

УДК 622.313.33

А.Н. Гаргаев, В.Г. Каширских

## ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ДВИГАТЕЛЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА С ПОМОЩЬЮ ПОИСКОВЫХ МЕТОДОВ

Двигатели постоянного тока (ДПТ) имеют достаточно широкое применение в различных областях промышленности. Выход из строя электродвигателей вызывает простой технологического оборудования и наносит значительный экономический ущерб предприятиям. В этих условиях актуальной является задача разработки систем диагностики и защиты ДПТ. Одним из возможных путей решения этой задачи является использование результатов динамической идентификации ДПТ на основе оценивания значений параметров двига-

теля [3]. В качестве критерия минимизации применяем суммарное квадратичное отклонение

$$f(\Delta) = \sum_{k=0}^N (I_{[k]} - I_{M[k]})^2, \text{ где } N - \text{размер вы-}$$

борки измеренных данных,  $I$  – измеренных ток обмотки якоря (возбуждения),  $I_M$  – смоделированный ток обмотки якоря (возбуждения).

Размер шага, на величину которого делается приращение параметров при их поиске, подбирается индивидуально, в зависимости от допустимой

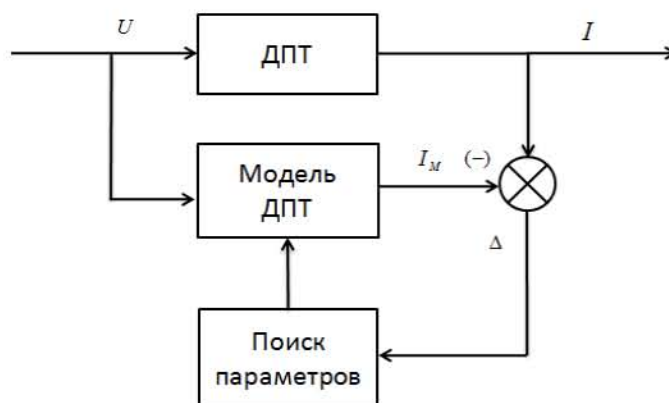


Рис. 1. Блок-схема поисковых методов

теля в процессе его работы [1].

Идея оценивания параметров ДПТ с помощью поисковых методов заключается в том, что используя некоторую модель объекта, настраиваем ее параметры так, чтобы был минимум разности между выходными сигналами модели и реального объекта при одинаковых входных воздействиях (рис. 1). Здесь  $U$ ,  $I$  – питающее напряжение и ток обмотки якоря (возбуждения) ДПТ;  $I_M$  – ток модели обмотки якоря (возбуждения);  $\Delta$  – разность сигналов модели и объекта.

В качестве поисковых методов используем метод прямого перебора и генетические алгоритмы. Достоинствами метода прямого перебора являются простота программирования, высокая точность найденных решений, а недостатками – большое время работы, зависящее от пространства оцениваемых величин и шага поиска.

Математическая модель ДПТ представлена известной системой уравнений на основе модели двухфазной обобщенной машины [2]. Поиск параметров ведется путем перебора всех комбинаций параметров в заданном диапазоне, с запоминанием тех из них, при которых  $\Delta$  будет мини-

погрешности и времени оценивания параметров. В табл. 1 представлены результаты работы алгоритма. Здесь  $R_b$ ,  $R_a$  – активные сопротивления обмоток возбуждения и якоря;  $L_b$ ,  $L_a$  – индуктивные сопротивления обмоток возбуждения и якоря. Оценивание параметров осуществляется с допустимой для практического использования погрешностью – не более 15%. На рис. 2, 3 для сравнения показаны переходные процессы, происходящие в модели ДПТ и при оценивании.

Таблица

	Параметры модели	Оцененные параметры	Относительная погрешность, %
$R_b$ , Ом	185	185	0
$L_b$ , Гн	50	50.5	1
$R_a$ , Ом	3.5	3.5	0
$L_a$ , Гн	0.02	0.022	10

Для реализации поискового метода можно также использовать генетические алгоритмы (ГА), которые представляют собой процедуру оптимизации, основанную на концепциях биологической эволюции (рис. 4), для этого задача формализуется

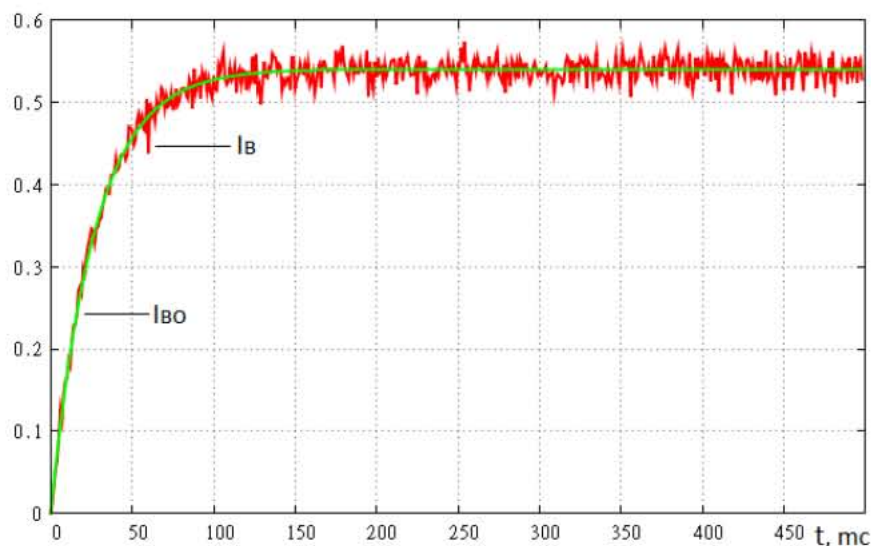


Рис. 2. Переходной процесс пуска ДПТ:  $I_v$  – ток возбуждения, полученный из модели двигателя,  $I_{vo}$  – ток возбуждения, построенный по оцененным параметрам

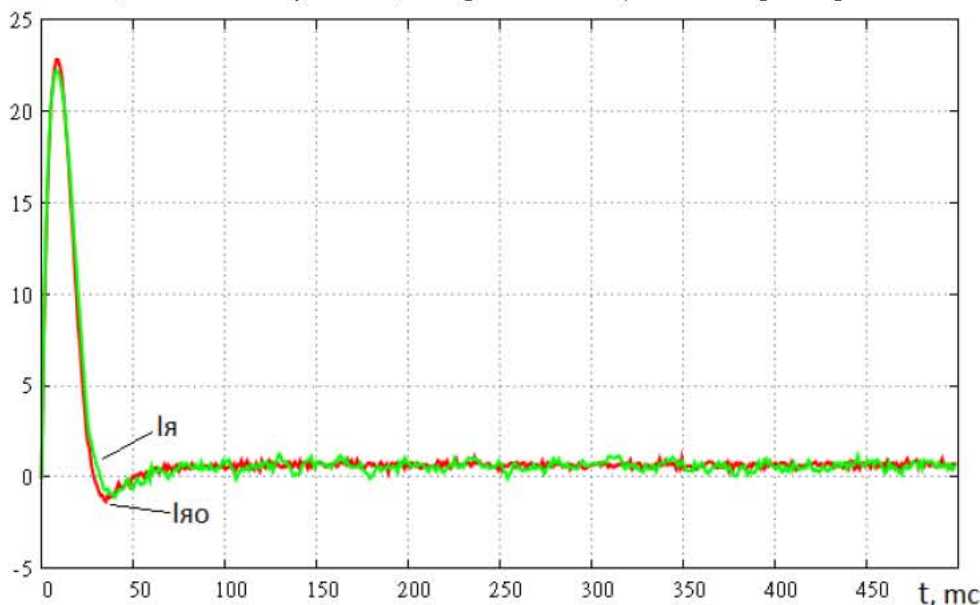


Рис. 3. Переходной процесс пуска ДПТ:  $I_a$  – ток якоря, полученный из модели двигателя,  $I_{ao}$  – ток якоря, построенный по оцененным параметрам

так, чтобы ее решение могло быть закодировано в виде вектора генов (генотипе), где каждый ген может быть представлен числом, либо набором бит. При этом ГА работают с популяцией - совокупностью особей, каждая из которых представляет собой возможное решение поставленной задачи.

Первое поколение создается произвольным образом из случайно выбранных особей – решений. Оценивание приспособленности особей заключается в расчете целевой функции (функции приспособленности) для каждой особи этой популяции, в результате чего получаем некие численные значения, зависящие от точности решения. Особи с меньшей приспособленностью имеют меньшую вероятность передачи своих генов следующему поколению в процессе скрещивания.

Таким образом, малоподходящие решения в процессе эволюции будут постепенно исчезать, а хорошие гены, наоборот – распространятся по всей популяции.

Выбор родителей (селекция) осуществляет отбор особей в соответствии со значениями их функции приспособленности для дальнейшего создания новой популяции. Оператор скрещивания осуществляет обмен генами между двумя особями одной популяции, разрывая генотип родителей в одной или нескольких точках, затем склеивая соответствующие сегменты различных родителей с получением генотипов двух потомков. Оператор мутации совершает стохастическое изменение части генотипа с заданной вероятностью.

Полученные генотипы образуют новую популяцию, которая также подвергается селекции и

действию генетических операторов. Если новое поколение содержит решение достаточно близкое к ответу, то задача считается решенной. Таким образом, работа ГА представляет собой итерационный процесс, который продолжается до тех пор, пока не будет достигнуто заданное значение какого-либо выбранного критерия.

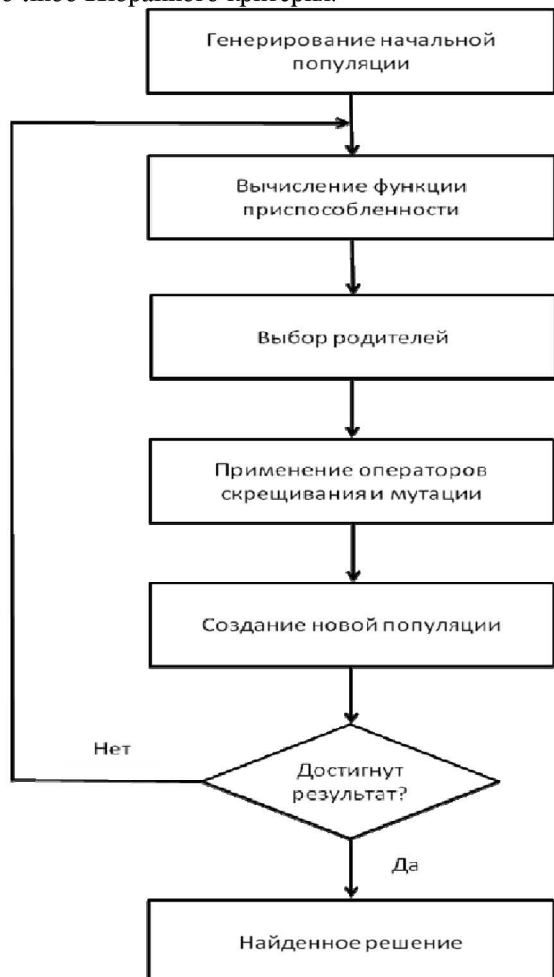


Рис. 4. Блок схема генетического алгоритма

Нами была проведена проверка возможности поиска значений параметров ДПТ с помощью генетических алгоритмов. В качестве особей ис-

пользовались комбинации электрических параметров ДПТ – активных и индуктивных сопротивлений обмоток якоря и возбуждения. Функция приспособленности определялась разностью между выходными сигналами модели и реального двигателя при одинаковых входных воздействиях в виде

$$Fitness_j = \frac{\sum_{j=1}^M f(\Delta)}{f_j(\Delta)},$$

где  $M$  – количество особей в популяции.

Для селекции был использован метод рулетки, в котором размер  $j$ -го сектора зависит от функции приспособленности  $j$ -ой особи. Чем меньше разность между выходными сигналами  $f_i(\Delta)$  конкретного решения, тем выше функция приспособленности и, следовательно, большая вероятность передачи генов в следующее поколение.

Для предотвращения сходимости алгоритма в локальный экстремум используется оператор мутации. Критерием останова работы алгоритма могут являться разные условия, в нашем случае – это достижение заданного количества поколений. Начальную популяцию можно инициализировать любыми числами, но разумнее генерировать числа в некотором диапазоне, который определяется физическими свойствами данного электродвигателя. Результаты компьютерного моделирования ДПТ и работы алгоритма оценивания параметров приведены в табл. 2, 3 и рис. 5,6.

Анализ результатов исследования показывает, что генетические алгоритмы также могут быть использованы для оценивания параметров ДПТ, при этом относительная погрешность оценивания не превышает 15%. Таким образом, использование поисковых алгоритмов для контроля состояния ДПТ позволяет получать оперативную информацию, которая может быть использована для диагностики и защиты электроприводов от аварийных режимов работы.

Таблица 2

Число поколений	Параметры модели	Rв, Ом	Лв, Гн	RяΣ, Ом	ЛяΣ, Гн
		185	50	3.5	0.02
1000	Оцененные параметры	171.28	53.16	3.49	0.024
10000	Оцененные параметры	187.8	48.38	3.501	0.0229

Таблица 3

Число поколений	Относительная погрешность, %			
	ΔRв	ΔЛв	ΔRяΣ	ΔЛяΣ
1000	7.42	6.32	0.29	20
10000	1.5	3.24	0.03	14.5



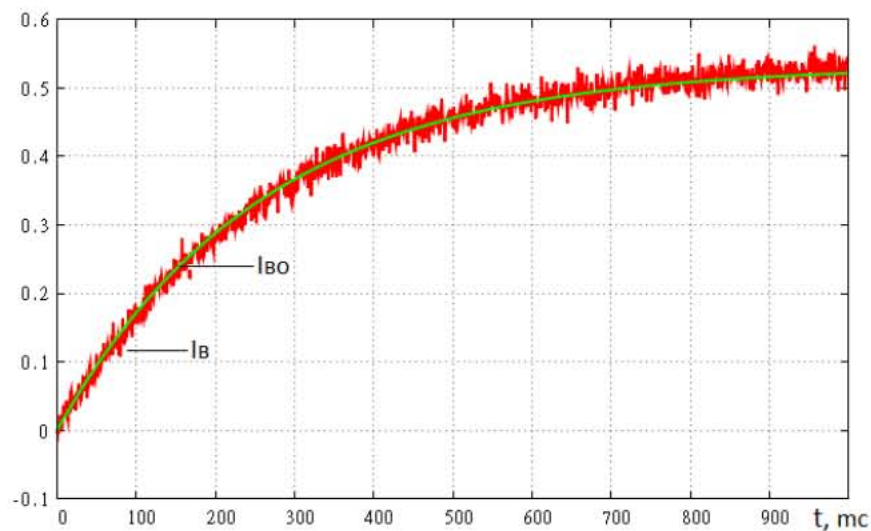


Рис. 5. Переходной процесс пуска ДПТ:  $I_v$  – ток возбуждения, полученный из модели двигателя,  $I_{vo}$  – ток возбуждения, построенный по оцененным параметрам

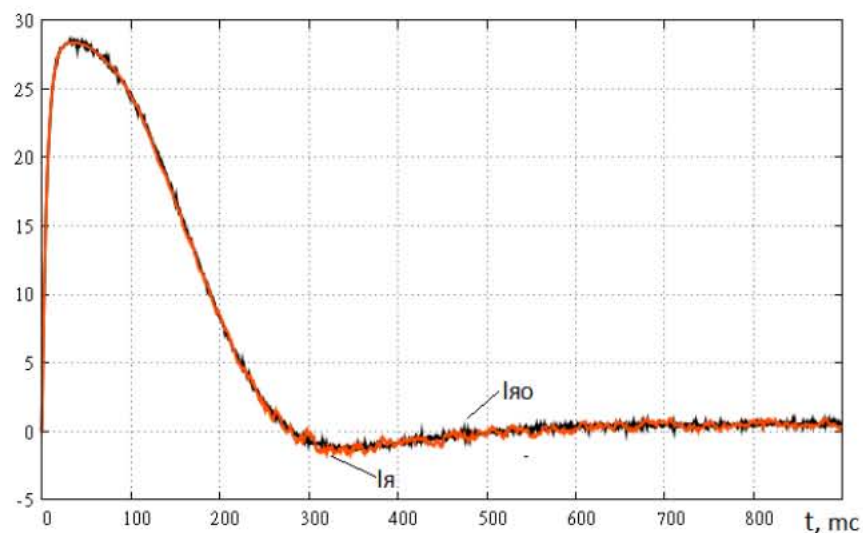


Рис. 6. Переходной процесс пуска ДПТ:  $I_я$  – ток якоря, полученный из модели двигателя,  $I_{яo}$  – ток якоря, построенный по оцененным параметрам

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каширских В.Г. Динамическая идентификация параметров и управление состоянием электродвигателей приводов горных машин [текст]: Диссертация на соискание учен. степени д-ра техн. наук. – Кемерово, 2005.
2. Ключев В.И. Теория электропривода: Учеб. для вузов. – 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 2001. – 704 с.
3. Нестеровский А.В. Оперативная идентификация асинхронных электродвигателей в составе электропривода промышленных установок [текст]: Диссертация на соискание учен. степени канд. техн. наук. – Кемерово, 2005.

↑ Авторы статьи

Гаргаев  
Андрей Николаевич, аспирант кафедры электропривода и автоматизации КузГТУ.  
E-mail: andrei345@yandex.ru

Каширских  
Вениамин Георгиевич, докт. техн. наук, профессор каф. электропривода и автоматизации КузГТУ.  
E-mail: [kvg@kuzstu.ru](mailto:kvg@kuzstu.ru)