

УДК 681.5: 519.6

Ю. М. Гусев, академик Международной академии наук высшей школы, доктор технических наук, профессор, Уфимский государственный авиационный технический университет
О. Е. Данилин, кандидат технических наук, Уфимский государственный авиационный технический университет
Б. И. Бадамшин, аспирант, Уфимский государственный авиационный технический университет

ПОДСТРОЕЧНАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ТВВД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ В МЕТОДЕ ОПТИМИЗАЦИИ УДЕЛЬНОГО РАСХОДА ТОПЛИВА

Предлагается подход к решению задачи идентификации математической модели ТВВД с дальнейшим использованием этой модели в процессе оптимизации удельного расхода топлива. Решение задачи показано на примере линейно-динамической модели ТВВД с применением генетического алгоритма для подстройки коэффициентов модели.

Ключевые слова: генетический алгоритм, ТВВД, математическая модель, алгоритм управления.

В процессе решения задачи оптимизации удельного расхода топлива турбовинтового двигателя (ТВВД) на основе метода, использующего математическую модель двигателя, возникает задача подстройки коэффициентов данной модели. В процессе эксплуатации летательного аппарата двигатель вырабатывает свой ресурс и его характеристики деградируют. Если применяемая модель двигателя не будет точно отражать текущее состояние используемой силовой установки, то оптимизация не будет давать должного эффекта. В то же время применение модели двигателя позволяет более смело исследовать все поле возможных решений без риска ввести исследуемый объект в критическое состояние.

В статье предлагается один из способов подстройки математической модели нелинейного объекта, которым в данном случае выступает ТВВД.

Математическое описание исследуемого объекта управления

Рассматривается кусочно-линейная динамическая математическая модель ТВВД. Данная модель получена из базовой поэлементной модели по методике, приведенной в [1, 2]. Математическая модель представляет собой систему уравнений вида

$$\dot{\bar{X}} = f(\bar{X}, \bar{V}, \bar{U}),$$

$$\bar{Y} = \varphi(\bar{X}, \bar{V}, \bar{U}),$$

где $\bar{X} = [n_{\text{НД}}, n_{\text{ВД}}]^T$ – вектор координат состояния по частотам вращения роторов; $\bar{U} = [G_{\text{топл}}, \alpha_{\text{н.а}}]^T$ – вектор управляющих воздействий; $\bar{Y} = [N_{\text{СТ}}, P_k^*, P_4^*, \dots]^T$ – вектор наблюдаемых координат ТВВД; $\bar{V} = [M_{\text{П}}, H_{\text{П}}, p_H, T_H]^T$; f, φ – нелинейные операторы.

Повышение точности математической модели (ММ) ТВВД на установившихся режимах осуществляется за счет идентификации, которая может быть структурной и параметрической. Под структурной идентификацией понимают введение в структуру ММ дополнительных уравнений, учитывающих фи-

зические особенности рабочего процесса газотурбинного двигателя (ГТД) более высокого порядка. Под параметрической идентификацией (ПИ) понимается задача уточнения по результатам испытаний ГТД характеристик его узлов [3].

Метод оптимизации удельного расхода топлива ТВВД с использованием подстройки математической модели двигателя

Снижение расхода топлива достигается за счет оптимизации программы регулирования частот вращения винтов ВВ и углов установки направляющих аппаратов (НА) компрессоров низкого давления (КНД) и высокого давления (КВД). Используется двухэтапный метод оптимизации с применением интеллектуальных методов управления. На первом этапе алгоритм оптимизации работает с математической моделью ТВВД. В качестве алгоритма оптимизации используется метод генетических алгоритмов (ГА). На втором этапе оптимизации используется нейронная сеть (НС). В результате работы первого этапа оптимизации формируется обучающая выборка, содержащая значения частот вращения винтов винтовентилятора и углов установки НА для различных условий полета, – число M полета, высота полета H , заданная тяга $R_{\text{ж}}$, при которых достигается минимальный удельный расход топлива $C_{\text{уд}}$. По этим данным производится обучение нейросетевой модели подсистемы оптимизации.

В процессе эксплуатации ЛА двигатель стареет и его характеристики деградируют, также меняются условия эксплуатации, поэтому необходимо дообучать НС, используемую в подсистеме оптимизации, в соответствии с изменившимися характеристиками двигателя. Для переобучения нейросетевой модели подсистемы оптимизации в процессе эксплуатации самолета необходимо иметь модель ТВВД, которая будет корректироваться в соответствии с реальными характеристиками двигателя и условиями его эксплуатации.

Одним из способов непараметрической идентификации является построение ММ ГТД в виде конечного отрезка функционального ряда Вольтера [4]. В данной работе предполагается использовать

готовую математическую модель ТВВД. При этом подстройка (уточнение, оптимизация) коэффициентов ММ осуществляются в процессе эксплуатации двигателя, чтобы используемая модель сохраняла актуальность по отношению к конкретному двигателю летательного аппарата (ЛА).

Предлагается использовать быстросчетную кусочно-линейную динамическую модель (БКЛДМ) ТВВД, основанную на ЛДМ (1) [1, 2]:

$$\begin{aligned} \dot{X}(t) &= A(\eta)(X(t) - X_{ст}(\eta)) + B(\eta)(U(t) - U_{ст}(\eta)), \\ Y(t) &= C(\eta)(X(t) - X_{ст}(\eta)) + D(\eta)(U(t) - U_{ст}(\eta)) + Y_{ст}, \end{aligned} \quad (1)$$

где A, B, C, D – матрицы коэффициентов линейно-динамической модели (ЛДМ); $X_{ст}, U_{ст}, Y_{ст}$ – координаты статических линий; $\eta = \sum_{i=1}^n z_i \cdot x_i(t)$ – пара-

метр режима, линейная комбинация координат состояния.

Предлагается использовать метод генетических алгоритмов (ГА) для оптимизации коэффициентов БКЛДМ ГГ $\{A[r \times r], B[r \times m], C[s \times r], D[s \times m]\}$, где r, m, s – количество каскадов компрессора, управляющих воздействий и наблюдаемых координат соответственно. Задача оптимизации решается для каждого стационарного режима полета отдельно. Двоичное представление каждого коэффициента являет собой хромосому. Набор хромосом, включающий в себя все подстраиваемые коэффициенты, представляет собой особь – одно решение, l – число вариантов особей (решений) в каждом поколении. Набор решений, или особей представляет собой поколение. Структура хромосомы, особи, поколения приведена на рис. 1.

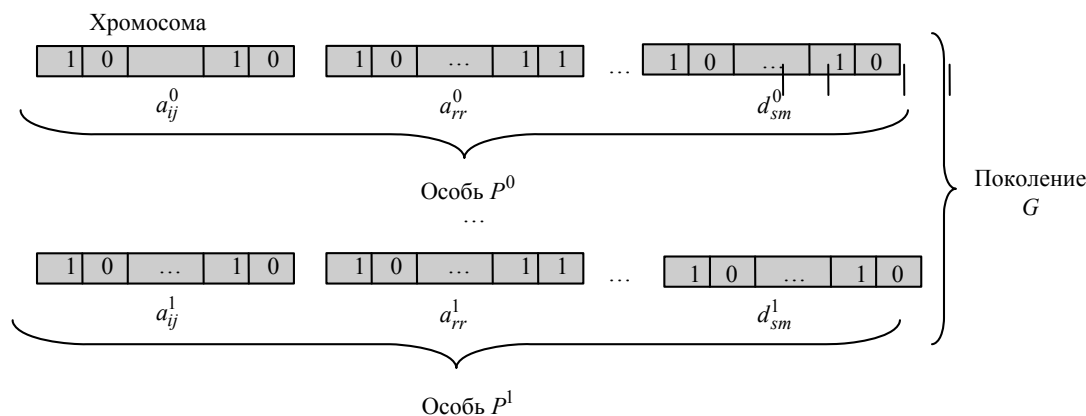


Рис. 1. Структура хромосомы, особи, поколения

Для оценки пригодности особи (решения) из общего числа l в каждом поколении используется функция пригодности:

$$F = 1 - \frac{E}{E_{\max}},$$

где E – суммарный критерий близости объекта и модели ТВВД; E_{\max} – допустимое максимальное значение этого критерия ($E \leq E_{\max}$).

То есть оптимальным значением функции пригодности является 1. Поиск останавливается при достижении функцией пригодности значения близкого к 1 с заданным допуском ξ . Критерий близости объекта и модели ТВВД:

$$E = \sum_{k=1}^K \sum_{i=0}^U [y_i(k) - y_{im}(k)]^2, \quad (2)$$

где U – количество уравнений в системе уравнений БКЛДМ (количество критериев оптимизации); $y_i(k)$ – выходной сигнал, снятый с реального объекта (ТВВД); $y_{im}(k)$ – выходной сигнал, снятый с модели объекта (модель ТВВД); K – количество отсчетов – количество замеров одного параметра на за-

данном интервале времени Δt измерения выходных параметров.

После определения всех критериев оптимизации приступают непосредственно к реализации ГА. Блок-схема ГА приведена на рис. 2.

После применения всех генетических операторов формируется новая популяция из l наборов особей, вычисляются функции пригодности F . Алгоритм повторяется до тех пор, пока не будет выполнен критерий остановки. В результате получается скорректированный в соответствии с текущим состоянием конкретного двигателя набор коэффициентов $\{A, B, C, D\}$ БКЛДМ двигателя. И уже по скорректированной модели ТВВД происходит переобучение НС подсистемы оптимизации.

Алгоритм сбора и обработки фактических данных с ТВВД

Рассмотрим методику сбора и обработки полетных данных. В качестве примера рассмотрим ММ газогенератора (ГГ) ТВВД, описываемую системой уравнений (1). Для идентификации данной модели необходимы значения всех параметров, входящих в вектор наблюдаемых координат \bar{Y} . Часть из этих параметров измеряются во время полета напрямую,

а часть – косвенно. Примем следующие условные обозначения:

\bar{Y}_{ij} – вектор состояний i -й наблюдаемой координаты во время полета, состоящий из K отсчетов времени j -го полета;

U – количество наблюдаемых координат двигателя, необходимых для идентификации ММ;

P – количество полетов, во время которых осуществляется измерение параметров двигателя, необходимых для идентификации ММ.

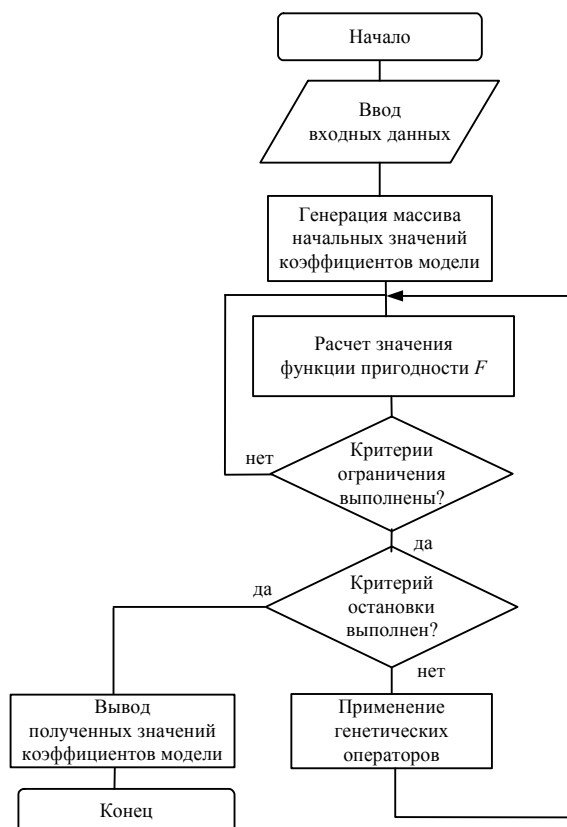


Рис. 2. Блок-схема ГА подстройки модели ТВВД

Рассмотрим схему алгоритма сбора и обработки реальных выходных параметров двигателя (рис. 3). В течение P полетов осуществляется сбор U выходных параметров двигателя \bar{Y}_{UP} , с которыми по очереди работает генетический алгоритм. В результате формируется P вариантов коэффициентов математической модели ГГ ТВВД $\{A_p, B_p, C_p, D_p\}$, из которых выбирается тот набор коэффициентов при котором критерий близости $E(2)$ минимален.

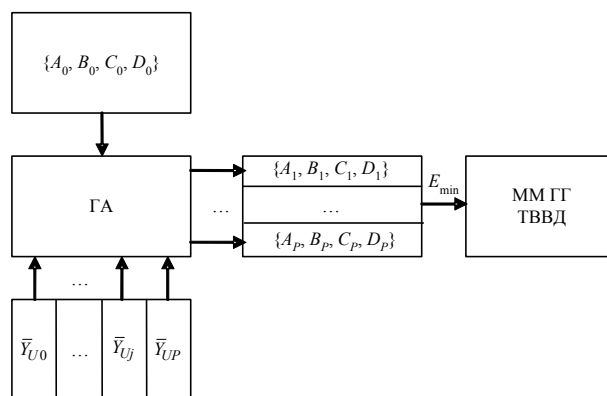


Рис. 3. Схема алгоритма сбора и обработки реальных выходных параметров двигателя

Заключение

В статье предложен метод подстроечной идентификации параметров математической модели ТВВД на основе генетических алгоритмов по реальным данным, получаемым в полете.

Данный метод подстройки модели двигателя используется в составе метода оптимизации удельного расхода топлива ТВВД, основанного на двухэтапном подходе с применением генетических алгоритмов и нейронных сетей, позволяющего обеспечить снижение удельного расхода топлива за счет винтов винтовентилятора на 5,5 %, а за счет НА КНД на 5,4 % по сравнению со штатными установками для крейсерского режима полета.

Предложена методика сбора и обработки выходных параметров двигателя.

Предложенный метод подстроечной идентификации применим как для параметрических, так и непараметрических моделей различных объектов управления.

Список литературы

- Куликов Г. Г. Динамические модели авиационных газотурбинных двигателей для создания и эксплуатации систем управления // Вестник УГАТУ. – 2000. – № 2. – С. 157–165.
- Динамическая характеристика соосного винтовентилятора на режимах реверса тяги для решения задач автоматического управления и контроля состояния / Г. Г. Куликов [и др.] // Авиационно-космическая техника и технология. – 2003. – Вып. 6(41). – С.106–110.
- Кофман В. М. Метод параметрической идентификации математических моделей ГТД на установившихся режимах работы // Вестник УГАТУ. – 2009. – Т. 13. – № 1(34). – С. 57–65.
- Данилин О. Е., Бадамышин Б. И. Оптимизация методами генетических алгоритмов математической модели нелинейного объекта // Докл. Рос. научн.-техн. конф. «Мавлютовские чтения». – Т. 2. – Уфа, 2006. – С. 65–70.

U. M. Gusev, Doctor of Technical Sciences, Professor, Ufa State Aviation Technical University
 O. E. Danilin, Candidate of Technical Sciences, Ufa State Aviation Technical University
 B. I. Badamshin, Postgraduate Student, Ufa State Aviation Technical University

TVVE Mathematical Model Tuning Identification with Use of Genetic Algorithms in Specific Fuel Consumption Optimization Method

The approach to solving the TVVE mathematical model identification problem with the further use of this model for the fuel consumption optimization is offered. The problem solving is shown by an example of linearly-dynamic TVVE model with application of genetic algorithm for fine tuning of the model factors.

Key words: genetic algorithm, TVVE, mathematical model, control algorithm.

УДК 004.942, 001.53

Р. А. Файзрахманов, доктор экономических наук, профессор, Пермский государственный технический университет
Е. В. Долгова, доктор экономических наук, доцент, Пермский государственный технический университет
Р. Р. Файзрахманов, аспирант, Пермский государственный технический университет

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ В ЗАДАЧАХ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ВЕБ-СТРАНИЦ И ИЗВЛЕЧЕНИЯ ВЕБ-ИНФОРМАЦИИ*

Приведено описание процессов автоматической обработки веб-страниц и извлечения информации. Предложены и формально описаны основные модели веб-страниц (геометрическая и логическая), основанные на визуальном представлении. Показаны преимущества модели визуального представления для автоматической обработки веб-страниц и извлечения информации.

Ключевые слова: автоматическая обработка веб-страниц, извлечение веб-информации, моделирование процессов, геометрическая модель, логическая модель.

Веб является огромным хранилищем информации. Он играет важную роль в бизнесе, политике, науке и в повседневной жизни. Основным элементом являются веб-страницы (ВС), которые представляют информацию в слабоструктурированной или неструктурированной форме, используя такие всемирно известные стандарты, как HTML и XHTML. Данная форма представления используется исключительно для задания визуального форматирования, и также является удобной формой для хранения и передачи по сети Интернет. Но она не предназначена для отображения семантики и типов данных, которые содержит ВС, что делает автоматическую обработку довольно сложной проблемой.

Таким образом, существует проблема автоматизированной обработки веб-страниц (ОВС), их понимания компьютером, а также автоматизированного извлечения информации (ИЗИ). ОВС и ИЗИ играют важную роль в таких областях знаний, как информационный поиск, глубокий анализ данных, веб-адаптация, а также веб-доступность [1]. Помимо эффективности используемых алгоритмов, важную роль в данных проблемах играет представление веб-страницы, на уровне которого происходит решение той или иной задачи.

Процессы автоматической обработки веб-страниц и извлечения информации из визуального представления

Под ОВС мы подразумеваем обработку визуального представления ВС и представления ее в форме, понятной для компьютера. Процесс ОВС представим состоящей из двух основных этапов: анализа веб-страницы (АВС), результатом которого является гео-

метрическая модель (ГМ) ВС, и понимания веб-страниц (ПВС), результатом которого является логическая модель (ЛМ) ВС – подобно обработке графических документов [2] (рис. 1).

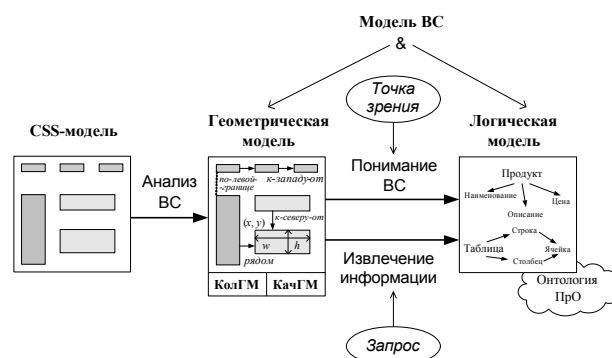


Рис. 1. Диаграмма, отражающая процесс обработки веб-страницы

Системы ИЗИ предназначены для извлечения заданной информации согласно заданному запросу из некоторого набора источников и ее представления в виде, понятном компьютеру. Извлекаемая информация может иметь различные формы внутрисистемного представления, быть представлена в различных структурированных формах, например, в виде XML-документа, записей в базе данных или в виде утверждений в онтологии.

Существует 4 основные формы представления ВС, на основе которых может происходить ИЗИ: 1) в виде исходного кода; 2) в виде дерева документа (DOM-дерево, или дерево тегов); 3) текстового представления и 4) визуального представления.