

Краткие сообщения

УДК 681.51

ТОЧНОСТЬ ИДЕНТИФИКАЦИИ УПРАВЛЯЮЩИХ ДЕЙСТВИЙ ЧЕЛОВЕКА-ОПЕРАТОРА ЛИНЕЙНЫМИ МОДЕЛЯМИ

А.А. Абросимов, П.М. Зуев

Самарский государственный технический университет
Россия, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

Рассматриваются результаты исследований по оценке точности идентификации передаточной функции человека-оператора в режиме преследующего слежения с применением линейных моделей. Рассмотрены три линейные модели, проведены экспериментальные исследования процедуры идентификации на выборке испытуемых. По результатам экспериментальных исследований найдены численные оценки точности идентификации по двум показателям: модулю среднего отклонения и модулю максимального отклонения. Выявлена возможность объединения рассматриваемых моделей. Установлено, что точность идентификации по модулю среднего отклонения выше, чем точность идентификации по модулю максимального отклонения. Монотонные переходные процессы идентифицируются более точно, чем колебательные. Сформулированы предложения для повышения точности идентификации колебательных переходных процессов.

Ключевые слова: человек-оператор, режим преследующего слежения, передаточная функция, линейные модели, точность идентификации, показатели точности, численные оценки.

Несмотря на очень широкое применение систем автоматического управления, которые решают поставленную задачу без непосредственного участия человека, существуют системы, в контуре управления которых присутствует человек-оператор. Для решения задач анализа и синтеза таких систем управления необходимо знать динамические характеристики человека-оператора.

Известны различные типы моделей, применяемых для описания управляющих действий человека-оператора [1]. Каждый тип модели способен учитывать лишь некоторые черты реального поведения человека-оператора в процессе работы в составе системы управления.

В [2] приведен анализ показателей качества структур с человеком-оператором в контуре управления с применением линейной модели человека-оператора при выполнении им управляющей деятельности в режиме преследующего слежения. Особенностью рассмотренной модели является то, что расчет параметров модели проводился по переходной функции, которая является результатом усреднения по десяти реализациям [3]. В результате усреднения

Альберт Александрович Абросимов (к.т.н., доц.), доцент кафедры «Автоматика и управление в технических системах».

Павел Михайлович Зуев, магистрант.

переходная функция получается монотонной или малоколебательной и хорошо соответствует последовательному соединению линейного звена второго порядка и звена с запаздыванием.

В реальных условиях у человека-оператора наблюдается значительный разброс управляющих реакций на предъявление возмущающего воздействия. Один и тот же человек-оператор может реагировать различным образом, включая реакции с большим перерегулированием. В таких условиях усредненная переходная функция может существенно отличаться от единичной реакции. Поэтому была поставлена задача синтеза и экспериментальной проверки модели, дающей наилучшее приближение не к усредненной, а к единичной реакции человека-оператора.

Были рассмотрены три линейные модели [4].

Модель № 1 имеет передаточную функцию

$$W_1(p) = \left(k_1 + \frac{k_2}{p} + \frac{k_3 p}{T p + 1} \right) e^{-p\tau}, \quad (1)$$

где k_1, k_2, k_3 – коэффициенты передачи; T – постоянная времени; τ – время запаздывания.

Модель № 2 имеет передаточную функцию

$$W_2(p) = \left(\frac{1}{T p + 1} + k \frac{p}{T p + 1} \right) e^{-p\tau}, \quad (2)$$

где k – коэффициент передачи; T – постоянная времени; τ – время запаздывания.

Модель № 3 имеет передаточную функцию

$$W_3(p) = \left[k \left(\frac{1}{T_1 p + 1} + k_1 + \frac{k_2 p}{T_2 p + 1} \right) + \frac{k_3}{p} \right] e^{-p\tau}, \quad (3)$$

где k, k_1, k_2, k_3 – коэффициенты передачи; T_1, T_2 – постоянные времени; τ – время запаздывания.

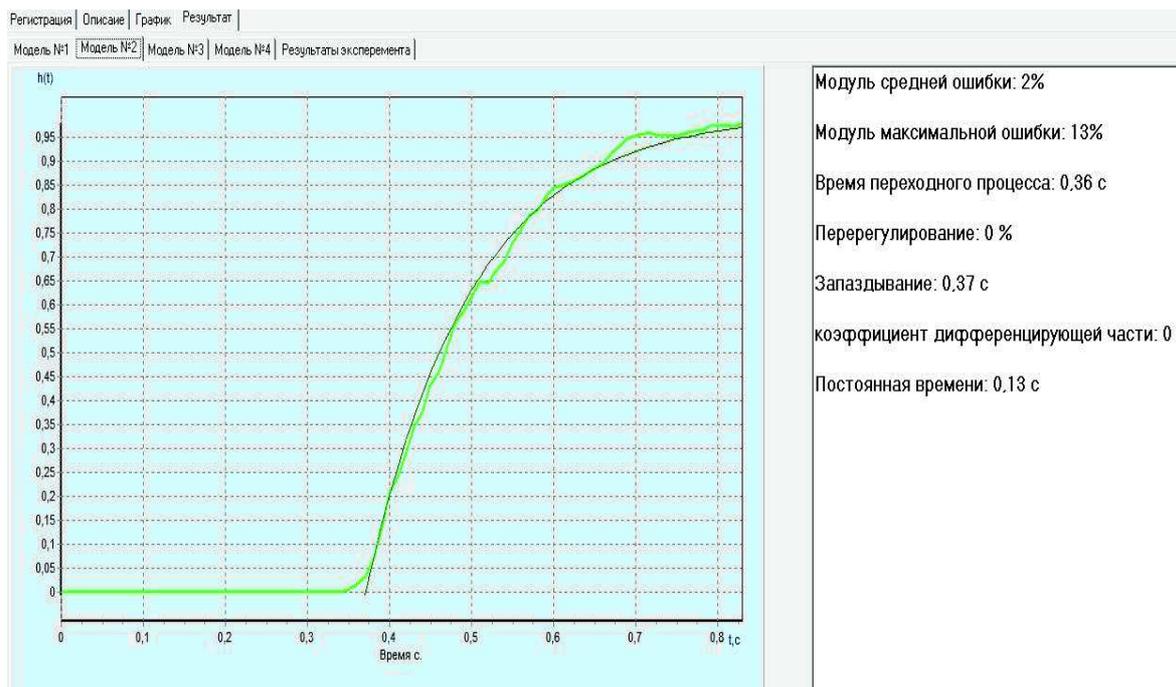
Во всех моделях присутствует звено запаздывания, последовательно соединенное с линейной частью, которая представляет собой параллельно соединенные типовые звенья первого порядка.

Параметры моделей рассчитывались методом Гаусса – Зайделя по минимуму среднего модуля отклонения аналитической переходной функции от экспериментальной переходной функции, зарегистрированной как управляющие действия человека-оператора на предъявление единичного ступенчатого воздействия в режиме преследующего слежения [2]. Аналитическая переходная функция определяется по передаточной функции соответствующей модели.

Первая и третья модели содержат интегрирующее звено, поэтому с их применением идентификацию можно проводить только на ограниченном интервале времени, в качестве которого принято время переходного процесса.

Разработано программное обеспечение, позволяющее определять параметры передаточной функции методом активной компьютерной идентификации [4], причем одна и та же реакция человека-оператора обрабатывается по всем трем моделям. Пример результата идентификации представлен на рисунке.

По каждой модели рассчитываются все параметры передаточной функции, прямые показатели качества процесса управления и два показателя точности идентификации – модуль средней ошибки (МСО) и модуль максимальной ошибки (ММО) в переходном процессе. Из примера, представленного на рисунке, видно, что максимальная ошибка наблюдается в течение короткого времени.



Пример идентификации и ее результаты

С применением разработанной программы выполнены экспериментальные исследования по определению статистических оценок параметров приведенных выше моделей на выборке из 41 испытуемого по указанным выше показателям точности [5].

В табл. 1 приведены числовые характеристики показателей качества переходных процессов, полученные в результате статистической обработки результатов эксперимента.

Таблица 1

Числовые характеристики показателей качества переходных процессов

Тип величины	Время запаздывания, с	Время регулирования, с	Перерегулирование, %
Минимальные	0,24	0,15	0
Максимальные	0,43	0,95	56
Средние	0,3	0,42	6

В табл. 2, 3, 4 приведены числовые характеристики показателей точности идентификации соответственно для первой, второй и третьей модели.

По данным таблиц видно, что по средней величине модуля среднего отклонения наибольшей точностью обладают модели № 1 и № 3, модель № 2 имеет несколько меньшую точность. По средней величине модуля максимального отклонения наибольшей точностью обладает модель № 3. Нетрудно выполнить сравнение точности идентификации моделей и по минимальным и максимальным величинам модулей среднего и максимального отклонений. В целом модель № 3 имеет лучшие показатели по сравнению с моделями № 1 и № 2 по средним величинам модулей среднего и максимального отклонений.

Таблица 2

Числовые характеристики показателей точности идентификации и параметров передаточной функции модели № 1

Тип величин	МСО, %	ММО, %	K_1	$K_2, 1/c$	K_3, C	T, c
Минимальные	2	5	0,92	-0,12	-0,35	0,31
Максимальные	18	57	1,18	0	-0,018	0,02
Средние	5	18	1,08	-0,17	-0,12	0,11

Таблица 3

Числовые характеристики показателей точности идентификации и параметров передаточной функции модели № 2

Тип величин	МСО, %	ММО, %	K	T, c
Минимальные	2	9	0,005	0,02
Максимальные	25	131	1,2	0,36
Средние	7	40	0,08	0,13

Таблица 4

Числовые характеристики показателей точности идентификации и параметров передаточной функции модели № 3

Тип величины	МСО, %	ММО, %	K	K_1	K_2, c	$K_3, 1/C$	T_1, c	T_2, c
Минимальные	1	5	0,66	-0,1	0,01	0	0,01	0,001
Максимальные	25	74	1,34	-0,1	0,123	0	0,233	0,187
Средние	4,95	11,66	1,06	-0,1	0,026	0	0,086	0,025

В процессе экспериментальных исследований было установлено, что в одной реализации величины модулей среднего и максимального отклонений зависят от типа переходного процесса: для монотонных процессов они меньше, для колебательных процессов больше. Поэтому все экспериментально полученные переходные процессы были разбиты на три типа: монотонные, переходные процессы с малой колебательностью, у которых величина перерегулирования не более 5 %, и колебательные переходные процессы, у которых величина перерегулирования более 5 %. Для каждого типа переходных процессов были определены оба показателя точности для всех моделей.

В табл. 5, 6, 7 приведены числовые характеристики показателей точности идентификации исследуемых моделей для указанных типов переходных процессов. По данным этих таблиц можно сделать следующие выводы.

1. Точность идентификации у всех моделей по показателю модуля среднего отклонения выше, чем по показателю модуля максимального отклонения.

2. Для монотонных переходных процессов минимальная величина модуля среднего отклонения составляет 1–2 %, максимальная величина составляет 8–11 %, средние величины этого показателя составляют 3–6 %. По этому показателю наилучшие результаты наблюдаются у модели № 3. Для этих же процессов аналогичные величины модуля максимального отклонения составляют соответ-

ственно 5–9 %, 26–50 % и 11–24 %, наилучшие результаты наблюдаются у модели № 3.

3. Для малоколебательных переходных процессов минимальная величина модуля среднего отклонения составляет 2–3 %, максимальная величина составляет 4–7 %, средние величины этого показателя составляют 4–6 %, по всем этим величинам наилучшие результаты наблюдаются у модели № 3. Аналогичные величины модуля максимального отклонения составляют соответственно 6–17 %, 17–54 % и 14–31 %, наилучшие результаты наблюдаются у модели № 3.

4. Для колебательных переходных процессов минимальная величина модуля среднего отклонения составляет 2–7 %, максимальная величина составляет 18–25 %, средние величины этого показателя составляют 8–12 %, по совокупности этих величин предпочтительнее является модель № 1. Аналогичные величины модуля максимального отклонения составляют соответственно 6–30 %, 57–131 % и 24–74 %, и по совокупности этих величин предпочтительнее является модель № 1, близкие показатели наблюдаются у модели № 3.

5. В целом точность идентификации колебательных переходных ниже по сравнению с точностью идентификации двух других типов процессов, точность идентификации монотонных и малоколебательных процессов приблизительно одинакова.

Таблица 5

Числовые характеристики показателей точности идентификации монотонных переходных процессов

Модель	№ 1			№ 2			№ 3		
	Мин.	Макс.	Средн.	Мин.	Макс.	Средн.	Мин.	Макс.	Средн.
МСО, %	2	9	3,93	2	11	5,93	1	8	3,29
ММО, %	5	26	13,57	9	50	23,79	5	29	10,71

Таблица 6

Числовые характеристики показателей точности идентификации малоколебательных переходных процессов

Модель	№ 1			№ 2			№ 3		
	Мин.	Макс.	Средн.	Мин.	Макс.	Средн.	Мин.	Макс.	Средн.
МСО, %	2	6	4,69	3	7	5,63	2	4	3,5
ММО, %	6	29	18,06	17	54	31,38	6	17	13,88

Таблица 7

Числовые характеристики показателей точности идентификации колебательных переходных процессов

Модель	№ 1			№ 2			№ 3		
	Мин.	Макс.	Средн.	Мин.	Макс.	Средн.	Мин.	Макс.	Средн.
МСО, %	3	18	7,64	7	25	12,27	2	25	9,18
ММО, %	9	57	24,27	30	131	74,36	6	74	28,27

В целом по проделанной работе можно сделать следующие выводы.

1. Получены численные оценки точности идентификации управляющих действий человека-оператора с применением трех линейных моделей.

2. Целесообразно упрощение модели № 3 с одновременным ее объединением с моделью № 2, для чего в модели № 2 необходимо иметь различные постоянные времени инерционного и реального дифференцирующего звеньев.

3. Установлено, что монотонные и малоколебательные управляющие действия применяемыми типами моделей идентифицируются с более высокой точностью, чем колебательные. Для повышения точности идентификации колебательных переходных процессов целесообразно применение линейных звеньев более высоких порядков.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Современная теория систем управления / Под ред. К.Т. Леондеса. Пер. с англ. – М.: Наука, 1970. – 512 с.
2. *Абросимов А.А.* Моделирование динамических характеристик человека-оператора // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. – 2010. – № 4 (27). – С. 6–9.
3. *Цибулевский И.Е.* Человек как звено системы управления. – М.: Наука, 1981. – 197 с.
4. *Транцев С.С.* Алгоритмическое и программное обеспечение оценки характеристик человека-оператора: выпускн. ... квал. раб. инжен.: 220201: защищена 20.06.14 / Транцев Сергей Сергеевич. – Самара, 2014. – 169 с.
5. *Зуев П.М.* Исследование показателей качества управляющих действий человека-оператора: выпускн. ... квал. раб. бакал.: 220400: защищена 26.06.15 / Зуев Павел Михайлович. – Самара, 2015. – 53 с.

Статья поступила в редакцию 25 марта 2016 г.

IDENTIFICATION ACCURACY OF CONTROLLED MAN-OPERATOR ACTIONS BY LINEAR MODELS

A.A. Abrosimov, P.M. Zuev

Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russian Federation

The research results on the evaluation of identification accuracy of transmitting man-operator functions are considered with the use of linear models. Three linear models are given. Experimental researches by checking the tested operators are offered. Two parameters are found: medium deflection and maximum deflection modules. The possibility of joining these models is revealed. The accuracy of identification on medium module is higher than that of the maximum deflection module. Monotonous transient processes are indented more accurate than irrational. The suggestions for rising the identification accuracy of irrational and transient processes are formulated.

Keywords: *human operator, transmission function, linear models, identification accuracy, precision indicators, numerical estimates.*

*Albert A. Abrosimov (Ph.D. (Techn.)), Associate Professor.
Pavel M. Zuev, Graduent Student.*