

УДК 534.21

К ВОПРОСУ ОБ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПОТЕРЬ В ЛИНЕЙНЫХ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ, ОСНОВАННОГО НА ARX-МОДЕЛЯХ

Карпов И.А.

Институт машиноведения им. А.А. Благонравова, г. Москва, Россия, karpov@imash.ac.ru

Ключевые слова: дискретно-временные случайные процессы, параметрические модели, идентификация параметров, коэффициент потерь, ARX-модели, ARMA-модели.

В последнее время для идентификации модальных параметров стали применять так называемые параметрические методы, основанные на изучении дискретно-временных случайных процессов [1]: параметрические модели дают возможность повысить точность оценок спектральной плотности мощности, не говоря уже о возможности прогнозирования сигналов за пределами временных окон измерения.

В ранней работе автора [2] теоретически продемонстрирована возможность нахождения модальных параметров исследуемой системы параметрическим методом, а также проведен численный эксперимент, подтверждающий изложенную гипотезу. Сам метод уже опробован автором в лабораторном эксперименте [3]: было показано, что точность определения потерь параметрическим методом не уступает точности классических методов в случае слабо демпфированных систем. Также есть ряд других работ с примерами использования метода для моделирования натуральных вибрационных систем [4, 5], но ни в одной из существующих работ, насколько известно автору, не раскрыт вопрос о границах применимости метода. Цель данной работы заполнить этот пробел.

Был проведен численный эксперимент на простейшей колебательной системе с одной степенью свободы – механическом осцилляторе m - k - c , имеющем заданные модальные параметры: собственную частоту $\omega_0 = (k/m)^{1/2}$, коэффициент потерь $\eta_0 = c/m\omega_0$ и частотную характеристику $H(\omega)$:

$$H(\omega) = \frac{\omega_0^2 + i\omega\omega_0\eta_0}{\omega_0^2 + i\omega\omega_0\eta_0 - \omega^2}.$$

На вход системы подавался белый шум в ограниченной полосе частот. Случайный сигнал на выходе системы представлялся в виде ARX-модели и использовался для определения модальных параметров предложенным методом. Отклонения полученных таким образом собственных частот и коэффициентов потерь от заданных значений, т.е. ошибки параметрического метода, исследовались затем в зависимости от заданных модальных параметров и параметров метода.

На рис. 1 в качестве примера на плоскости (η_0, Fs) , где Fs – частота дискретизации выходного случайного сигнала, серым представлена область, где ошибки определения модальных параметров предложенным методом не превышают 5%.

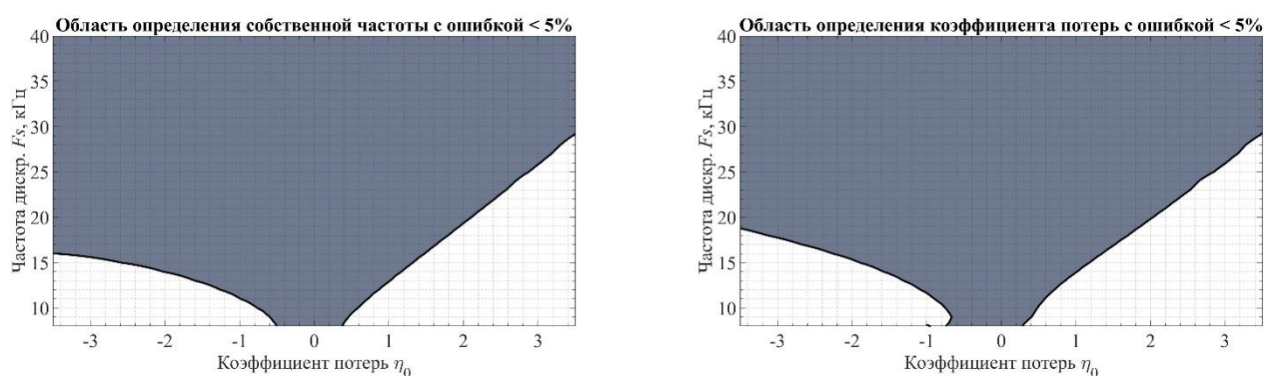


Рис. 1. Область применимости предложенного метода определения модальных параметров

Как видно из рис. 1, параметрический метод применим к колебательным системам практически с любым демпфированием, включая закритические ($\eta_0 > 2$) и отрицательные ($\eta_0 < 0$) значения коэффициента потерь, в то время как классические методы ограничены диапазоном небольших потерь ($0 < \eta_0 < 1$).

В работе также были исследованы зависимости ошибок метода от других параметров колебательных систем и самого метода, которые подтвердили вывод: параметрический метод обладает не только большей простотой и экономичностью объема необходимых измерений, но и существенно более широкой областью применимости по сравнению с известными спектральными методами.

Список литературы

1. Ljung, L. System Identification Theory for the User. 2nd Edition. University of Linköping, Sweden: Prentice Hall, 1999. – 672 p.
2. Карпов, И.А. Ученые записки Физического факультета Московского университета, 2020. – № 1. – 2011701.
3. Карпов И.А., Гребенников А.С., Ким А.А. Известия РАН. Серия Физическая, 2021. – №6. – С. 889-894.
4. Avendano-Valencia L.D., Fassois S.D. Mechanical Systems and Signal Processing, 2014. – V.47. – P. 263-285.
5. Rhushikesh T., Sondar S.Y. Proc. IEEE International Conference ICACCT, 2014. – P. 291-295.

Сведения об авторе

Карпов Иван Андреевич, младший научный сотрудник. Область научных интересов: акустика, вибрационные испытания, анализ шумов, обработка сигналов.

ON THE IDENTIFICATION OF DAMPING IN LINEAR VIBRATORY SYSTEMS USING PARAMETRIC ARX-MODELS

Karpov I.A.

Institute of Mechanical Engineering named after A.A. Blagonravov, Moscow, Russia,
karpov@imash.ac.ru

Keywords: discrete-time random processes, parametric models, identification of parameters, loss factor, ARX-models, ARMA-models.

Experimental determination of losses and other parameters in acoustic media and elastic structures is one of the problems that haven't been fully resolved. This report describes a method, based on ARX-models of the random oscillations of vibrational and acoustic systems. The method has already been tested by the author in a laboratory experiment: it has been shown that the accuracy of determining losses by the parametric method isn't inferior to the accuracy of classical methods in the case of weakly damped systems. As follows from this report, unlike classical methods, this method is also applicable to heavily damped oscillatory systems in which neighboring resonances can overlap, demonstrating high efficiency in the amount of necessary measurements and calculations.