

S. S. Sukhantsev, Post-graduate, Perm State Humanity Education University

M. B. Gitman, DSc (Physics and Mathematics), Professor, Perm National Research Polytechnic University

Planning of Discrete Production Under Condition of Fuzzy Information

The solution of a problem of planning and replanning of discrete production by the fuzzy sets theory is submitted. This problem is a two-criteria optimization problem, where criteria of the costs of production and personnel opinion are considered.

Key words: production planning, incomplete information, Zade method.

УДК 622.691.4.052-52

Б. В. Кавалеров, доктор технических наук, Пермский национальный исследовательский политехнический университет

Г. А. Килин, аспирант, Пермский национальный исследовательский политехнический университет

И. В. Бахирев, аспирант, Пермский национальный исследовательский политехнический университет

АЛГОРИТМ ПОИСКА НЕЛИНЕЙНОЙ МОДЕЛИ ГТУ ДЛЯ ПРИВОДА ГПА

Рассматривается автоматический поиск нелинейной модели, что в итоге приводит к значительной экономии времени при выборе модели ГТУ для привода ГПА. Отдельно для каждого уравнения происходит поиск наилучших нелинейных элементов, чем реализуется алгоритм структурной идентификации.

Ключевые слова: система управления, линейные элементы, математическая модель, идентификация, нелинейный элемент, модуль.

В настоящее время в наземных целях используются конвертированные газотурбинные установки (ГТУ), которые создаются на базе авиационных газотурбинных двигателей.

Упрощенные модели ГТУ, как правило, формируются по данным экспериментов с помощью алгоритмов идентификации [1]. Главное преимущество таких моделей – высокое быстродействие, поэтому такие модели иногда называют быстрорешаемыми или быстросчетными. Быстрорешаемые модели предназначены для использования в задачах диагностики, настройки и оптимизации систем управления ГТУ, в тренажерных комплексах, при стендовых испытаниях установок различного назначения: для электростанций, для газоперекачивающих агрегатов, для авиационного применения. Быстрорешаемые модели могут быть как линейными, так и нелинейными [2].

Рассмотрим задачу автоматизированного формирования таких моделей исходя из необходимости обеспечить максимальную точность воспроизведения режимов. При этом приходится применять не только параметрическую, но и структурную идентификацию. Поэтому здесь требуется не только получить модель ГТУ, но и обосновано выбрать ее структуру. Рассмотрим последовательное усложнение применяемой структуры модели, приводящее в итоге к необходимости решения задачи структурной идентификации. В качестве примера использованы экспериментальные данные испытания ГТУ для газоперекачивающего агрегата (ГПА).

Структура быстрорешаемой линейной модели ГТУ для ГПА

Идея быстрорешаемой модели состоит в объединении линейной динамической модели и нели-

нейных статических характеристик ГПА. Данный класс моделей позволяет обеспечить точность в границах 2–5 % [1].

Принятая модель учитывает аккумуляцию энергии во вращающихся массах роторов двухвальной ГТУ, инерционность по расходу топлива и повороту дозатора топливного газа.

Уравнение угла дозатора газа:

$$\dot{A}_{DI} = a_{11}A_{DI} + a_{12}G_T + a_{13}n_{TK} + a_{14}. \quad (1)$$

Уравнение расхода топлива:

$$\dot{G}_T = a_{21}A_{DI} + a_{22}G_T + a_{23}n_{TK} + a_{24}. \quad (2)$$

Уравнение частоты вращения турбокомпрессора:

$$\dot{n}_{TK} = a_{31}A_{DI} + a_{32}G_T + a_{33}n_{TK} + a_{34}V_{NA} + a_{35}. \quad (3)$$

Уравнение частоты вращения свободной турбины:

$$\dot{n}_{C.T} = a_{41}A_{DI} + a_{42}G_T + a_{43}n_{TK} + a_{44}M_{KR} + a_{45}n_{C.T} + a_{46}. \quad (4)$$

В уравнениях приняты обозначения:

A_{DI} – угол поворота дозатора газа;

G_T – расход топлива;

n_{TK} – частота вращения ротора турбокомпрессора;

$n_{C.T}$ – частота вращения ротора свободной турбины;

M_{KR} – крутящий момент с датчика ИКМ;

V_{NA} – входной направляющий агрегат.

Для оценки коэффициентов быстрорешаемой модели здесь и далее использован метод наименьших квадратов как требующий наименьшей априорной информации [3].

Адекватность линейной модели. Для испытания линейной модели (1)–(4) на ее вход подавалась экспериментальная кривая угла дозатора топлива. На

рис. 1 и 2 представлены графики модельной и экспериментальной кривой на всем эксперименте.

Адекватность оценивалась по методу Тейла [4] (табл. 1).

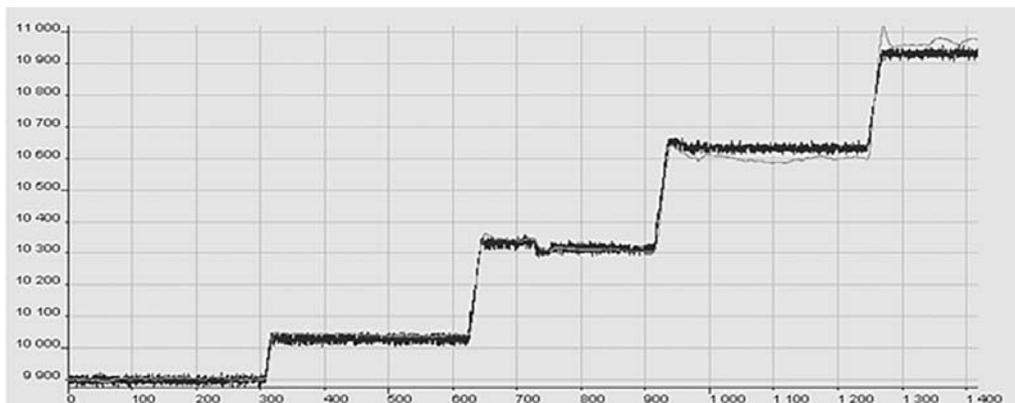


Рис. 1. Переходный процесс частоты вращения турбокомпрессора (темная – экспериментальная, светлая – модельная)

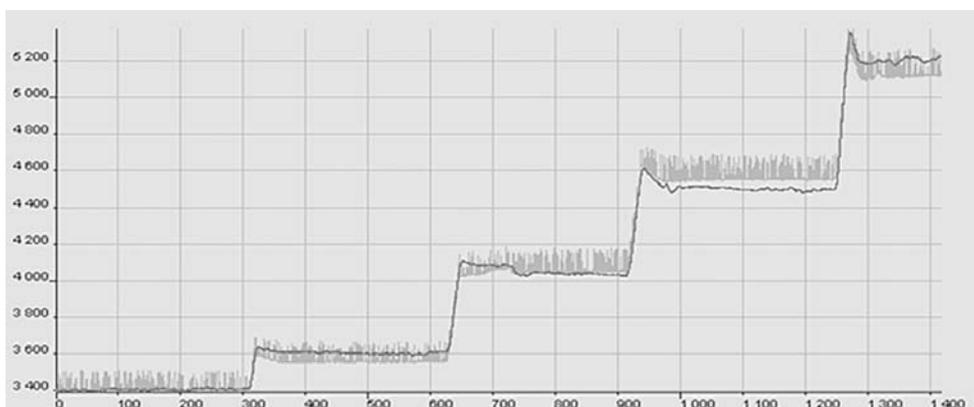


Рис. 2. Переходный процесс частоты вращения свободной турбины (темная – модельная, светлая – экспериментальная)

Таблица 1. Мера адекватности линейной модели

Переменная	A_{DI}	G_T	n_{TK}	n_{CT}
Мера адекватности	0.00246	0.00973	0.00235	0.01269

Структура быстро решаемой нелинейной модели ГТУ для ГПА

Следующим этапом проводимых исследований является автоматический поиск нелинейной части модели, что в итоге приведет к значительной экономии времени при поиске модели для ГТУ различных версий применения.

Отдельно для каждого уравнения происходит поиск наилучших нелинейных элементов, чем реализуется алгоритм структурной идентификации. В результате удалось существенно повысить адекватность модели за счет подбора конкретной структуры уравнений (5)–(8). Алгоритм поиска нелинейных элементов модели представлен на рис. 3.

Для поиска структуры использовались следующие условия:

- 1) количество нелинейных элементов – 3;
- 2) количество переменных в нелинейном элементе – 2.

В результате выполнения алгоритма (рис. 3) получена следующая модель.

Уравнение угла дозатора газа:

$$\dot{A}_{DI} = a_{11}A_{DI} + a_{12}G_T + a_{13}n_{TK} + a_{14} + a_{15}A_{DI}A_{DI}. \quad (5)$$

Уравнение расхода топлива:

$$\dot{G}_T = a_{21}A_{DI} + a_{22}G_T + a_{23}n_{TK} + a_{24} + a_{25}A_{DI}G_T + a_{26}n_{TK}n_{CT}. \quad (6)$$

Уравнение частоты вращения турбокомпрессора:

$$\dot{n}_{TK} = a_{31}A_{DI} + a_{32}G_T + a_{33}n_{TK} + a_{34}V_{NA} + a_{35} + a_{36}A_{DI}A_{DI} + a_{37}n_{TK}n_{TK}. \quad (7)$$

Уравнение частоты вращения свободной турбины:

$$\dot{n}_{CT} = a_{41}A_{DI} + a_{42}G_T + a_{43}n_{TK} + a_{44}M_{KR} + a_{45}n_{CT} + a_{46} + a_{47}A_{DI}A_{DI}. \quad (8)$$

Адекватность нелинейной модели. Для испытания нелинейной модели (5)–(8) на ее вход подавалась экспериментальная кривая угла дозатора топлива. На рис. 4 и 5 представлены графики модельной и экспериментальной кривой на всем эксперименте.

В табл. 2 представлена оценка адекватности по методу Тейла [4].



Рис. 3. Алгоритм поиска нелинейных элементов модели

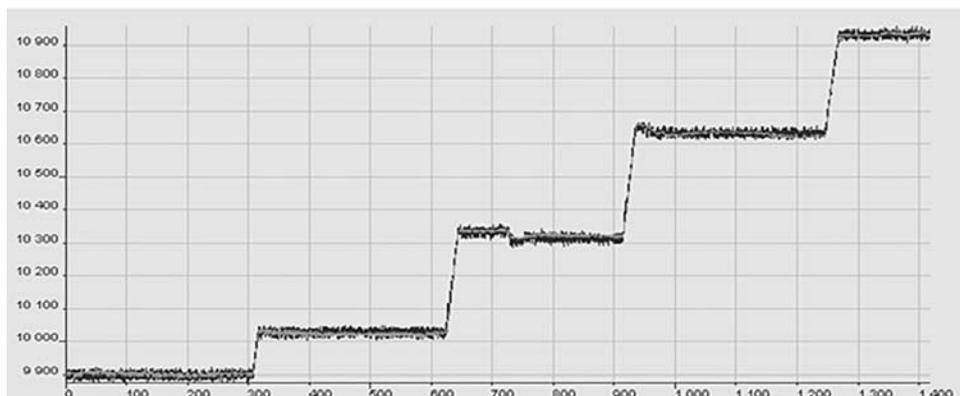


Рис. 4. Переходный процесс частоты вращения турбокомпрессора (темная – экспериментальная, светлая – модельная)

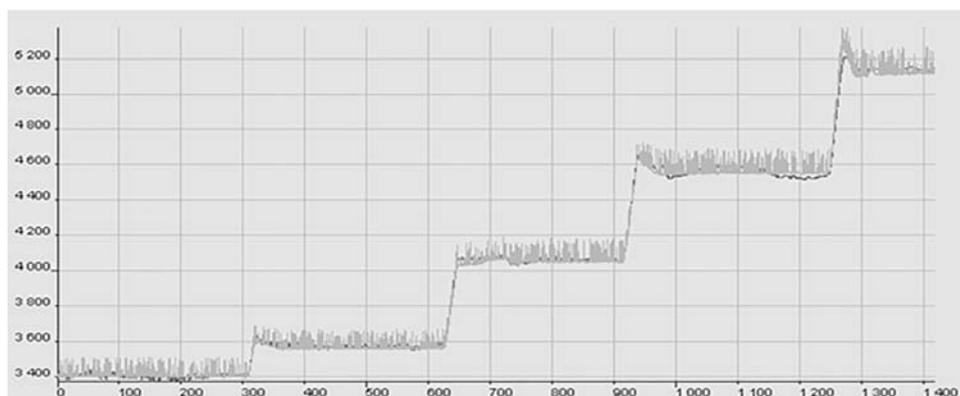


Рис. 5. Переходный процесс частоты вращения свободной турбины (темная – модельная, светлая – экспериментальная)

Таблица 2. Мера адекватности нелинейной модели

Переменная	A_{DL}	G_T	n_{TK}	n_{CT}
Мера адекватности	0,00244	0,00694	0,00089	0,00785

Заключение

Рассмотренный алгоритм предназначен для оптимизации поиска нелинейных моделей ГТУ различных вариантов использования: в электростанциях, в газоперекачке, при авиационном использовании [5].

На основе разработанных алгоритмов и методик формируется специализированный модуль для многофункциональных тренажерных комплексов, который планируется к использованию на предприятиях авиационного двигателестроения.

Библиографические ссылки

1. Гольберг Ф. Д., Батенин А. В. Математические модели газотурбинных двигателей как объектов управления. – М. : Изд-во МАИ, 1999. – 82 с.
2. Идентификация и диагностика в информационно-управляющих системах авиакосмической энергетики / Б. В. Боев, В. В. Бугровский, М. П. Вершинин [и др.]. – М. : Наука, 1988. – 168 с.
3. Алгоритм построения быстрорешаемой модели газотурбинной газоперекачивающей установки по экспериментальным данным / Б. В. Кавалеров, К. А. Один, Г. А. Килин, И. В. Бахирев, А. Ю. Поварницын // Вестник ИжГТУ. – 2013. – № 3. – С. 116–118.
4. Тейл Г. Эконометрические прогнозы и принятие решений. – М. : Статистика, 1971. – 488 с.
5. Исследование взаимовлияния систем управления газотурбинной установкой и электрогенератором при автоматизированной настройке регуляторов / А. И. Полулях, И. Г. Лисовин, Б. В. Кавалеров, А. А. Шигапов // Вестник Воронежского гос. тех. ун-та. – 2011. – Т. 7. – № 11.1. – С. 129–132.

B. V. KavaleroV, DSc in Engineering, Perm National Research Polytechnic University

G. A. Kilin, Post-graduate, Perm National Research Polytechnic University

I. V. Bakhirev, Post-graduate, Perm National Research Polytechnic University

Algorithm of Search of GTU Nonlinear Model for GPU Drive

Automatic search of nonlinear model is considered, thus resulting in the considerable saving of time at a GTU model choice for the GPA drive. Separately for each equation there is a search of the best nonlinear elements, implementing therefore the algorithm of structural identification.

Key words: control system, linear elements, mathematical model, identification, nonlinear element, module.