


Рис. 4. Зависимости наибольших и наименьших значений коэффициента K_6 от изменений импеданса источника колебаний и волнового сопротивления гасителя, обращённого в сторону источника колебаний

$$\sup K_6 = \frac{1}{|\bar{Z}_{c1}|} \sqrt{\frac{|\bar{Z}_i|^2 + 2 \cdot |\bar{Z}_{c1}| \cdot |\bar{Z}_i| + |\bar{Z}_{c1}|^2}{1 + |\bar{Z}_i|^2}}. \quad (20)$$

Графики функций $\inf K_6$ и $\sup K_6$ приведены на рис. 4 и являются симметричными относительно координат $|\bar{Z}_{c1}|=0$, $|\bar{Z}_i|=0$. Практическое значение имеет функция K_6 при условиях $|\bar{Z}_{c1}| \geq 0$ и $|\bar{Z}_i| \geq 0$. Так как уменьшение значений выражения (18) соответствует возрастанию амплитуды $|P_1|$ и наоборот, то и для параметра K_6 сочетание разнохарактерных характеристик гасителя и источника колебаний нежелательно. Это следует из того, что, при прочих равных условиях, величина выражения (18) будет минимальной из-за отрицательного значения $\cos(\varphi_{c1} - \varphi_1)$. Поэтому рассмотрим однохарактерное сочетание соответствующих характеристик.

При произвольном аргументе φ_{c1} (в пределах $|\varphi_{c1} - \varphi_1| \leq \frac{\pi}{2}$) диапазон изменения величины выражения (18) ограничен неравенством

$$\sqrt{\frac{1}{1 + |\bar{Z}_{c1}|^2}} \leq K_6 \leq \sqrt{\frac{1 + |\bar{Z}_{c1}|^2}{|\bar{Z}_{c1}|^2}}. \quad (21)$$

Если аргумент $\varphi_{c1} = 0$, то имеем:

при $|\bar{Z}_{c1}| \leq 1$ $1 \leq K_6 \leq \frac{1}{|\bar{Z}_{c1}|}$; (22)

при $|\bar{Z}_{c1}| \geq 1$ $\frac{1}{|\bar{Z}_{c1}|} \leq K_6 \leq 1$. (23)

Заметим, что нижние границы приведенных неравенств соответствуют реализации гарантированной величины $|P_1|$, а верхние – минимально возможной.

При выборе гасителя, предназначенного для размещения в системе у источника колебаний, имеющего предельные акустические характе-

ристики, следует руководствоваться следующими формулами:

$$\text{при } \bar{Z}_1 = \infty \quad K_6 = \frac{1}{|\bar{Z}_{c1}|}; \quad (24)$$

$$\text{при } \bar{Z}_1 = 0 \quad K_6 = 1. \quad (25)$$

Из формул (24), (25) следует, что:

- при размещении гасителя у источника колебаний близкого по характеристикам к идеальному источнику расхода, для получения минимальных значений амплитуд $|P_1|$ следует выбирать устройство с волновым сопротивлением \bar{Z}_{c1} также по возможности минимальным;

- если гаситель предназначен для установки у источника колебаний по характеристикам близким к идеальному источнику давления, то выбор волнового сопротивления гасителя со стороны источника колебаний не регламентируется.

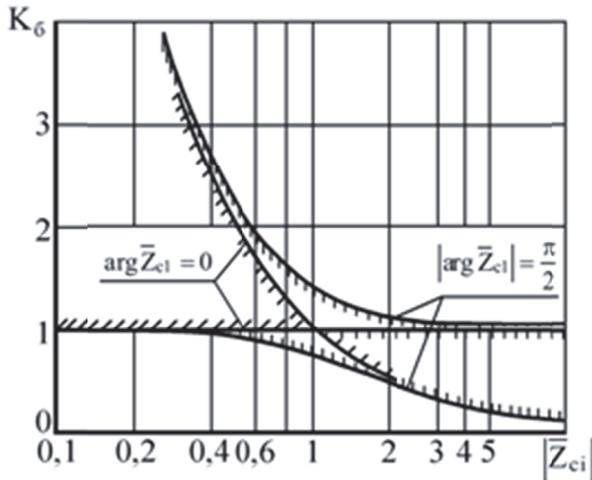


Рис. 5. Зависимости предельных значений коэффициента K_6 при различных значениях аргумента волнового сопротивления гасителя

Для иллюстрации предельных возможностей гасителя на входном участке при однохарактерном сочетании характеристик гасителя и источника колебаний на рис.5 построены графики в соответствии с соотношениями (21)... (23). Штриховка на графиках направлена в сторону областей возможных реализаций значений

$$K_6 = \frac{|P_6|}{|P_1|}.$$

Анализ приведенных графиков показывает, что для получения гарантированного значения коэффициента $K_6 \geq 1$ при установке гасителей у источников колебаний, отличных от источников давления, необходимо выбирать гасители с величиной модуля волнового сопротивления $|\bar{Z}_{c1}| < 1$.

Вернемся к зависимостям функции Θ_1 (6) и коэффициента K_6 (18). Функция Θ_1 влияет на пульсационное состояние выходного участка, а коэффициент K_6 определяет пульсационное состояние входного участка. Для получения наибольшей эффективности действия гасителя на обоих участках, при прочих равных условиях, величины Θ_1 и K_6 должны быть по возможности большими.

Рассмотрим размещение гасителя на удалении от источника колебаний. Поскольку протяженность входного трубопровода не регламентируется, то расстояние от источника колебаний до гасителя может превосходить длину волны подавляемых колебаний. В этом случае минимальные амплитуды во входном трубопроводе будут при условии существования бегущей волны. Для этого необходимо выполнение требования $\Gamma_{c1} = 0$ ($K_6 = 1$). При его выполнении величина функции взаимодействия Θ_1 также будет равна единице.

Если изменить параметры волнового сопротивления гасителя так, чтобы возникли отражения, т. е. $|\Gamma_{c1}| \neq 0$, то значения Θ_1 и K_6 также изменятся. При этом функция взаимодействия Θ_1 может принять значения как больше, так и меньше единицы. Следовательно, отклонение значения функции Θ_1 от значения равного единице всегда сопряжено с ростом амплитуд колебаний на входном участке. Очевидно, что рассмотренное действие возможно, если величина допустимых амплитуд $[P_x]$ на входном участке не регламентируется, а гаситель предназначен для защиты выходного участка трубопроводной цепи.

Если гаситель размещается вблизи источника колебаний то, как следует из формул (6), (18), соотношение между параметрами Θ_1 и K_6 имеет вид

$$\Theta_1 = K_6 \sqrt{|\bar{Z}_{c1}|}. \quad (26)$$

Из анализа выражения (26) следует, что изменение амплитуд колебаний давления перед гасителем вызывает подобное изменение амплитуд колебаний за гасителем. Особенно важно то, что возможна одновременная реализация максимальных значений Θ_1 и K_6 . Это обеспечивает реализацию гасителем своих предельных возможностей по подавлению колебаний, как на входном, так и выходном участках системы.

Если соотношение (26) для функции взаимодействия Θ_1 подставить в выражение (1), то получим формулу, связывающую показатели эффективности действия гасителя на входном и выходном участках в виде

$$K_{вн} \approx K_c \cdot K_6 \cdot \sqrt{|\bar{Z}_{c1}|} \cdot \Theta_2 \cdot \left(\frac{M}{N} \right) \quad (27)$$

или с учётом (5) в виде

$$K_{\text{вн}} \geq \frac{K_c}{2} \cdot K_6 \cdot \sqrt{|Z_{c1}|} \cdot \Theta_2. \quad (28)$$

Из формул (27), (28) следует, что увеличение коэффициента K_6 приводит к увеличению коэффициента $K_{\text{вн}}$. Следовательно, уменьшение амплитуд колебаний перед гасителем вызывает уменьшение амплитуд колебаний на выходном участке системы.

На основе анализа зависимостей для показателей эффективности действия акустических гасителей на входном – K_6 и выходном – $K_{\text{вн}}$ участках трубопроводной цепи разработаны требования и рекомендации по выбору обобщенных параметров устройств, обеспечивающих гарантированную или заранее заданную степень подавления колебаний давления в условиях ограниченной или недостаточной информации о динамических характеристиках системы. Эти рекомендации позволяют создавать требуемые устройства с минимальными экономическими затратами.

Выведены формулы, устанавливающие взаимное соответствие амплитуд пульсаций давления на входном и выходном, по отношению к гасителю колебаний, участках трубопроводной системы.

Показано, что если гаситель размещается на удалении от источника колебаний, то увеличение его эффективности действия на выходном участке, за счёт изменения волновых сопротивлений, всегда вызывает увеличение амплитуд пульсаций давления на входном участке.

Управляя отражением акустических волн распространяющихся в трубопроводной цепи и диссипацией их энергии за счёт изменения параметров элементов проектируемых гасителей, можно достичь оптимальных уровней пульсаций давления на любых участках системы.

Если гаситель размещается у источника колебаний расхода, то вызванное им изменение амплитуды колебаний давления до гасителя вызывает подобное изменение амплитуд колебаний давления на участках системы и после гасителя.

Показано, что для достижения наибольшей эффективности действия гасителя его волновые или характеристические сопротивления и соответствующие входные акустические сопротивления участков системы по обе стороны от гасителя должны быть одного характера. Если входное акустическое сопротивление участка трубопроводной цепи трудноопределимо или изменяется в широких пределах, то обращенное в сторону этого участка цепи волновое сопротивление гасителя должно быть активным (или близким к активному). Его величина должна соответствовать величине волнового сопротивления “удаляемого” отрезка трубопровода, вместо которого будет установлен гаситель. Для управления амплитудами колебаний давления в трубопроводных цепях и системах с произвольными или изменяющимися в широких пределах динамическими характеристиками необходимо применять симметричные гасители, имеющие активные волновые сопротивления. Такие гасители являются универсальными. Однако фактическая эффективность действия активных симметричных гасителей определяется величиной коэффициента собственного затухания K_c и, как правило, невелика. В трубопроводных системах, в которых входные импедансы могут быть измерены или рассчитаны, целесообразно использовать несимметричные гасители. Эффективность действия таких гасителей, за счёт дополнительных отражений, выше эффективности действия, которую могут обеспечить в требуемом диапазоне частот симметричные активные гасители.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шорин, В.П. Устранение колебаний в авиационных трубопроводах Текст / В.П. Шорин. – М.: Машиностроение, 1980. – 156 с.
2. Головин, А.Н. Гасители колебаний для гидравлических систем Текст / А.Н. Головин, В.П. Шорин. – Самара: Изд-во Самарского научного центра РАН, 2005. – 168 с.
3. Сешу С., Балабанян Н. Анализ линейных цепей. – Л.: Госэнергоиздат, 1963. – 552 с.

SELECTING CHARACTERISTICS OSCILLATION DAMPERS

© 2020 A.N. Golovin

Samara National Research University named after Academician S.P. Korolyov

The paper analyzes the efficiency of suppressing oscillations of the working medium in pipeline circuits with dampers of the acoustic filter type. Based on the analysis of these indicators, analytical dependencies are obtained that allow us to estimate the change in the wave process in the pipeline chain before and after the damper. Recommendations are developed for selecting generalized parameters of dampers that provide the necessary degree of attenuation of pressure oscillation.

Keywords: oscillation damper, characteristics, efficiency, oscillation suppression, wave process, pipeline system, oscillation attenuation.

Alexander Golovin, Doctor of Technics, Associate Professor, Senior Research Fellow. E-mail: an-golovin@mail.ru