

this method and the iterative method, except for the values of the first angle. The proposed model proved to be faster by approximately 50 times than its counterpart method.

References

1. Capille J. W. Kinematic and Experimental Evaluation of Commercial Wheelchair-Mounted Robotic Arms. – Vol. 1. – Florida USA, 2010. – P. 179.
2. Craig J. J. Introduction to Robotics: Mechanisms and Controls, Addison-Wesley Company. – Vol. 2. – MA, 1989. – 450 p.
3. Lee G. C. S. Robot Arm Kinematics, Dynamics and Control, Computer. – Vol. 15. – Is. 12. – P. 62–79. – 1982.
4. Korein J. U., Balder N. I. Techniques for Generating the Goal-Directed Motion of Articulated Structures // IEEE Com-

puter Graphics and Applications. – 1982. – Vol. 2. – Is. 9. – P. 71–81.

5. Jang J. R., Sun C., Mizutani E. Neuro-Fuzzy and Soft Computing. – Vol. 1. – Japan : Prentice Hall, 1997.

6. Jang J. R., Sun C., Mizutani E. Neuro-Fuzzy Modeling and Control // Proc. of IEEE. – 1995. – Vol. 83. – Is. 3. – P. 378–406.

7. Jang R. ANFIS: Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference Systems // IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetic. – 1993. – Vol. 3. – P. 665–685.

8. Kumar C., Sudha K., Pushpalatha D. V. Modeling and Control of 5DOF Robot Arm Using Neuro-Fuzzy Controller // International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT). – 2012. – Vol. 1. – Is. 7. – P. 1–8.

9. Spong M. W., Hutchinson S., Vidyasagar M. Robot Modeling and Control. – United States : Addison-Wesley Company, 2005. – Vol. 1. – 496 p.

И. Н. Ибрагим, магистр, Университет Аль Баас, Сирия

М. А. Аль Аккад, кандидат технических наук, доцент, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

Совершенствование процесса решения обратной кинематической задачи на основе модели нейронной нечеткой логики

Целью данной работы является улучшение контроля многозвенных роботов на основе нейронной сети с архитектурой ANFIS. Прежде всего предлагается база данных и алгоритм для обучения. Для построения базы данных для обучения используется определенное рабочее пространство. Затем находят углы в сочленениях, которые позволяют захватному устройству робота получить доступ к желаемым позициям. Рассматривается манипулятор робота с шестью степенями свободы типа iARM, установленный на инвалидных колясках, который используется, чтобы помочь людям с ограниченными возможностями выполнять конкретные задачи.

Ключевые слова: нечеткая логика, искусственные нейронные сети, обратная кинематическая задача, манипуляторы, ANFIS.

УДК 672.1

С. С. Суханцев, аспирант, Пермский государственный гуманитарно-педагогический университет

М. Б. Гитман, доктор физико-математических наук, профессор, Пермский национальный исследовательский политехнический университет

ПЛАНИРОВАНИЕ ДИСКРЕТНОГО ПРОИЗВОДСТВА В УСЛОВИЯХ НЕПОЛНОТЫ ИНФОРМАЦИИ*

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

Ключевые слова: планирование производства, неполнота информации, метод Заде.

Процесс планирования и перепланирования дискретного производства является сложной и трудоемкой задачей. Решению этой задачи посвящен целый ряд исследований, например, работы [1, 2, 3, 4]. Однако современные системы, работающие на алгоритмах MRPII [5, 6], используют только точную, дискретную информацию. Описание же реального процесса обычно осуществляется в условиях неполноты исходной информации. Попытки описания процесса планирования производства в условиях неполноты исходной информации представлены в работах [1, 4].

При этом особый интерес вызывает процесс перепланирования производства в условиях неполноты информации.

Предположим, что предприятию необходимо произвести определенное количество различных изделий к определенному сроку. При планировании с помощью ERP-систем [5] можно полагаться только на информацию, которая представлена в цифровом виде: технологический маршрут, загруженность рабочих центров, спецификация и т. д. Такой подход не может учитывать мнение экспертов, а также возможные возмущения системы [7].

© Суханцев С. С., Гитман М. Б., 2014

Получено 21.02.14

* Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (договор № 02.G25.31.0068 от 23.05.2013г. в составе мероприятия по реализации постановления Правительства РФ № 218).

В алгоритме планирования с использованием нечетких множеств [8] можно соединить экспертное мнение и алгоритмы информационных систем [9]. При этом в основу положено множество всех возможных вариантов производства определенного вида продукции на имеющихся рабочих центрах. В качестве целевой функции можно выбрать функцию затрат при производстве заданного количества изделий. Необходимо минимизировать эту функцию. Рассмотрим этот алгоритм более подробно.

Предположим, что предприятию необходимо выпустить z_1, z_2, \dots, z_n различных изделий к концу месяца. При этом предприятие располагает y_1, y_2, \dots, y_l рабочими центрами. На каждом из рабочих центров можно произвести определенную часть необходимых нам изделий z_i . Обозначим эту часть как $x_i^j(t) / \mu(x_i^j)$ изделий, где t – время, которое необходимо потратить на производство x_i^j изделий, а $\mu(x_i^j) \in [0; 1]$ – функция принадлежности [10], где 0 показывает, что мы полностью удовлетворены производством x_i^j изделий за время t на y_l рабочем центре, а 1 – полностью не удовлетворены. Причем $z_i \leq \sum_{j=1}^l x_i^j$. Такое ограничение говорит о том, что мы

должны произвести не меньше необходимого нам количества изделий i -го типа на всех рабочих центрах.

Отметим, что каждое изделие z_i можем произвести различными способами. Все возможности сведены в матрицу, в которой соответствуют рабочим центрам, на которых можно произвести определенное количество необходимых изделий с соответствующей функцией принадлежности (удовлетворения):

$$\begin{bmatrix} x_1^1(t) / \mu(x_1^1) & x_2^1(t) / \mu(x_2^1) & \dots & x_l^1(t) / \mu(x_l^1) & | & c_1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & & \dots \\ x_1^i(t) / \mu(x_1^i) & x_2^i(t) / \mu(x_2^i) & \dots & x_l^i(t) / \mu(x_l^i) & | & c_i \end{bmatrix}$$

Каждому варианту планирования производства ставится в соответствие функция принадлежности, которая учитывает мнение эксперта о возможности и целесообразности этого варианта планирования. Используя свойства пересечений нечетких множеств [10], алгоритм находит наилучший вариант планирования, который выбирается из области пересечения всех допустимых вариантов планирования. Отметим, что этот вариант будет оптимальным как с точки зрения цены, так и с точки зрения экспертного мнения. Сортируем данные (в матрице записываем элементы от минимального к максимальному значению функции принадлежности для каждого столбца по очереди: $(x_{j-1}^i / \mu(x_{j-1}^i)) \leq (x_j^i / \mu(x_j^i)) \leq (x_{j+1}^i / \mu(x_{j+1}^i))$, $i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, l$).

Выбираем наименьшие затраты по стратегии: $c_l \rightarrow \min$, т. е. определяем номер соответствующей стратегии j^* .

Выборную стратегию j^* берем в качестве начальной для алгоритма.

Для каждого из рабочих центров находим наименьшее значение функции принадлежности, начиная со строки j^* и до первой строки матрицы планирования:

$$\bigcap_{j=1}^{j^*} (x_j^i / \mu(x_j^i)) \rightarrow \min \mu(x_j^i).$$

Предложенный алгоритм позволяет найти производственный план в условиях неполной информации и использует при этом намного меньшее число итераций, чем при полном переборе.

Следует отметить, что и процесс перепланирования производства [7] может осуществляться аналогичным способом с пересчетом возможных вариантов. Рассмотрим этот процесс более подробно.

Предположим, что в связи с поломкой k -го рабочего центра нам необходимо запустить процесс перепланирования. Процесс перепланирования осуществляется с использованием матрицы планирования без учета выбывшего из рассмотрения рабочего центра. При этом матрица будет выглядеть следующим образом:

$$\begin{bmatrix} x_1^1(t) / \mu(x_1^1) & \dots & x_{k-1}^1(t) / \mu(x_{k-1}^1) & x_{k+1}^1(t) / \mu(x_{k+1}^1) & \dots & x_l^1(t) / \mu(x_l^1) & | & c_1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & & \dots \\ x_1^i(t) / \mu(x_1^i) & \dots & x_{k-1}^i(t) / \mu(x_{k-1}^i) & x_{k+1}^i(t) / \mu(x_{k+1}^i) & \dots & x_l^i(t) / \mu(x_l^i) & | & c_i \end{bmatrix}$$

Если при условии вывода одного рабочего центра выполняется условие $z_i \leq \sum_{j=1}^l x_i^j$, тогда применяется

описанный выше алгоритм и находится новый производственный план для изделий z_i . В противном случае для процесса перепланирования вводится понятие удаленного рабочего центра. Удаленный рабочий центр представляет собой предприятие-конкурент, выпускающее аналогичные изделия. Конкуренту заказывается необходимое количество

изделий для того, чтобы соотношение $z_i \leq \sum_{j=1}^l x_i^j$ было справедливым.

При этом в матрице планирования добавляются столбцы с удаленным рабочим центром:

$$\begin{bmatrix} x_1^1(t) / \mu(x_1^1) & \dots & x_{k-1}^1(t) / \mu(x_{k-1}^1) & w_k^1(t) / \mu(w_k^1) & x_{k+1}^1(t) / \mu(x_{k+1}^1) & \dots & x_l^1(t) / \mu(x_l^1) & | & c_1 \\ \dots & & \dots \\ x_1^i(t) / \mu(x_1^i) & \dots & x_{k-1}^i(t) / \mu(x_{k-1}^i) & w_k^i(t) / \mu(w_k^i) & x_{k+1}^i(t) / \mu(x_{k+1}^i) & \dots & x_l^i(t) / \mu(x_l^i) & | & c_i \end{bmatrix}$$

В приведенном примере $w_k^i(t) / \mu(w_k^i)$ – количество необходимых нам изделий, произведенных на удаленном рабочем центре. Функция принадлежности показывает степень удовлетворения событием производства изделий на удаленном рабочем центре с затратами c_k .

Алгоритм планирования и перепланирования представлен в виде блок-схемы на рисунке.

Рассмотрим задачу перепланирования производства вагонных осей на примере одного из пермских металлургических предприятий.

На предприятии имеется один рабочий центр по производству заготовок вагонных осей.

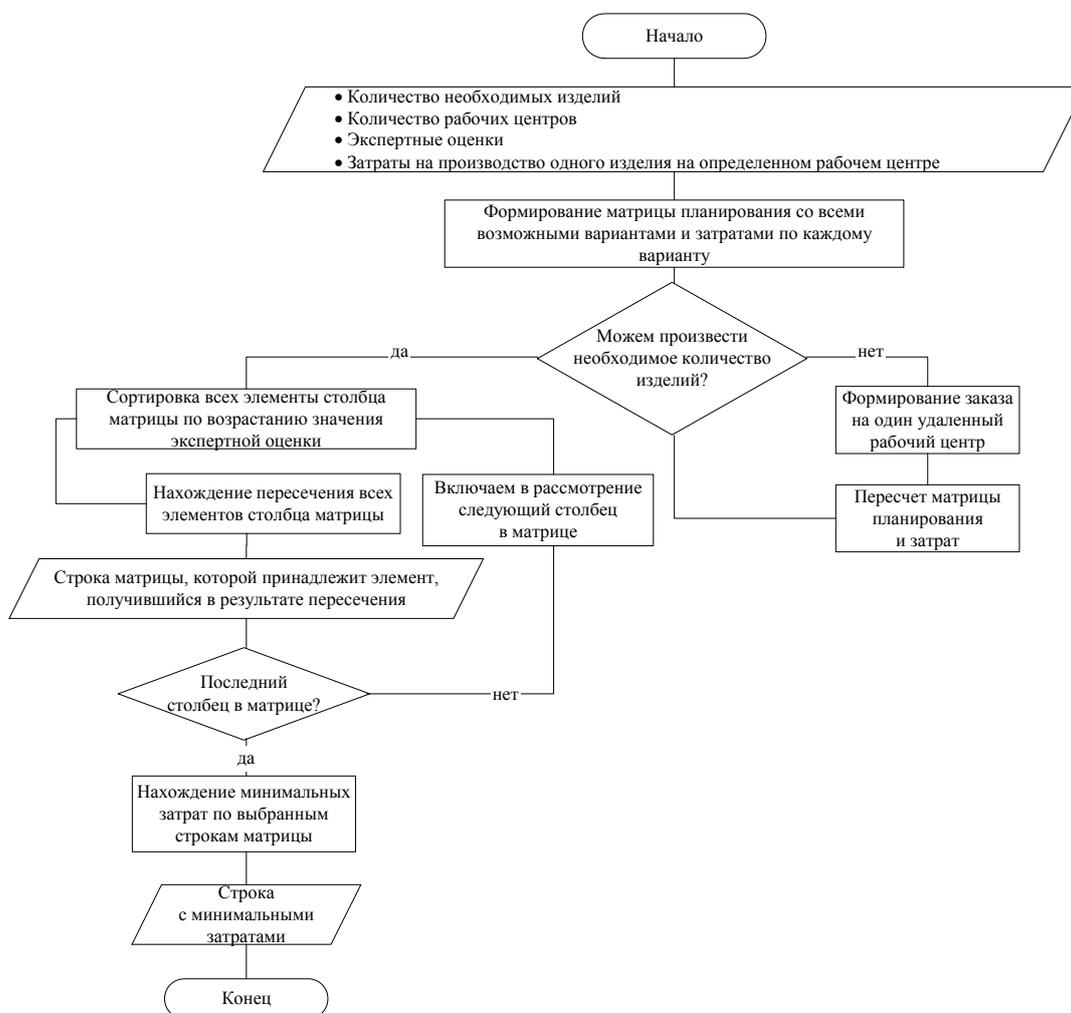
Стоимости заготовок вагонных осей определяют следующим образом:

- себестоимость заготовки на заводе равна 22 800 руб.;

- средняя стоимость заготовки на первичном рынке равна 24 500 руб.;

- средняя стоимость заготовки на вторичном рынке равна 31 230 руб..

В 2011 г. предприятие произвело 11 837 заготовок вагонных осей (табл. 1).



Алгоритм планирования и перепланирования дискретного производства

Таблица 1. Производство заготовок вагонных осей в 2011 г.

Месяц	Факт	Брак	Дополнительное количество на начало месяца месяц (брак из предыдущего месяца)	План	Процент брака
Январь	142	2	0	142	0,014084507
Февраль	579	12	2	577	0,020725389
Март	1260	83	12	1248	0,065873016
Апрель	988	20	83	905	0,020242915
Май	855	28	20	835	0,032748538
Июнь	1450	110	28	1422	0,075862069
Июль	1711	375	110	1601	0,219170076
Август	1673	317	375	1298	0,189479976
Сентябрь	1270	169	317	953	0,133070866
Октябрь	500	20	169	331	0,04
Ноябрь	1033	17	20	1013	0,016456922
Декабрь	228	0	17	211	0

Как следует из табл. 1, наиболее интересный месяц для рассмотрения задачи – это июль. В нем получено наибольшее число бракованных изделий. В июле отправляли оси на Алтай, в Тамбов и Тверь. До Тамбова и Алтая партии были без брака. До Твери остальные оси. Так как заказчик при обнаружении брака отправляет все бракованные изделия назад, то мы должны обеспечить заказчика в следующем месяце недостающим количеством вагонных осей, а именно 375 вагонными осями.

Решение производится для августа, необходимо поставить 375 дополнительных осей для Твери. К этому месяцу на складе находилось 33 заготовки. Таким образом, необходимо допроизвести 342 заготовки. В качестве временного параметра t выбирается одна смена.

Исходя из плана работ, в одну смену производство может произвести 82 заготовки в одной партии. Так как наиболее близкий поставщик – конкурент для Твери – завод в Люблино, то определим его как удаленный рабочий центр. Для точности решения будем учитывать расходы на транспортировку изделий до заказчика. Аренда одного грузового вагона обойдется в 4355 руб. В один вагон вмещается 40 заготовок. Определим новые функции принадлежности, которые для производства и снабжения будут выглядеть следующим образом (табл. 2).

Таблица 2. Значения функций принадлежности

Производство	
Количество дополнительных смен (количество заготовок)	Значение функции
0(0)	0
1(82)	0,25
2(164)	0,5
3(246)	0,75
4(328)	1
5(410)	1
Удаленный рабочий центр	
до 50	1
от 50 до 100	0,7
от 100 до 150	0,3
от 150 до 200	0
от 200 до 250	0,7
свыше 250	1

В табл. 3 представлены возможные варианты решения задачи.

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод о том, что наиболее приемлемыми будут следующие два варианта решения задачи:

1. Произвести 82 заготовки на предприятии и произвести 260 заготовок на удаленном рабочем центре, итоговая стоимость будет равна 10019885 руб.

2. Произвести 164 заготовки на предприятии и произвести 178 заготовок на удаленном рабочем центре, итоговая стоимость будет равна 9319915 руб.

Наиболее дешевым из двух вариантов является стратегия о двух дополнительных сменах и производстве в Люблино 178 заготовок.

Таблица 3. Варианты решения задач

Производство	Удаленный рабочий центр	Стоимость, руб.	Итого
(82/0,25)	(260/1)	$82 \cdot 22800 +$ $+ 260 \cdot 31230 +$ $+ 7 \cdot 4355$	10019885
(164/0,5)	(178/0)	$164 \cdot 22800 +$ $+ 178 \cdot 31230 +$ $+ 5 \cdot 4355$	9319915
(246/0,75)	(96/0,7)	$246 \cdot 22800 +$ $+ 96 \cdot 31230 +$ $+ 3 \cdot 4355$	8619945
(328/1)	(14/1)	$328 \cdot 22800 +$ $+ 14 \cdot 31230 +$ $+ 1 \cdot 4355$	7919975
(410/1)	(0/0)	$410 \cdot 22800 +$ $+ 0 \cdot 31230 +$ $+ 0 \cdot 4355$	9348000

Вывод. Предложенный подход позволяет планировать и перепланировать производственный план в условиях неполной исходной информации и использовать при этом меньшее число итераций, чем в алгоритме с полным перебором.

Библиографические ссылки

1. *Вожжаков А. В., Гитман М. Б.* Модель календарного планирования с нечеткими ограничениями // Вестник Магнитогорского гос. тех. ун-та им. Г. И. Носова. – 2008. – № 4. – С. 79–82.
2. *Елисеев А. С., Гитман М. Б., Суханцев С. С.* Оценка устойчивости производственного плана с учетом стохастичности ресурсных ограничений // Управление большими системами. – 2013. – Вып. 42. – С. 257–272.
3. *Елисеев А. С., Федосеев С. А., Гитман М. Б.* К вопросу об устойчивости системы контроля качества на предприятии // Вестник Магнитогорского гос. тех. ун-та им. Г. И. Носова. – 2011. – № 2(34). – С. 34–36.
4. *Федосеев С. А., Вожжаков А. В., Гитман М. Б.* Модель календарного планирования производства с нечеткими целями и ограничениями // Системы управления и информационные технологии. – 2009. – № 3(37). – С. 21–24.
5. *Питеркин С. В., Оладов Н. А., Исаев Д. В.* Точно вовремя для России. Практика применения ERP-систем. – Альпина Бизнес Букс, 2006. – 368 с.
6. *Гаврилов Д. А.* Управление производством на базе стандарта MRPII. – СПб. : Питер, 2003.
7. *Козловский В. А.* Производственный менеджмент – М. : Инфра-М, 2003. – 573 с.
8. *Елисеев А. С., Суханцев С. С.* К вопросу устойчивости производственного плана. Управление большими системами // Материалы IX Всерос. шк.-конф. молодых ученых. – Т. 2. – Тамбов ; Липецк : Изд-во Першина Р. В., 2012. – 238 с.
9. *Новиков Д. А.* Теория управления организационными системами. – М. : МПСИ, 2005. – 584 с.
10. *Заде Л. А.* Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений – М. : Мир, 1976. – 168 с.

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