

Список использованных источников

1. Градецкий В. Г. Роботы вертикального перемещения / В. Г. Градецкий, М. Ю. Рачков. – М.: Тип. Мин. образования РФ, 1997. – 223 с.
2. Рачков М. Ю. Системы приводов технологических роботов вертикального перемещения: автореф. дис. ... д.т.н. /М. Ю.Рачков – М.: Институт проблем механики РАН, 1997. – 16 с.
3. Дышенко В. С. Исследование динамики мобильного робота для перемещения по вертикальным поверхностям: дис. ... к.т.н. / В. С. Дышенко/ – Курск: КГТУ, 2006. –135 с.
4. Авторское свидетельство СССР № 2068362 МПК В62D57/032. Транспортное средство / заяв. 28.06.1989; опубл. 27.10.1996.
5. International Journal of Engineering Research and General Science Volume 2, Issue 3, April-May 2014. ISSN 2091-2730. Developments in Wall Climbing Robots: A Review / Raju D. Detha, S. B. Jaju; p. 37, Fig .6.
6. Патент RU 2057046 МПК В 62D 57/032. Мобильный шагающий робот / заяв. 09.03.1992; опубл. 27.03.1996.

УДК 681.5

В. Н. Смолий

**ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ
ЭЛЕКТРОННЫХ АППАРАТОВ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ
И УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

Аннотация. Разработаны вибромеханические и тепловые математические модели электронных аппаратов, которые позволяют учитывать свойства и взаимодействие составляющих типовых элементов замены и моделируют виброустойчивость печатных плат и компонентов в условиях технологического процесса их производства.

Ключевые слова: электронный аппарат, транспортный объект установки, технологический процесс производства, статистическая выборка, метод группового учета аргумента, автоматизированное управление, поддержка принятия решения, лицо принимающее решение.

Введение

Рассматривая компьютерно-интегрированное производство электронных аппаратов, следует отметить, что произвести изделие с заданными параметрами и компоновкой, а тем более отвечающее заданным свойствам качества, надежности и резонансной устойчивости, не просто, хотя эту задачу необходимо решить, к тому же наложив ограничения на качественно-технические характеристики самого процесса производства. До настоящего времени для иерархии электронных аппаратов не сформулирован общий критерий компоновки элементов, позволяющий учесть механические (вибрационные, ударные, резонансные явления и эффекты, возникающих в ходе эксплуатации аппаратуры) воздействия, анализирующий схемотехнические, конструкторские, геометрические, тепловые и др. факторы и позволяющий интеллектуально идентифицировать задачу подстройки под условия эксплуатации электронного аппарата, предвидеть перегрузки и прогнозировать поведение исследуемого объекта во времени. Также отсутствует тенденция системного анализа рассматриваемой проблемы повышения надежности выпускаемого изделия при одновременном выполнении условий минимизации материально-технических затрат на производство. Поэтому разработка и исследование автоматизированной системы управления, решающей поставленные задачи для производства электронного аппарата, является актуальной и одновременно очень сложной [1, 3].

Выделяя в управлении технологическим процессом производства электронного аппарата детерминированную и стохастическую составляющие, следу-

© В. Н. Смолий

ет к особенностям детерминированной постановки задачи отнести решение последовательных задач обеспечения частных параметров качества изготавливаемого изделия. Данная задача решается, но особый интерес представляет именно стохастическая составляющая, которая предполагает формирование экспериментально-статистических зависимостей для модели управления между входными (состояния, возмущения и управления), рассчитываемыми, почерпнутыми из литературных источников и полученными на производстве и систематизированными для последующей обработки, и выходным параметром для исследуемой системы. Поэтому особое внимание следует уделить вопросам построения функциональных зависимостей для управляющих воздействий и выходного сигнала рассматриваемой автоматизированной системы управления.

Основное содержание и результаты работы

Непосредственно решение задачи построения математической модели объекта управления – технологического процесса производства электронных аппаратов, включая формирование математического описания, проведение экспериментальных исследований по проверке адекватности и формирование программно-технических комплексов для моделирования механических нагрузок блоков электронных аппаратов и их составляющих приведено в [1]. Здесь проиллюстрирован также механизм идентификации свойства эмерджентности рассматриваемой системы на основании математического аппарата обнаружения и моделирования эффекта резонансного взаимодействия электрорадиоэлементов с печатной платой. Обобщение результатов моделирования и формирование на их основе подсистемы моделирования предлагаемой автоматизированной системы управления производством электронного аппарата проиллюстрировано в [2]. Работы [3] и [4] решают вопросы построения системы управления рассматриваемым технологическим процессом производства и внедрения полученных результатов в учебный процесс при изложении профессионально ориентированных дисциплин. В частности, для решения задачи оптимального управления рассматриваемым технологическим процессом, в работах предлагается внести модификацию в существующий процесс производства. Подобного рода внедрение влечет за собой необходимость обоснования эффективности предпринимаемых попыток на основании механизмов исследования выгод и издержек, что возможно путем применения метода анализа иерархий [5], [6]. Выгоды и издержки носят экономический и управленческий характер [7]. В частности примером экономических выгод выступает экономия средств за счет исключения отбраковок,

экономических издержек – затраты на обучение персонала, управленческих выгод – формализация знаний и опыта экспертов, управленческих издержек – необходимость согласования выдаваемых системой рекомендаций с предполагаемым технологическим процессом производства. Содержание работ [5], [6] и [7] напрямую связано с решением задачи корреляции параметров технологического процесса в единый показатель его качества путем формирования функционала эффективности внедрения модификации в существующий технологический процесс производства на основании метода анализа иерархий.

В работе [8] показано применение метода группового учета аргумента для формирования и исследования функциональной взаимосвязи между критерием качества рассматриваемого технологического процесса и его вероятностными параметрами и характеристиками, систематизация которых позволит формализовать процесс принятия решений в процессе производства и составить алгоритмы функционирования системы поддержки принятия решений в производстве электронных аппаратов.

Работы [9] и [10] касаются непосредственно обобщения полученных моделей управления производством электронных аппаратов различного назначения, объекта установки и условий эксплуатации. В основе интеграции лежат логико-трансформационные правила преобразования информации, на основании которых была построена фреймовая модель представления знаний в общей схеме системы поддержки принятия решений для производства электронного аппарата. Модель является фреймовой исходя из того, что в цикле производства, опираясь на лицо принимающее решение, в системе поддержки принятия решений вырабатываются рекомендации по содержанию и последовательности выполнения управляющих воздействий, направленных на технологический объект. Данные рекомендации выдаются на основании результатов функционирования вычислительных блоков моделей управления для производства электронного аппарата конкретного назначения.

Целью данной статьи является построение модели управления производством транспортного электронного аппарата путем решения задачи формирования стохастической модели влияния параметров управления и состояния на выходные параметры процесса производства методом группового учета аргумента.

Для технологического процесса производства электронных аппаратов различного назначения было выделено тридцать один вид управляющих воздействий [8], поэтому необходимо выяснить какие из них для транспортного объекта являются входными, возмущающими или управляющими. Рассматривая задачу

управления производством электронного аппарата, было обработано тридцать один цикл производства для транспортного исполнения электронного аппарата. Данные выборки были поделены на обучающую и проверочную [3, 7–12]. Согласно методу группового учета аргумента, описания первого ряда строились на всем ряду управляющих воздействий для объема обучающей выборки равной двадцати и объеме проверочной выборки составляющей десять исходов. Для каждой пары претендентов решается задача минимизации ошибки частного описания квадратичного типа методом наименьших квадратов. Для каждой пары претендентов определяются коэффициенты частного описания квадратичного типа и функция ошибки. Полученные данные для обучающей и проверочной выборок при производстве транспортного электронного аппарата имеют вид, приведенный в табл. 1 и табл. 2 соответственно.

Таблица 1

Обучающая выборка управляющих воздействий для транспортного электронного аппарата

№шт	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
0	10	8	9	10	8	3	5	4	1	7	2	3	4	2	3	2	3	1	3	4	7	3	6	4	6	5	8	4	5	7	4
1	8	8	8	9	6	4	6	3	2	6	3	4	4	2	3	0	4	0	4	3	6	3	6	3	6	5	9	4	5	8	3
2	9	7	8	10	7	5	4	4	3	8	1	2	3	1	4	1	3	2	3	3	8	4	5	4	7	4	8	3	6	7	4
3	9	9	8	8	7	3	4	4	0	7	1	4	4	1	2	2	3	1	2	4	7	3	6	3	6	5	8	4	4	7	3
4	8	8	9	9	6	4	5	5	1	8	3	2	3	1	2	3	4	1	3	5	8	4	7	2	6	5	8	5	5	8	5
5	10	9	7	9	8	4	5	5	2	8	2	3	4	2	3	2	3	2	4	3	6	3	7	3	7	4	9	4	6	7	4
6	10	9	8	8	9	3	6	3	3	6	3	4	5	3	4	2	4	1	3	4	7	3	6	3	6	5	7	5	5	7	3
7	8	9	10	8	8	3	4	4	2	7	2	3	3	3	3	2	3	2	3	3	8	2	6	4	7	4	8	3	5	8	4
8	9	9	9	10	9	3	5	5	1	6	3	4	4	2	2	2	4	1	3	4	7	4	7	3	5	4	8	4	5	9	3
9	10	8	8	10	7	4	4	4	2	7	2	2	3	2	3	3	3	1	2	4	8	3	5	4	5	5	9	3	4	7	4
10	10	8	9	9	7	3	5	4	3	8	1	2	5	2	4	2	4	2	3	3	6	3	6	3	6	4	9	4	5	6	6
11	9	9	8	8	6	5	5	5	1	6	3	4	5	3	4	1	4	0	3	4	7	4	7	4	7	4	8	5	5	8	4
12	9	7	9	9	8	5	6	4	1	7	2	3	4	1	3	2	3	1	3	4	8	3	7	3	5	5	8	4	4	8	4
13	8	7	10	9	8	3	5	3	2	6	2	3	3	1	3	1	3	1	2	3	8	3	6	2	5	5	9	4	5	7	3
14	9	8	8	10	7	3	4	4	3	6	3	2	4	2	3	1	4	0	3	4	7	3	5	4	6	4	7	4	5	7	4
15	10	7	9	10	6	5	5	4	2	8	3	4	4	2	4	2	3	2	3	3	8	4	5	3	5	7	8	4	5	7	3
16	10	7	9	9	7	5	5	5	2	7	2	4	3	3	2	2	4	2	4	4	6	3	6	4	4	5	8	3	6	8	5
17	9	7	9	9	8	4	6	5	2	7	2	3	5	2	2	2	4	1	3	4	7	4	6	3	6	4	9	5	5	7	4
18	9	8	8	8	8	3	6	4	3	8	3	3	5	1	3	1	4	1	3	3	8	3	5	4	6	5	7	5	5	6	5
19	8	9	9	9	7	3	5	4	1	6	3	4	4	2	3	3	2	3	3	7	3	6	2	5	5	8	3	6	6	4	

Для каждого из анализируемых объектов выходной сигнал не должен превышать величину функционала эффективности внедрения модификации в существующий процесс производства электронных аппаратов [6], иначе теряется смысл внедрения модификации в существующий технологический процесс производства электронного аппарата. В табл. 1 и 2 сведены полученные на производстве, из литературных источников и в процессе моделирования с помощью предложенных в [1] программно-технических комплексов моделирования механических нагрузок электронных аппаратов и их составляющих эмпирические за-

висимости между видом управляющего воздействия и количеством итераций его выполнения при улучшении параметров и компоновки производимого изделия. Данные зависимости являются исходными при формировании и исследовании функциональных зависимостей между видом воздействующих факторов (для рассматриваемого автоматизированного управления непосредственно управляющих воздействий на технологический объект управления) и параметрами технологического процесса производства электронных аппаратов. Для каждого набора выборок (табл. 1 и табл. 2) были определены текущие значения функционала эффективности, оценивающие эффективность данного рода управляющих воздействий для процесса производства электронного аппарата. Эти значения составляют обучающую и проверочную выборки для выходных сигналов рассматриваемого автоматизированного управления процессом производства электронных аппаратов.

Таблица 2

Проверочная выборка управляющих воздействий для транспортного электронного аппарата

№шт	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
0	9	8	10	7	7	4	6	3	1	7	4	4	5	3	4	3	1	4	3	3	8	4	7	3	5	4	8	4	6	7	5
1	8	9	10	7	6	5	7	2	0	8	5	3	6	2	3	2	2	3	2	4	7	5	8	3	4	3	8	5	7	8	4
2	8	9	9	7	8	6	8	3	0	7	3	3	5	2	4	3	3	2	3	7	6	7	2	6	4	8	4	7	9	5	
3	9	10	10	8	7	4	7	3	1	7	4	4	6	4	5	4	2	4	3	4	9	6	7	2	5	3	9	4	6	8	5
4	7	8	8	9	7	4	7	3	2	9	5	3	7	2	3	3	2	4	2	3	9	6	7	3	6	4	7	3	5	8	4
5	8	8	10	8	8	5	7	3	2	8	5	2	5	2	5	4	2	5	2	3	8	4	8	2	5	5	7	5	5	7	5
6	9	10	9	7	6	4	6	2	0	7	4	3	6	3	4	4	2	4	4	4	8	5	8	2	5	3	8	5	6	8	5
7	8	9	9	7	7	6	6	3	1	8	3	3	7	3	3	3	4	3	3	8	6	7	3	5	4	9	4	7	8	6	
8	9	9	10	7	7	5	8	4	0	9	3	3	6	3	4	3	1	3	4	3	8	4	7	1	5	5	8	4	6	9	5
9	7	9	10	8	6	5	7	3	1	8	4	4	5	2	4	3	0	3	3	4	8	4	7	3	4	3	8	3	6	8	4

Выходной сигнал для обучающей выборки по производству транспортного электронного аппарата имеет вид, приведенный в табл. 3. Выходной сигнал для проверочной выборки имеет вид, приведенный в табл. 4.

Принцип множественности моделей для производства транспортного электронного аппарата, полученных методом группового учета аргумента, заключается в том, что существует множество моделей на данной выборке, обеспечивающих минимальную ошибку (достаточно повышать степень полинома модели).

При определении функции минимума ошибки методом наименьших квадратов получаем, что целевая функция представляет собой линейную комбинацию изменяемых параметров. Параметры оптимизации при решении задачи поиска минимума также являются неотрицательными, что следует из вида полинома Колмогорова–Габор, поэтому на каждой итерации и для каждого ряда

описаний осуществляем решение задачи линейного программирования. Для каждой пары претендентов определяются коэффициенты частного описания квадратичного типа и функция ошибки.

Таблица 3

**Выходной сигнал
для обучающей выборки**

Nстр/л	0
0	0.105
1	0.112
2	0.108
3	0.102
4	0.121
5	0.104
6	0.103
7	0.109
8	0.112
9	0.109
10	0.108
11	0.104
12	0.112
13	0.107
14	0.107
15	0.104
16	0.103
17	0.12
18	0.103
19	0.103

Таблица 4

**Выходной сигнал
для проверочной выборки**

Nстр/л	0
0	0.102
1	0.106
2	0.11
3	0.107
4	0.102
5	0.117
6	0.106
7	0.105
8	0.106
9	0.109

$y_p =$

Сформированные частные описания квадратичного типа первого ряда селекции для обучающих выборок по управляющим воздействиям для транспортного электронного аппарата сведены в табл. 5.

Таблица 5

Сочетания Коэффициенты	Описания первого ряда селекции		...
	$\{x^{<0>}, x^{<1>}\}$	$\{x^{<0>}, x^{<2>}\}$	
a_0	-2.067×10^{-8}	-1.686×10^{-8}	...
a_1	$5,832 \times 10^{-3}$	$8,638 \times 10^{-3}$...
a_2	0,037	0,027	...
a_3	$-3,026 \times 10^{-5}$	$-2,631 \times 10^{-5}$...
a_4	$-4,857 \times 10^{-4}$	$-6,136 \times 10^{-4}$...
a_5	$-2,467 \times 10^{-3}$	$-1,505 \times 10^{-3}$...
$\bar{\varepsilon}^2$	$5,262 \times 10^{-4}$	$5,536 \times 10^{-4}$...
Переход	—	—	...

В табл. 5 коэффициенты a_i являются оценками неизвестных коэффициентов в полиноме Колмогорова–Габора, являющимися параметрами оптимизации при решении задачи поиска минимума величины $\bar{\varepsilon}^2$, представляющей из себя критерий точности сгенерированной модели, определяющий участие данного частного описания в последующих этапах селекции претендентов.

В соответствии с методом группового учета аргумента, двигаясь от конца алгоритма, с шага на котором получена минимальная погрешность аппроксимирующего полинома, к началу и, делая последовательную замену переменных, вычисляются выражения для искомой модели в исходном пространстве описаний.

Возможны следующие варианты селекции претендентов (рис. 1), причем минимум промежуточных погрешностей частных описаний претендентов не всегда дает минимальную результирующую погрешность аппроксимирующего полинома, что необходимо исследовать и получить окончательный сценарий отбора варианта селекции.

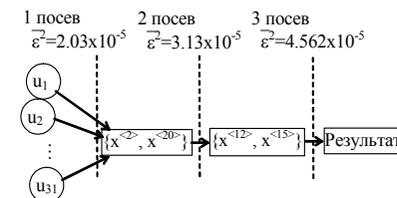


Рис. 1. Дерево селекции претендентов

На рис. 1 изображен вариант селекции претендентов на основании ковариаций и квадратичных описаний для экспериментально-статистической модели производства транспортного электронного аппарата. Динамика погрешности исследуемой модели имеет вид, изображенный на рис. 2.

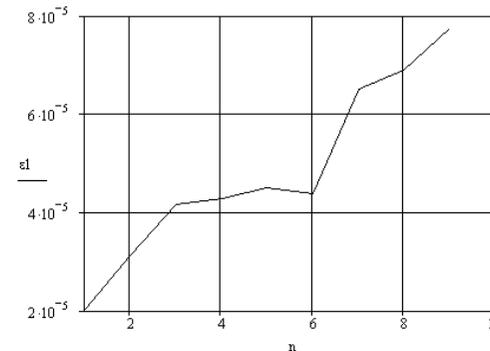


Рис. 2. Погрешность экспериментально-статистической модели

Динамика погрешности рассматриваемого дерева претендентов, приведенного на рис. 2, характеризуется наличием локального и глобального оптимума, которые идентифицируются методом группового учета аргумента на четырехстах шестидесяти пяти промежуточных аргументах модели за восемь итераций. Полученный вариант экспериментально-статистической модели характеризуется соответствующим набором входных переменных, минимальной погрешностью и относительно высокой скоростью сходимости, что в свою очередь позволит во фреймах разрабатываемой интеллектуальной системы поддержки принятия решений для производства электронных аппаратов различного назначения предложить более гибкие сценарии достижения требуемых свойств производимого изделия и обеспечения оптимальных параметров технологического процесса их производства.

Для дерева селекции претендентов, изображенного на рис. 1, функциональная зависимость выходного сигнала от входных переменных имеет следующий вид

$$y(\bar{x}) = \left(2.163 - 3.553 \cdot 10^{-3} \cdot x_{15} + 0.267 \cdot x_{20} - 3.593 \cdot 10^{-3} \cdot x_2 \cdot x_{20} + 4.790 \cdot 10^{-4} \cdot x_{12} \cdot x_{15} - 7.051 \cdot 10^{-3} \cdot x_2^2 + 9.4 \cdot 10^{-3} \cdot x_{12}^2 - \right. \\ \left. - 9.278 \cdot 10^{-3} \cdot x_{20}^2 + 1.237 \cdot 10^{-3} \cdot x_{15}^2 + \begin{pmatrix} 2.864 \cdot 10^{-4} - 7.119 \cdot 10^{-4} \cdot x_2 + \\ + 4.009 \cdot 10^{-4} \cdot x_2 \cdot x_{20} - \\ - 2.974 \cdot 10^{-3} \cdot x_{20} + \\ + 7.868 \cdot 10^{-5} \cdot x_2^2 + 1.035 \cdot 10^{-3} \cdot x_{20}^2 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 5.809 \cdot 10^{-6} - 1.444 \cdot 10^{-3} \cdot x_{12} + \\ + 8.132 \cdot 10^{-4} \cdot x_{12} \cdot x_{15} - 6.033 \cdot 10^{-3} \cdot x_{15} + \\ + 1.596 \cdot 10^{-4} \cdot x_{12}^2 + 2.1 \cdot 10^{-3} \cdot x_{15}^2 \end{pmatrix} \right) + \\ + 217.977 \cdot \begin{pmatrix} 5.809 \cdot 10^{-6} - 1.444 \cdot 10^{-3} \cdot x_2 + \\ + 8.132 \cdot 10^{-4} \cdot x_2 \cdot x_{20} - \\ - 6.033 \cdot 10^{-3} \cdot x_{20} + \\ + 1.596 \cdot 10^{-4} \cdot x_2^2 + 2.1 \cdot 10^{-3} \cdot x_{20}^2 \end{pmatrix}^2 + 1.099 \cdot \begin{pmatrix} 5.809 \cdot 10^{-6} - 1.444 \cdot 10^{-3} \cdot x_{12} + \\ + 8.132 \cdot 10^{-4} \cdot x_{12} \cdot x_{15} - \\ - 6.033 \cdot 10^{-3} \cdot x_{15} + \\ + 1.596 \cdot 10^{-4} \cdot x_{12}^2 + 2.1 \cdot 10^{-3} \cdot x_{15}^2 \end{pmatrix}^2 - 8.505 \cdot 10^{-4} \cdot x_{12} + 6.38 \cdot 10^{-2} \cdot x_2 \quad (1)$$

Выражение (1) приведено именно в таком виде для наглядности и обеспечения компактности излагаемого материала.

Все коэффициенты идентифицированной статистической зависимости (1) выхода от параметров входа для транспортного электронного аппарата определяются из табл. 5 в соответствии с селекцией претендентов для обеспечения минимальной погрешности в соответствии с [8].

С целью анализа полученной функциональной зависимости, в частности определения какие из рассматриваемых входных воздействий являются управляющими, возмущающими или параметрами состояния, необходимо оценить ее чувствительность по исследуемым каналам. Сигналы на остальных каналах полагаем равными нулю. В частности по каналу $x_2 \rightarrow y$ получена функциональная зависимость следующего вида:

$$y(x_2) = -6.599 \cdot 10^{-3} \cdot x_2^2 + 2.163 + \\ + 6.379 \cdot 10^{-2} \cdot x_2 - 1.001 \cdot 10^{-4} \cdot x_2^3 + \\ + 5.529 \cdot 10^{-6} \cdot x_2^4 \quad (2)$$

Для канала $x_{20} \rightarrow y$ функциональная зависимость имеет вид:

$$y(x_{20}) = -8.488 \cdot 10^{-2} \cdot x_{20}^2 + 2.163 + \\ + 0.267 \cdot x_{20} - 5.501 \cdot 10^{-3} \cdot x_{20}^3 + \\ + 9.573 \cdot 10^{-4} \cdot x_{20}^4 \quad (3)$$

Функциональная зависимость по каналу влияния $x_{12} \rightarrow y$ следующая:

$$y(x_{12}) = 2.163 - 8.505 \cdot 10^{-4} \cdot x_{12} + \\ + 9.630 \cdot 10^{-5} \cdot x_{12}^2 - 5.066 \cdot 10^{-7} \cdot x_{12}^3 + \\ + 2.799 \cdot 10^{-8} \cdot x_{12}^4 \quad (4)$$

Канал влияния $x_{15} \rightarrow y$ выглядит таким образом:

$$y(x_{15}) = 2.163 - 3.554 \cdot 10^{-3} \cdot x_{15} + \\ + 1.277 \cdot 10^{-3} \cdot x_{15}^2 - 2.784 \cdot 10^{-5} \cdot x_{15}^3 + \\ + 4.847 \cdot 10^{-6} \cdot x_{15}^4 \quad (5)$$

Для построения системы управления объединяем параллельно исследуемые каналы, на их основе строим следящую систему. В качестве входного воздействия по исследуемым каналам была выбрана $\delta(t)$ – функция. Определяя преобразование Лапласа для выражений (2) – (5), формируем общую передаточную функцию, которая будет иметь вид:

$$W(s) = \frac{\left(2.163 \cdot 10^{19} \cdot s^4 - 4.505 \cdot 10^{17} \cdot s^2 + \right. \\ \left. + 8.148 \cdot 10^{17} \cdot s^3 - 8.443 \cdot 10^{16} \cdot s + \right. \\ \left. + 5.806 \cdot 10^{16} \right)}{\left(2.5 \cdot 10^{18} \cdot s^5 + 2.162 \cdot 10^{19} \cdot s^4 + \right. \\ \left. + 8.148 \cdot 10^{17} \cdot s^3 - 4.505 \cdot 10^{17} \cdot s^2 + \right. \\ \left. + 5.806 \cdot 10^{16} - 8.443 \cdot 10^{16} \cdot s \right)} \quad (6)$$

Задачу исследования и обеспечения устойчивости (6) необходимо решать совместно с идентификацией параметров регуляторов в процессе формирования общей структуры предлагаемого автоматизированного управления для всех каналов влияния, попадающих путем селекции в категорию управляющих воздействий для электронных аппаратов различного назначения.

Рассматривая дискретную систему, для получения импульсной передаточной функции из полученной непрерывной функции (6), ограничиваясь рассмотрением области частот существенно меньших частоты квантования, получаем передаточную функцию вида:

$$W(z) = \frac{z-1}{z} \left(\sum_{p_k} \frac{z}{z - e^{p_k/T}} \text{Res}(W(p_k)) \right), \quad (7)$$

где p_k – полюсы непрерывной передаточной функции, $\text{Res}(W(p_k))$ – вычет (коэффициент при p_k в разложении в ряд Лорана непрерывной передаточной функции (6)).

После преобразования (6) и подстановки в (7), последнее выражение примет вид:

$$W(z) = \begin{pmatrix} \frac{8,654 \cdot z}{z - e^{-8,01/jT}} - \frac{(7,031 \cdot 10^{-4} + 1,989 \cdot 10^{-3} \cdot i) \cdot z}{z - e^{-1,877 - 0,163/jT}} - \frac{(7,031 \cdot 10^{-4} - 1,989 \cdot 10^{-3} \cdot i) \cdot z}{z - e^{-1,877 + 0,163/jT}} - \frac{(5,585 \cdot 10^{-4} - 9,658 \cdot 10^{-4} \cdot i) \cdot z}{z - e^{0,168 - 0,125/jT}} \\ \frac{(5,585 \cdot 10^{-4} + 9,658 \cdot 10^{-4} \cdot i) \cdot z}{z - e^{0,168 + 0,125/jT}} \end{pmatrix}. \quad (8)$$

Анализируя (1) и (8), получаем, что лишь четыре вида управляющих воздействий посредством предложенных функциональных преобразований влияют на выходной сигнал для рассматриваемого автоматизированного управления, поэтому в решении стохастической постановки задачи автоматизированного управления производством электронных аппаратов, следует применить декомпозицию по сфере применения или объекту установки производимого электронного аппарата. Рассматривая структурную схему системы поддержки принятия решений в производстве электронного аппарата [9], следует особое внимание обратить на фрагмент блока генерации варианта решения для транспортного электронного аппарата (рис. 3).

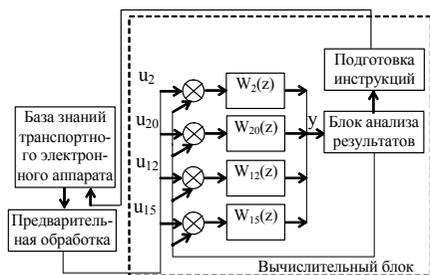


Рис. 3. Фрагмент структурной схемы системы поддержки принятия решений в производстве электронного аппарата транспортного назначения

В общей структурной схеме системы поддержки принятия решений [8] в производстве электронного аппарата в соответствии с декомпозицией задачи управления, применяют шесть блоков (в зависимости от количества введенных классификаций электронных аппаратов) и для каждого из них будет своя база знаний. Для электронных аппаратов различных назначений вычислительный блок будет определяться структурой и параметрами, определяемыми выражениями типа (8). Так, выполняя декомпозицию рассматриваемой системы управления, выделяем подструктуры лишь по признаку назначения производимого изделия.

Далее для каждой из систем выделяем координаты состояния, возмущающие факторы и управляющие воздействия, а далее по методу группового учета аргумента формируем модель выходного сигнала. Далее подсистемы объеди-

няем в единую систему управления и интегрируем ее в интеллектуальную систему поддержки принятия решения, предназначенную для производства электронных аппаратов.

Рассматривая существующие модели представления знаний, в частности представление знаний на основе семантических сетей, фреймов и продукционных правил, следует обратить внимание именно на фреймовую модель представления знаний из-за того, что в рассматриваемом процессе управления имеют место логико-трансформационные правила преобразования информации, вида:

$$C_1; F_1, F_2, \dots, F_k; \{F_i\} \Rightarrow F^*; C_2, \quad (9)$$

где C_1 – условие активизации логико-трансформационного правила; F_1, F_2, \dots, F_k – фрагменты сети, которые определяются с помощью операции поиска фрагмента по образу, C_2 – постусловия, которые вносят изменения в систему логико-трансформационных правил.

Или с учетом (9) выражение (8) примет вид:

$$O_1; u_1, u_2, \dots, u_{31}; \{u_i\} \Rightarrow u^*; y(u^*), \quad (10)$$

где O_1 – классификатор объекта; u^* – фрагмент кортежа управляющих воздействий, который в терминах метода группового учета аргумента имеет вид $\{x_2, x_{20}, x_{12}, x_{15}\}$, $y(u^*)$ – определяется в соответствии с (8).

Также в рассматриваемом автоматизированном управлении производством электронных аппаратов, кроме операций с фрагментами, на сетях из знаков-фреймов выполняются и операции вывода на знаниях и операции формирования новых фрагментов сети за счет разнообразных операций обобщения [9].

При решении задачи управления в рассматриваемой системе выделяем прямую и обратную задачи. В прямой задаче решаются вопросы возможности производства изделия после выполнения над ним на этапе компоновки определенной по содержанию и последовательности обработки, а в обратной задаче определяется, как не выходя из ограничений, связанных с эффективностью применения вновь введенной в систему надстройки произвести изделие с требуемыми свойствами вибрационной и ударной устойчивости, требований надежности при оптимальных параметрах технологического процесса производства.

Основным направлением дальнейших исследований является построение и исследование общей передаточной функции системы управления и локальных подсистем, отвечающих за конкретные производимые объекты и генерация на их основе структуры системы автоматизированного управления технологическим процессом производства электронных аппаратов различного назначения.

Выводы

Составлены статистические выборки для процессов производства транспортных электронных аппаратов, отвечающие предельному значению функционала эффективности внедрения модификации в существующий технологический процесс производства. Выборки носят стохастический характер, поделены на обучающую и проверочную, и составляют основу математических моделей автоматизированного управления для производства транспортных электронных аппаратов.

Полученные методом группового учета аргумента посредством полинома Колмогорова–Габора и частных описаний квадратичного типа первого и последующих рядов селекции стохастические зависимости, дают возможность произвести классификацию входных воздействий на параметры состояния и возмущения и непосредственно управляющие воздействия, то есть дают инструменты для обеспечения экстремальных параметров и компоновки производимого объекта при построении интеллектуальной системы управления.

Получена и исследована математическая модель автоматизированного управления для производства транспортных электронных аппаратов. Методом группового учета аргумента осуществлена селекция претендентов для регрессионной модели управления, оценена ее сходимість, точность и чувствительность, получены передаточные функции звеньев и общая передаточную функцию системы управления. Это дало возможность синтезировать структуру и идентифицировать параметры дискретной системы, реализующей непосредственно процесс автоматизированного управления производством транспортного электронного аппарата.

Список использованных источников

1. Смолий В. Н. Показатели эффективности управления процесса производства электронных аппаратов // Адаптивні системи автоматичного управління. Міжвідомчий науково-технічний збірник. – К. : НТУУ «КПІ», 2012. – № 20(40). – С. 70–77.
2. Смолий В. Н. Нейросетевая технология обучения системы поддержки принятия решений для электронных аппаратов // Българско списание за инженерно проектиране, брой 23, юли 2014 г. – С. 125–135.
3. Смолий В. Н., Карпенко А. В. Концепция автоматизированной системы обучения для высшего учебного заведения // Проблеми інформаційних технологій. – Херсон : ХНТУ, 2014. – № 15. – С. 70–76.

4. Смолий В. Н. Управление производством сложноорганизованных технологических объектов // Вісник СХУ ім.В. Даля. – 2009. – № 2 (132). Ч. 2. – С. 46–55.
5. Смолий В. Н. Исследование эффективности управления процесса производства электронных аппаратов // Прогресивні технології і системи машинобудування: Міжнародний зб. наукових праць. – Донецьк : ДонНТУ, 2010. – Вип. 39. – С. 174–178.
6. Смолий В. Н. Особенности концепции управления производством электронных аппаратов // Вісник СХУ ім. В. Даля. – 2010. – № 2 (144). – С. 128–133.
7. Vitaly Ulshin, Victoria Smoliy. Automated management by designer preparation of production of electronic vehicles/ ТЕКА Ком. Mot. I Energ. Roln. – OL PAN, 2011, 11A, P. 276–281.
8. Ульшин В. А., Смолий В. Н. Функции лица, принимающего решение, при управлении производством электронных аппаратов // Вісник СХУ ім. В. Даля. – 2011. – № 3 (157.) – С. 214–220.
9. Смолий В. М. Синтез и исследование критерия компоновки типового элемента замены электронного аппарата / Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія «Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка» (ІКОТ – 2012). – 2012. – Вип. 15 (203) – С. 203–208.
10. Смолий В. М., Ульшин В. А., Фомін Я. Г. Mathematical design and operations of electronic vehicles management and introduction of results of researches in an educational process. / ТЕКА. Commission of motorization and energetics in agriculture. – 2012, Вип. 12, № 4, – С. 285–289.
11. Смолий В. М., Ульшин В. А. Принципиальная схема системы поддержки принятия решений конструкторской подготовки производства электронных аппаратов. / Науковий журнал. «Вісник» СХУ ім. В. Даля. – 2012. – Вип. № 3(174), ч.2. – С. 187–190.
12. Смолий В. М. Подсистемы СППР автоматизированного управления конструкторской подготовкой производства электронных аппаратов в машиностроении / Міжнародний збірник наукових праць. Прогресивні технології і системи машинобудування, 2012. – Вип. 43. – С. 272–277.