ISBN 5-7763-8361-7

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ

УКРАИНСКАЯ АССОЦИАЦИЯ ПО АВТОМАТИЧЕСКОМУ УПРАВЛЕНИЮ

АВТОМАТИКА АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

№ 2(22) 2008

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ
УКРАИНСКАЯ АССОЦИАЦИЯ ПО АВТОМАТИЧЕСКОМУ УПРАВЛЕНИЮ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

АВТОМАТИКА. АВТОМАТИЗАЦИЯ. ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

Издание Херсонского национального технического университета

№ 2(22) ХЕРСОН 2008

Основан в июле 1997 г. *Выходит два раза в год*

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор: Тодорцев Ю.К.

Члены редколлегии: Аркадьев В.Ю., Бардачев Ю.Н., Бойко В.И., Болычевцев А.Д., Бондарь В.М., Бражник А.М. (зам. главного редактора), Гаврилюк В.И., Герасимяк Р.П., Григоровский Е.П., Гринавцев В.Н., Демченко В.А., Дудюк Д.Л., Дубинец Л.В., Живица В.И.,Карпинский М.П., Кондратенко Ю.П., Кузнецов Б.И., Ладанюк А.П., Лут М.Т., Лубяный В.З., Максимов М.В., Марасанов В.В.,Мартиненко И.И., Мережко Ю.И., Михайлик В.Д., Мишин В.І., Павлов А.А., Праховник А.В., Радимов С.Н., Рогальский Ф.Б., Садовой А.В., Сарибеков Г.С., Смолин Ю.А., Ткаченко А.Н., Тришкин В.Я, Труш В.Е., Ходаков В.Е., Хомченко А.Н. (зам. главного редактора), Червяков В.Д., Шарко А.В., Шикалов В.С., Эриванцев И.Н., Яськив В.И., Лебеденко Ю.А. (технический редактор)

ОРГАНИЗАЦИИ - ОСНОВАТЕЛИ ЖУРНАЛА

Херсонский национальный технический университет
Одесский национальный политехнический университет
Национальный технический университет Украины «КПИ»
национальный авиационный университет
Одесская государственная академия холода
Днепродзержинский государственный технический университет
Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры
Национальный аграрный университет
Украинский государственный химико-технологический университет
Национальный университет пищевых технологий
Украинская инженерно-педагогическая академия
Национальный университет кораблестроения им. Ад. Макарова
Национальный государственный лесотехнический университет
Сумской государственный университет
Киевский национальный университет строительства и архитектуры
Киевский национальный университет технологий и дизайна
Тернопольский государственный технический университет им. Ивана Пулюя
Тернопольский национальный экономический университет
Днепропетровский национальный технический университет железнодорожного транспорта
Херсонский государственный аграрный университет

Усл. печ. листов 13,1 *Тираж - 200 экз.* *Формат 60x84 1/8* *Офсетная печать*
Свидетельство о регистрации КВ № 2997 от 10.12.1997 г. *Цена договорная*

© *Херсонский национальный технический университет*

СОДЕРЖАНИЕ

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ И СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Квасницкий В.В., Ермолаев Г.В., Матвиенко М. В., Бугаенко Б.В., Квасницкий В.Ф. Оценка применимости метода компьютерного моделирования к исследованию напряженно-деформиррованного состояния цилиндрических узлов 5

Китаев А.В., Глухова В.И. Анализ работы трансформатора по данным каталога 10

Хомченко А.Н., Колесникова Н.В. Явление «сверхсходимости» в задаче Прандтля для уравнения Пуассона 15

Михайловская Т.В., Михалев А.И., Гуда А.И. Исследование правил клеточных автоматов для моделирования процессов затвердевания квазиравновесных бинарных сплавов 19

Передерий В.И., Еременко А.П. Математические модели и алгоритмы принятия релевантных решений пользователями автоматизированных систем с учетом личностных и внешних факторов на базе генетических алгоритмов 28

Передерій В.І., Касап А.М. Математична модель та алгоритм автоматизації розрахунку параметрів комп'ютеризованих систем працюючих у реальному часі 38

Рудакова А.В. Проблемы интеграции сложных систем 43

Селін Ю.М. Використовування контекстних марківських моделей для аналізу дії промислових вибухів на будівельні конструкції 49

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

Беляев А.В. Построение навигации для иерархических структур в WEB-системах и системах управления WEB-сайтом 54

Лубяный В.З., Голощапов С.С. Прямоотсчетные измерители расхождений емкостей 58

Литвиненко В.И., Дидык А.А., Захарченко Ю.А. Компьютерная система для решения задач классификации на основе модифицированных иммунных алгоритмов 66

Луцкий М.Г., Пономаренко А.В., Филоненко С.Ф. Обработка сигналов акустической эмиссии при определении положения сквозных дефектов 74

Полякова М.В., Волкова Н.П., Іванова О.В. Сегментація зображень стохастичних текстур амплітудно-детекторним методом у просторі вейвлет-перетворення 81

Соколов А.Є. Деякі аспекти систезу комп'ютеризованої адаптивної системи навчання 89

Сосюк А.В. Інтелектуальний автоматизований контроль знань в системах дистанційного навчання 94

Тверезовский В.С., Бараненко Р.В. Технические аспекты проектирования устройства для разбраковки варикапов по емкостным параметрам и добротности 99

ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

Гончаренко А.В. Вплив суб'єктивних переваг на показники роботи суднової енергетичної установки 105

Мотылев К.И., Михайлов М.В., Паслен В.В. Обработка избыточной траекторной информации в измерительно-вычислительных системах 112

Биленко М.С., Серов А.В., Рожков С.А., Буглов О.А. Многоканальная система контроля качества текстильных материалов 116

Фарионова Н.А. Системный подход построения алгоритмов и моделей систем поддержки принятия решений при возникновении нештатных ситуаций 127

ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОБЪЕКТАМИ И СИСТЕМАМИ

Михайленко В.С., Ложечников В.Ф. Сравнительный анализ комплексного и нечеткого регуляторов при управлении многомерным объектом 130

МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ АДАПТИВНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Балтовский А.А. Выбор критериев эффективности функционирования адаптивной автоматизированной системы управления, ее подсистем и промышленного производства 136

Клименко А.К. Об устранении колебательности адаптивной системы в промежутках дискретного времени 141

Митрахович М.М. Интеграция методов при синтезе сложных систем в условиях априорной неопределенности 151

Шутеев Э.И., Белокопытов Д.О. Определение постоянной составляющей сигналов методом адаптации 157

ЦИФРОВЫЕ И ДИСКРЕТНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Щокін В.П. Метод оцінки максимального запізнення елементів фільтрованого входу нейроемуляторів з зовнішньою динамікою 164

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА, КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

Аппазов Э.С. Применение твердых растворов InGaN в фотовольтаике 172

Евдокимов А.В., Китаев А.В., Агбомассу В.Л. Исследование причин, определяющих вращение рамки с током в магнитном поле после воздействия на нее внешнего импульса 175

Ковриго Ю.М., Фоменко Б.В. Врахування обмежень для підвищення якості функціонування систем регулювання енергоблоків ТЕС і АЕС 180

Ладанюк А.П., Українець А.І., Кишенько В.Д. Управління автоматизованими технологічними комплексами харчових виробництв на основі сценарного підходу 187

ЭКОНОМИКА НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОГЕССА

Данилец Е.В. Имитационное моделирование систем управления качеством в экономике 197

Прохоренко Д.В. Определение структуры и свойств организационного механизма управления промышленным производством 203

РЕФЕРАТЫ 208

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ 210

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ И СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

УДК 621.791

ОЦЕНКА ПРИМЕНИМОСТИ МЕТОДА КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ К ИССЛЕДОВАНИЮ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ УЗЛОВ

Квасницкий В.В., Ермолаев Г.В., Матвиенко М. В., Бугаенко Б.В., Квасницкий В.Ф.

Постановка задачи. Узлы цилиндрической формы типа цилиндров, втулок, втулок с фланцами широко применяются при изготовлении машин и другой техники в различных отраслях промышленности. Используются как однородные, так и разнородные материалы деталей узлов, а также многослойные втулки. Одним из распространенных способов соединения разнородных материалов является диффузионная сварка в вакууме (ДСВ) [1]. Основными параметрами режима ДСВ являются температура и давление сжатия. В условиях эксплуатации узлы также зачастую нагружены высокими внутренними и внешними давлениями. Кроме того, вследствие различия коэффициентов линейного термического расширения (КЛТР) в сварных узлах из разнородных материалов формируются собственные напряжения. Напряженно-деформированное состояние (НДС) в процессе ДСВ на разных участках соединения не одинаково и распределение пластических деформаций далеко от равномерного [2-5], что существенно влияет как на процесс сварки, так и на работоспособность узлов.

Поэтому исследование НДС узлов при их изготовлении и эксплуатации является **актуальным.**

Для оценки НДС используют аналитические методы [6-8], компьютерное моделирование [2-5] и экспериментальные методы [9]. В работе [9] для оценки возможности применения и точности метода компьютерного моделирования исходили из сравнения результатов расчета радиальных перемещений внешней поверхности цилиндрического образца с экспериментальными замерами, однако, научный интерес представляет также сопоставление с результатами аналитического решения.

Цель работы – сравнение и количественная оценка результатов компьютерного моделирования НДС с аналитическим расчетом.

Изложение основного материала. Анализ литературы [6-8] показал, что аналитические решения имеются для небольшого числа типов задач и граничных условий. В частности для осесимметричных напряженно-деформированных состояний цилиндрических узлов типа однородных и многослойных втулок имеются аналитические решения для нагружений внутренним и внешним давлением или неравномерно нагретых по толщине. При этом рассматриваются втулки достаточно большой длины, т.е. без учета краевых эффектов на торцах. В многослойных втулках слои считаются не скрепленными между собой, т.е. возможно их взаимное проскальзывание в процессе деформации.

В данной работе для аналитического расчета напряжений использовались формулы работы [7] для толстостенной втулки, нагруженной внутренним давлением:

$$\sigma_r = p\frac{r^2}{R^2 - r^2}\left(1 - \frac{R^2}{\rho^2}\right),$$

$$\sigma_t = p\frac{r^2}{R^2 - r^2}\left(1 + \frac{R^2}{\rho^2}\right),$$

и неравномерно нагретой по толщине:

$$\sigma_r = \frac{\alpha E(T_1 - T_2)}{2(1-\mu)(R^2 - r^2)\ln\frac{R}{r}}\left(r^2 \ln\frac{r}{\rho} - R^2 \ln\frac{R}{\rho} + \frac{R^2 r^2}{\rho^2}\ln\frac{R}{r}\right),$$

$$\sigma_t = \frac{\alpha E(T_1 - T_2)}{2(1-\mu)(R^2 - r^2)\ln\frac{R}{r}}\left(R^2(1-\ln\frac{R}{\rho}) - r^2(1-\ln\frac{r}{\rho}) - \frac{R^2 r^2}{\rho^2}\ln\frac{R}{r}\right),$$

где σ_r - радиальные напряжения,

σ_t - окружные напряжения,

p - внутреннее давление,

r, ρ, R - соответственно внутренний, текущий и наружный радиусы втулки,

E, μ - модуль упругости и коэффициент Пуассона материала втулки,

α - КЛТР материала втулки,

T_1, T_2 - температура соответственно на внутренней и внешней поверхностях втулки.

Распределение температуры по толщине втулки принималось как для случая установившегося потока:

$$T = \frac{T_2 \ln\frac{\rho}{r} - T_1 \ln\frac{\rho}{R}}{\ln\frac{R}{r}}.$$

Компьютерное моделирование выполняли с использованием программного комплекса ANSYS с кольцевыми конечными элементами *Plane* 82. Рассматривались узлы типа однослойной и двухслойной втулок и модели по форме и размерам аналогичные таковым в работах [2-5, 9] (рис. 1).

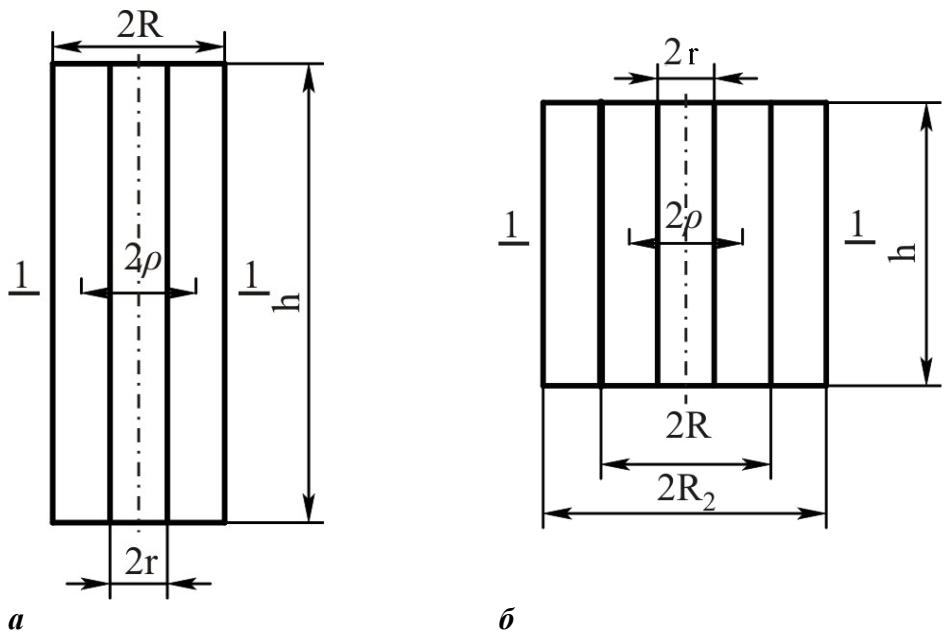


Рис. 1 Общий вид узлов однослойной (***а***) и двухслойной (***б***) втулок

Расчеты аналитическим методом и методом компьютерного моделирования выполнялись для втулок (рис.1,***а***), с размерами, как в эксперименте [9]: внутренний радиус *r* = 5 мм, наружный радиус *R* = 15 мм, высота h = 80 мм, для нагружения внутренним давлением (p = 10 МПа) и неравномерным нагревом, (T_1 = 83,7ºС и T_2 = 62,5ºС). Полученные эпюры напряжений приведены на рис. 2 и 3 соответственно. Сплошными линиями показаны результаты аналитического решения, а точками – компьютерного моделирования.

 ISBN 7-776-8361-7

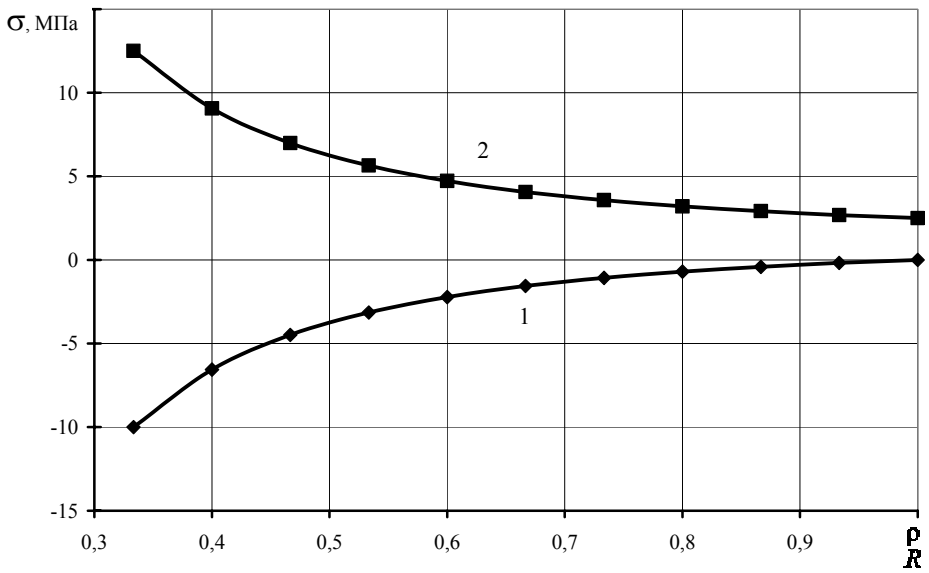


Рис. 2 Эпюры радиальных (1) и окружных (2) напряжений по толщине втулки, загруженной внутренним давлением

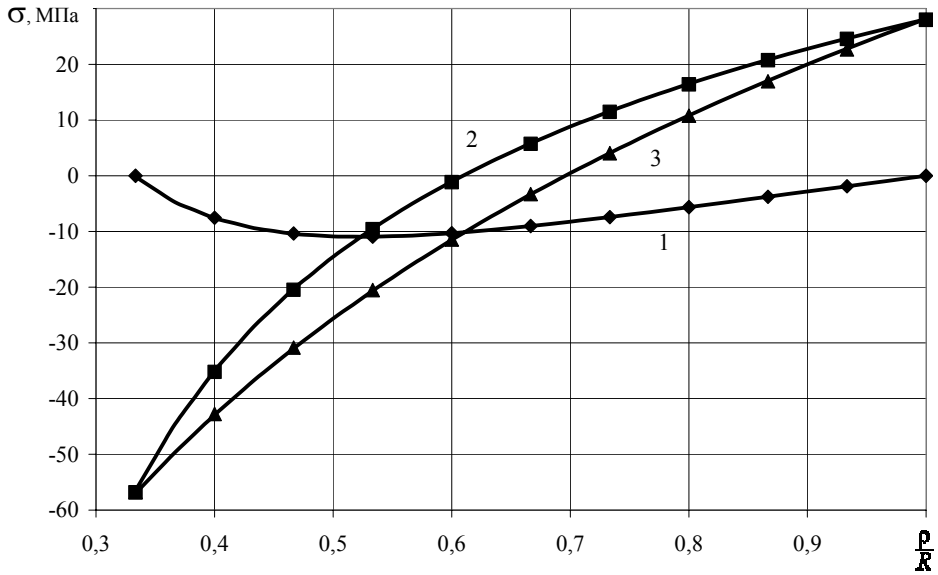


Рис. 3 Эпюры радиальных (1) окружных (2) и осевых (3) напряжений неравномерно нагретой по толщине втулки

Анализ результатов показал, что при принятых соотношениях размеров и граничных условиях результаты решений аналитического и методом компьютерного моделирования совпадают с точностью до трех-четырех знаков, т.е. практически полностью, что подтверждает достоверность получаемых методом компьютерного моделирования результатов и правильность выбора модели.

Вместе с тем, метод компьютерного моделирования более совершенен с точки зрения задания граничных условий и выбора соотношений размеров втулки, в частности, он позволяет изучать НДС коротких втулок, в которых нельзя не учитывать краевые эффекты на торцах.

В качестве примера такой задачи выполнен расчет НДС при равномерном нагреве на 100ºС двухслойной втулки (рис. 1,**б**) с размерами: внутренний радиус r_1 = 5 мм, наружный радиус R_2 = 25 мм, радиус по границе раздела слоев R = 15 мм, высота h = 50 мм. Слои втулки выполнены из материалов с отличающимися КЛТР ($\Delta\alpha = \alpha_1 - \alpha_2 = 10\cdot10^{-6}$ 1/град) и одинаковыми модулями упругости ($E_1 = E_2 = E = 1\cdot10^5$ МПа). Эпюры, получен-

ные в результате аналитического расчета (сплошные линии) и компьютерного моделирования (линии с точками) приведены на рис.4.

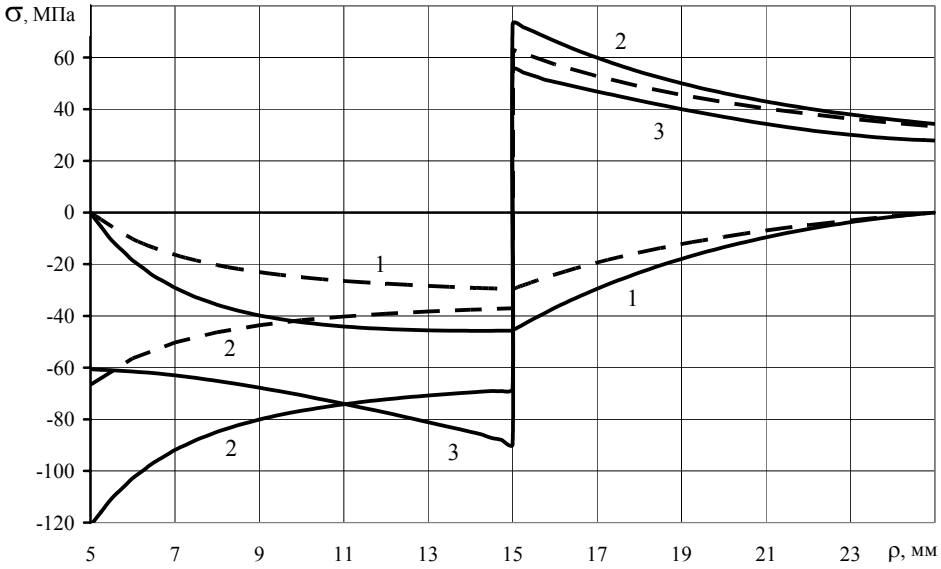


Рис. 4 Эпюры радиальных (1), окружных (2) и осевых (3) напряжений при нагреве двухслойной втулки, полученные методом компьютерного моделирования (сплошные линии) и аналитическим расчетом (пунктирные линии)

Для аналитического решения использовались формулы, приведенные в [7 и 8]: радиальные напряжения во внутреннем слое

$$\sigma_r = -\frac{p_k R^2}{R^2 - r_1^2}\left(1 - \frac{r_1^2}{\rho^2}\right),$$

радиальные напряжения в наружном слое

$$\sigma_r = \frac{p_k R^2}{R_2^2 - R^2}\left(1 - \frac{R_2^2}{\rho^2}\right),$$

окружные напряжения во внутреннем слое

$$\sigma_t = -\frac{p_k R^2}{R^2 - r_1^2}\left(1 + \frac{r_1^2}{\rho^2}\right),$$

окружные напряжения в наружном слое

$$\sigma_t = \frac{p_k R^2}{R_2^2 - R^2}\left(1 + \frac{R_2^2}{\rho^2}\right),$$

где p_k – давление на границе раздела слоев,

$$p_k = \frac{E\Delta}{2R_2^3} \cdot \frac{\left(R^2 - r_1^2\right)\left(R_2^2 - R^2\right)}{R_2^2 - r_1^2}.$$

r_1 = 5 мм – внутренний радиус втулки, R = 15 мм – радиус по границе раздела слоев, R_2 = 25 мм – наружный радиус втулки, ρ – текущий радиус, $\Delta = (\alpha_1 - \alpha_2)TR$ – натяг.

Как видно из сравнения результатов, при одинаковом характере распределения напряжений по толщине двухслойной втулки, величины их, особенно окружных во внутреннем слое, при компьютерном моделировании – больше. Это объясняется тем, что аналитическое решение получено на основе предположения об отсутствии осевых напряжений.

 ISBN 7-776-8361-7

Вместе с тем, как показывает эпюра осевых напряжений, их величина достаточно велика, при чем во внутреннем слое они, как и окружные напряжения – сжимающие, что и приводит к увеличению последних.

Таким образом, компьютерное моделирование по сравнению с аналитическим решением, не уступая ему в точности, является более совершенным, так как позволяет более точно учитывать существующие граничные условия.

Выводы. Метод компьютерного моделирования, основанный на конечно-элементном анализе, достаточно точно отражает напряженно-деформированное состояние узлов и позволяет получать достоверные результаты.

Применение метода компьютерного моделирования за счет более широких возможностей задания граничных условий позволяет исследовать узлы практически любой сложности.

Stress distribution in junctions by type of homogeneous and multilayer plugs, which are loaded by internal pressure or non-uniformly heated on the thickness, has betined by method of computer modelling. It has been established that such modelling in comparison with analytical decision is not interior to it by accuracy but it is more complete because it allows to take into account actually existing limiting conditions.

1. 1.Казаков Н.Ф. Диффузионная сварка материалов / Н.Ф. Казаков. – М.: Машиностроение, 1976.– 312с.
2. Квасницкий В.В., Ермолаев Г.В., Матвиенко М.В. Влияние напряженного состояния на параметры режима диффузионной сварки разнородных сталей. Зб. наукових праць НУК. – Миколаїв: НУК, 2007, – № 1 (412). – с. 33-40.
3. Квасницкий В.В., Ермолаев Г.В., Матвиенко М.В. Закономерности формирования напряженно-деформированного состояния при диффузионной сварке разнородных металлов применительно к узлам цилиндр-цилиндр и втулка-втулка. Зб. наукових праць НУК. – Миколаїв: НУК, 2007, – № 5 (416). – с. 57-65.
4. Общие закономерности формирования напряженного состояния при диффузионной сварке деталей цилиндрической формы / В.Д.Кузнецов, В.В.Квасницкий, Г.В. Ермолаев и др. – Зб. наукових праць НУК. – Миколаїв: НУК, 2007, – № 6 (417). – с. 62-73.
5. 5. Махненко В.И., Квасницкий В.В., Ермолаев Г.В. Влияние физико-механических свойств соединяемых металлов и геометрии деталей на распределение напряжений при диффузионной сварке. Автоматическая сварка, К., 2008, № 1, с. 5–11.
6. Тимошенко С.П. Курс теории упругости. Киев, Наукова думка, 1972, 508с.
7. Канторович З.Б. Основы расчета химических машин и аппаратов. М., Машгиз, 1960, 744с.
8. Прочность, устойчивость, колебания. Справочник в трех томах. Том 2. Под ред. И.А.Биргера и Я.Г.Пановко. М., Машгиз, 1968. 464 с.
9. Экспериментальное исследование деформирования сварного узла типа втулка-втулка из разнородных материалов / Ю.Г. Золотой, В.В. Квасницкий, А.В. Лабарткава и др. – Зб. наукових праць НУК.– Миколаїв: НУК, 2008, – № 4 (421). – с. 41-47.

УДК 621.314.333.001

АНАЛИЗ РАБОТЫ ТРАНСФОРМАТОРА ПО ДАННЫМ КАТАЛОГА

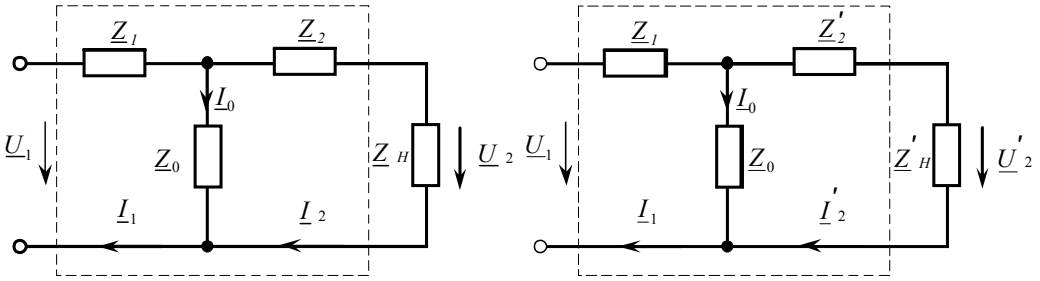
Китаев А.В., Глухова В.И.

Поведение трансформатора (ТР) в рабочем режиме можно исследовать экспериментальным путем. Но для этого нужен сам объект испытаний (ТР) и специальное лабораторное оборудование. Однако такая возможность есть не всегда и потому специалистам, например, при проектировании систем электроснабжения приходится решать ту же задачу расчетным путем, пользуясь данными каталога, в состав которых входят: номинальная мощность S_H; номинальные напряжения входа и выхода U_{1H}, U_{2H}; ток холостого хода I_{10} в процентах от номинального тока первичной обмотки I_{1H}; напряжение испытательного режима короткого замыкания ΔU_K в процентах от номинального значения U_{1H}; мощность, потребляемая от сети в испытательных режимах х.х. и к.з. ΔP_X и ΔP_K, а также к.п.д. η номинального режима. Для решения указанной задачи разработаны специальные методики, которые приводятся в различных пособиях по электротехнике [1,2]. Однако они носят приближенный характер и могут быть использованы лишь при решении локальных задач.

Ниже рассмотрен другой подход, основанный на использовании метода эквивалентного генератора (МЭГ) и положений теории четырехполюсника. Причем основной акцент сделан на решение задач по определению параметров схемы замещения и на расчет характеристик ТР.

Определение параметров и показателей работы схемы замещения

Трансформатор часто называют типичным четырехполюсником (ЧП). А в качестве обоснования ссылаются на идентичность их Т-образных схем замещения (см. рис.1).



а) б)

Рис. 1 Схемы замещения четырехполюсника и трансформатора

Внешне эти схемы, действительно, схожи. Однако по характеру работы они различны. В этом легко убедиться в результате рассмотрения аналитических выражений для определения тока выхода I_2 и I_2':

для ЧП

$$\underline{I}_2 = \frac{\underline{U}_{2X}}{\underline{Z}_{BX} + \underline{Z}_H}, \tag{1}$$

для ТР

$$\underline{I}'_2 = \frac{\underline{U}'_{2H}}{\underline{Z}'_2 + \underline{Z}'_H}, \tag{2}$$

где $\underline{U}_{2X} = \underline{U}'_{2H}$ - напряжения на поперечной ветви в режиме х.х.;

$\underline{Z}_H = \underline{Z}'_H$ - полное комплексное сопротивление нагрузки;

$\underline{Z}_{BX}$ - входное сопротивление ЧП со стороны зажимов выхода;

$\underline{Z}'_2$ - полное комплексное сопротивление вторичной обмотки после приведения.

 ISBN 7-776-8361-7

Формула (1) получена в результате сведения Т-образной схемы ЧП к схеме замещения активного двухполюсника согласно МЭГ, а формула (2) является иной формой записи основного уравнения ТР для вторичной цепи. Очевидно, что в оговоренных условиях обеспечить равенство $\underline{I}_2$ и $\underline{I}'_2$ будет иметь место только при $\underline{Z}_{BX} = \underline{Z}'_2$, что принципиально невозможно. Отсюда следует, что Т-образная схема ЧП – это обычная электрическая цепь со смешанным соединением элементов. В случае ТР – это схема устройства или ЧП, способного обеспечить стабилизацию напряжения на зажимах поперечной ветви. Нетрудно указать и механизм стабилизации: он построен на способности ТР сохранять неизменный магнитный поток в сердечнике при переменной нагрузке и сохранении $U_{1H} = const$.

Отмеченное обстоятельство способствует упрощению определения параметров схемы замещения ТР. Так сопротивления поперечной ветви находятся по формулам

$$Z_0 = \frac{U'_{2H}}{I_{10}};\ R_0 = \frac{\Delta P_X}{I_{10}^2};\ X_0 = \sqrt{Z_0^2 - R_0^2};\ \varphi_0 = arctg\frac{X_0}{R_0};$$

которые являются отражением реальной физической картины и могут считаться достаточно точными.

Аналогичная ситуация имеет место и при определении продольных сопротивлений Z_1 и Z'_2, суммирование которых дает величину сопротивления короткого замыкания Z_K:

$$Z_K = \sqrt{3}\frac{\Delta U_K \% U_{1H}}{100\% S_H};\ R_K = 3\frac{\Delta P_K U_{1H}^2}{S_H^2};\ X_K = \sqrt{Z_K^2 - R_K^2};\ \varphi_K = arctg\frac{X_K}{R_K}.$$

Принято считать, что в ТР $\underline{Z}_1$ примерно равно $\underline{Z}'_2$. Тогда можно записать, что $Z_1 = Z'_2 = 0{,}5Z_K$, и полагать, что все параметры схемы замещения найдены.

Определение сопротивления нагрузки номинального режима

Сложность решения этой задачи определена отсутствием информации по истинному значению коэффициента трансформации κ_T исследуемого устройства. Отсюда необходимость обращения к методу последовательных приближений и поиск требуемых показателей на основе графических построений. Прежде всего найдем приближенное значение $\kappa_{TП}$ по формуле $\kappa_{TП} = U_{1H}/U_{2H}$. Это даст возможность определения приведенного номинального фазного напряжения на выходе трансформатора $U'_{2H\Phi} = \kappa_{TP}\frac{U_{2H}}{\sqrt{3}}$. Тогда при заданном характере нагрузки $(\cos\varphi_2)$, пользуясь формулой $Z'_H = U'_{2H\Phi}/I_{1H}$, найдем также приближенное значение нагрузки номинального режима работы ТР. Далее зададимся рядом сопротивлений нагрузки равных, например, (0,75; 1,0; 2,0; 3,0; 4,0) Z'_H. Это позволит определить эквивалентные сопротивления вторичной цепи ТР, соответствующие им токи I'_2, а также угол сдвига между векторами $U'_{2H\Phi}$ и $\underline{I}'_2$:

$$R'_{Э2} = 0{,}5Z_K\cos\varphi_K + Z'_H\cos\varphi_2;\ X'_{Э2} = 0{,}5Z'_K\sin\varphi_2;\ Z'_{Э2} = \sqrt{R'^2_{Э2} + X'^{2ж}_{Э2}};$$

$$I'_2 = \frac{U'_{2H\Phi}}{Z'_{Э2}};\qquad \psi_2 = arctg\frac{0{,}5Z_K\sin\varphi_K + Z_H\sin\varphi_2}{0{,}5Z_K\cos\varphi_K + Z_H\cos\varphi_2}.$$

В итоге получим ряд значений тока I'_2 и их пространственное положение на комплексной плоскости. Векторное суммирование $\underline{I}'_2$ с током $\underline{I}_{10}$ даст токи $\underline{I}_1$, модули которых можно найти при использовании теоремы косинусов

$$I_1 = \sqrt{I_{10}^2 + I'^2_2 + 2I_{10}I'_2\cos(\varphi_0 - \psi_2)}$$

В итоге может быть построена вспомогательная графическая зависимость $I_1 = f(Z'_{Э2})$. Ее иллюстрация приведена на рис. 2.

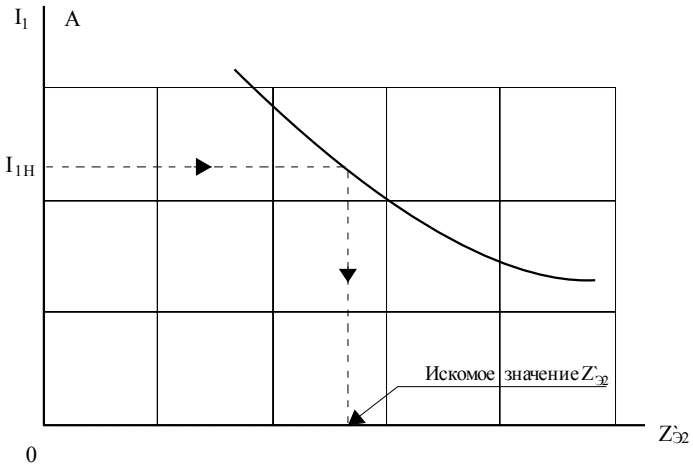


Рис. 2 Зависимость $I_1 = f(Z'_{Э2})$

Если на оси ординат отложить известное значение I_{1H}, а затем провести линию параллельную оси абсцисс вплоть до пересечения с кривой $I_1 = f(Z'_{Э2})$, то точка их пересечения даст уже точную величину $Z'_{Э2}$ при номинальном режиме работы ТР. Одновременно будут установлены значения ψ_2 и I'_2 того же режима. Отсюда нетрудно найти Z'_H и его составляющие R'_H, X'_H: $R'_H = Z'_{Э2} cos\psi_2 - 0{,}5Z_K \cos\varphi_K$, $X'_H = Z'_{Э2}\sin\psi_2 - 0{,}5Z_K \sin\varphi_K$, $Z'_H = \sqrt{R'^2_H + X'^2_H}$. При умножении I'_2 на Z'_H получим падение напряжения на нагрузке $U'_{2Ф}$, необходимое при построении векторной диаграммы ТР (см. рис.3).

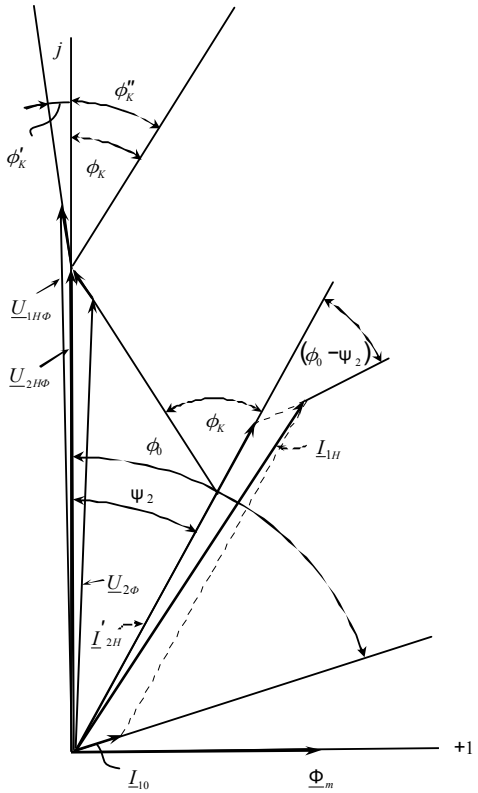


Рис. 3 Векторная диаграмма номинального режима работы трансформатора

Последняя, как известно, завершается изображением вектора напряжения сети $\underline{U}_{1Ф}$, который находится в результате суммирования векторов $\underline{U}'_{2HФ}$ и $0{,}5\underline{Z}_K \underline{I}_{1H}$. Модуль $U_{1Ф}$ можно также найти путем использования теоремы косинусов

$$U_{1Ф} = \sqrt{U^2_{2HФ} + (0{,}5Z_K I_{1H})^2 + U_{2HФ} Z_K I_{1H.}}$$

 ISBN 7-776-8361-7

Однако полученное значение $U_{1Ф}$ будет превышать заданную по каталогу величину $U_{1НФ}=U_{1Н}/\sqrt{3}$. Связано это с тем , что расчет был построен на использовании явно завышенного значения коэффициента трансформации. Отсюда диктуется необходимость повторения расчетов при более низких коэффициентах трансформации согласно изложенной выше методики. В итоге будем располагать зависимостью $U_{1Ф}=f(\kappa_T)$, графическое изображение которой приведено на рис.4.

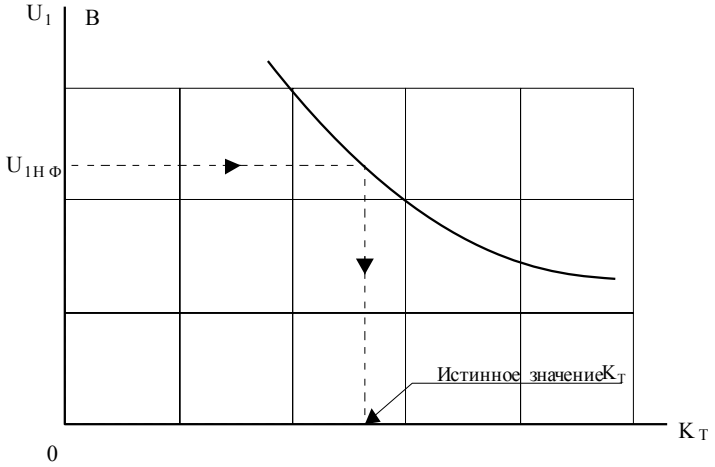


Рис. 4 Зависимость $U_1=f(K_T)$

Используя ее, найдем истинное значение κ_T, что позволит выполнить завершающий этап работы по определению Z'_H и всех остальных показателей номинального режима, необходимых для построения векторной диаграммы.

Исследование поведения трансформатора при переменной нагрузке

Принято полагать, что нагрузка ТР и электрических генераторов меняется лишь по модулю при сохранении своего аргумента. Однако в качестве независимой переменной обычно выбирают не модуль сопротивления нагрузки, а модуль протекающего по ней тока. Принято рассматривать применительно к ТР следующие три характеристики: внешнюю, изменение вторичного напряжения и к.п.д. При описании электрических машин этот перечень существенно шире и дополнен такими показателями, как потребляемый из сети ток, мощности входа и выхода, коэффициент мощности и др.

Очевидно, что согласно принципов системности и преемственности единение теории трансформаторов и электрических машин должно обеспечивать и унификацию их исследуемых характеристик. Это означает, что число характеристик ТР должно быть увеличено. Их перечень приведен в таблице 1.

Таблица 1

Соотношения для расчета характеристик трансформатора

№ п/п	Наименование характеристики или зависимости	Аналитическое соотношение
1	Внешняя характеристика $\gamma_2=f(\beta)$	$\gamma_2=1-k_i\beta\cos\varphi$
2	Изменение вторичного напряжения $\Delta\gamma_2=f(\beta)$	$\Delta\gamma_2=k_i\cos\varphi$
3	Ток первичной обмотки $\beta_1=f(\beta)$	$\beta_1=\sqrt{\alpha_0^2+\beta^2+2\alpha_0\beta\cos(\varphi_0-\psi_2)}$ $\psi_2=arctg\dfrac{Z'_н\sin\varphi_2+0{,}5Z_k\sin\varphi_k}{Z'_н\cos\varphi_2+0{,}5Z_k\cos\varphi_k}$
4	Активная мощность нагрузки $p_2=f(\beta)$	$p_2=\beta\cos\psi_2-\beta^2k_i\cos\varphi_к$
5	Активная мощность на входе $p_1=f(\beta)$	$p_1=\beta\cos\psi_2+\beta^2k_i\cos\varphi_к+p_0$
6	Характеристика КПД $\eta=f(\beta)$	$\eta=\dfrac{p_2}{p_1}$

Продолжение табл.1

№ п/п	Наименование характеристики или зависимости	Аналитическое соотношение
7	Коэффициент мощности $\cos\varphi_1 = f(\beta)$	$\cos\varphi_1 = \dfrac{p_1}{\beta_1}$
Принятые обозначения: $k_i = \dfrac{I'_{2н}}{I_{2кз}}$; $I_{2кз} = \dfrac{U'_{2нф}}{Z_к}$; $\varphi = \varphi_к - \varphi_2$; $\alpha_0 = \dfrac{I_{10}}{I_{2н}}$; $p_0 = \dfrac{\Delta P_{xx}}{U'_{2н} \cdot I'_{2н}}$		

Там же даны аналитические выражения для расчете предлагаемых зависимостей в относительных значениях. Получены они при использовании МЭГ. Графическое изображение перечисленных характеристик приведено на рис. 5.

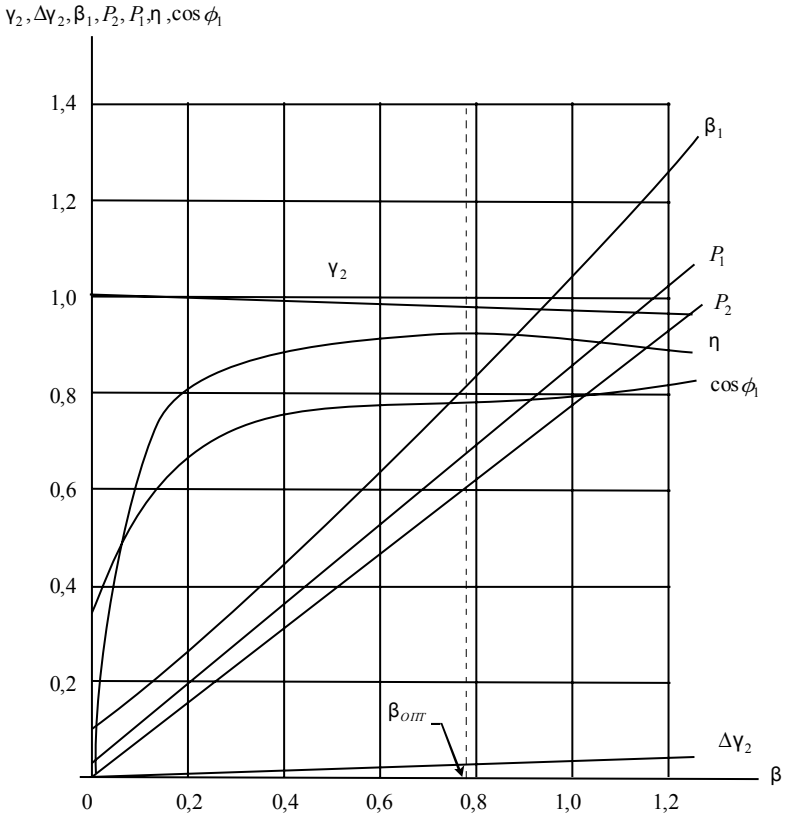


Рис. 5 Характеристики трансформатора

Выводы

1. Справочные данные по ТР, приведенные в каталогах, позволяют выполнить полное и подробное исследование работы устройства, начиная с определения параметров схемы замещения, вплоть до построения зависимостей поведения основных показателей при переменной нагрузке.

2. Обращение к методу эквивалентного генератора выгодно тем, что придает аналитическим соотношениям по расчету показателей работы ТР простоту, компактность и другие удобства.

The digit-by-digit algorithm of research of transformer is in-process resulted from reference data which over are brought in a catalogue. Tasks are solve on definition of parameters of chart of substitution, loading resistance of the nominal mode and to the conduct of indexes of work of transformer at the variable loading.

1. Волынский Б.А., Зейн Е.Н., Шатерников В.Е. Электротехника. - М.:Энергоатомиздат, 1987. -528 с.

2. Пиотровский Л.М. Электрические машины. –Л.:”Энергия”, 1975. -504 с.

 ISBN 7-776-8361-7

УДК 519.6

ЯВЛЕНИЕ «СВЕРХСХОДИМОСТИ» В ЗАДАЧЕ ПРАНДТЛЯ ДЛЯ УРАВНЕНИЯ ПУАССОНА

Хомченко А.Н., Колесникова Н.В.

Постановка проблемы. Описывая явление «сверхсходимости» в современных методах численного анализа, Дюпон и Дуглас [1] указывают на существование узлов, в которых имеет место неограниченная точность. Феномен «сверхсходимости» в настоящее время тщательно изучается. Применение «суперузлов» резко сокращает объем вычислений, обеспечивая при этом высокую точность результатов. Определить достаточное количество таких узлов и их расположение довольно сложно. Примеров успешного решения этой проблемы пока совсем мало, поскольку явление редкое и отчетливо проявляется лишь в исключительных случаях, которые авторы [1] называют специальными. В настоящей работе описан именно такой специальный случай. Для иллюстрации явления «сверхсходимости» мы рассматриваем задачу о кручении призматического стержня с эллиптическим поперечным сечением. Эта задача при помощи функции напряжений Прандтля сводится к задаче Дирихле для уравнения Пуассона со специальной правой частью и однородным граничным условием на контуре эллипса. В такой постановке легко перейти к задаче Дирихле для уравнения Лапласа с неоднородным граничным условием.

Анализ предшествующих публикаций, постановка задачи. Существуют две теории кручения стержней некругового сечения. Одна из них была развита французским механиком Сен-Венаном (1797–1886), другая – немецким гидроаэромехаником Прандтлем (1875–1953). Обе теории обсуждаются в работе [2]. Наиболее ярким примером изобретательного использования узлов повышенной точности являются формулы приближенного интегрирования Гаусса-Лежандра [3]. Существование суперузлов на эллипсе и других контурах впервые было обнаружено экспериментально [4, 5]. Задача целенаправленного поиска узлов сверхсходимости наиболее актуальна для несеточных методов [6]. Благодаря известным аналогиям [7] Прандтля, Буссинеска, Томсона и Тэта, Гринхиля установлены связи задачи о кручении призматического стержня с другими задачами механики, электростатики, гидродинамики. В начале 50-х годов XX столетия американский математик Дж. Дуб установил, что модель кручения призматического стержня пригодна для хронометрирования в среднем случайных блужданий в замкнутой области.

Цель работы – установить количество и расположение узлов «сверхсходимости» на контуре эллипса. Показать, что суперузлы являются эффективным средством упрощения алгоритма и минимизации объема вычислений. Сопоставить упрощенный подход с известными решениями данной задачи методами конечных элементов и граничных элементов.

Основная часть. Задача о кручении призматического стержня произвольного поперечного сечения [8, 9] сводится к отысканию функции напряжений Прандтля $U(x,y)$ как решения уравнения Пуассона

$$\frac{\partial^2 U}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 U}{\partial y^2}=-2 \tag{1}$$

с нулевым граничным условием

$$U(x,y)\big|_{\Gamma}=0 \tag{2}$$

При решении такой задачи неоднородность уравнения (1) часто переносят в граничное условие с помощью замены

$$U = W - \frac{1}{2}(x^2 + y^2)\,. \tag{3}$$

Такая замена сводит задачу (1) – (2) к отысканию решения уравнения Лапласа (гармонической функции)

$$\frac{\partial^2 W}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} = 0 \tag{4}$$

с граничным условием

$$W(x,y)\big|_{\Gamma} = \frac{1}{2}(x^2 + y^2)\,. \tag{5}$$

Переход к задаче Дирихле для уравнения Лапласа относительно функции $W(x,y)$ позволяет применять различные приемы усреднения граничных потенциалов. Через функцию Прандтля (3) определяются касательные напряжения в поперечном сечении

$$\tau_{xz} = G\theta\frac{\partial U}{\partial y}\,;\;\; \tau_{yz} = -G\theta\frac{\partial U}{\partial x}\,,$$

где G – модуль сдвига материала; θ – относительный угол закручивания (крутка). Крутящий момент выражается через функцию Прандтля следующим образом

$$M_z = 2G\theta\iint\limits_{\Omega} U(x,y)\,dx\,dy\,. \tag{6}$$

Важной характеристикой здесь является геометрическая жесткость при кручении

$$I = 2\iint\limits_{\Omega} U(x,y)\,dx\,dy\,. \tag{7}$$

Эта величина, как правило [9], более чувствительна к погрешностям метода, нежели функция Прандтля.

Рассмотрим задачу о кручении стержня постоянного поперечного сечения в форме эллипса с полуосями a и b. В этом случае задача имеет точное аналитическое решение

$$U(x,y) = \frac{a^2b^2}{a^2+b^2}\left(1 - \frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2}\right), \tag{8}$$

что очень важно для сопоставления различных подходов. С точки зрения геометрии «холма» Прандтля – функция (8) представляет собой перевернутый эллиптический параболоид с вершиной $\left(0;0;\dfrac{a^2b^2}{a^2+b^2}\right)$, «натянутый» на эллиптический контур поперечного сечения. Это означает, что точность решения (8) зависит от точности вычисления только одной (максимальной) аппликаты в центре сечения. Из формул (3), (4), (5) следует, что высота «холма» Прандтля определяется усреднением граничных значений гармонической функции $W(x,y)$. Формула (7) определяет удвоенный объем «холма» Прандтля. Благодаря замечательному свойству параболоида можно предложить простую формулу для геометрической жесткости

$$I = U_0 \cdot S\,, \tag{9}$$

где U_0 – высота «холма» в центре сечения, S – площадь сечения. Для сечений в форме круга и эллипса формула (9) абсолютно точна. На других сечениях появляются погрешности, вызванные искажениями поверхности параболоида вблизи контура сечения.

 ISBN 7-776-8361-7

Для иллюстрации феномена «сверхсходимости» рассмотрим эллиптическое сечение с размерами $a = 2$, $b = 1$. В работе [9] функция Прандтля и геометрическая жесткость такого сечения определяются методами конечных и граничных элементов. На рис. 1 представлена дискретизация поперечного сечения сеткой конечных элементов. Общее число элементов – 48, общее число узлов – 33, из них 17 внутри области и 16 на границе. Эти же 16 граничных узлов используются в методе граничных элементов. Поиск узлов «сверхсходимости» иллюстрирует рис. 2.

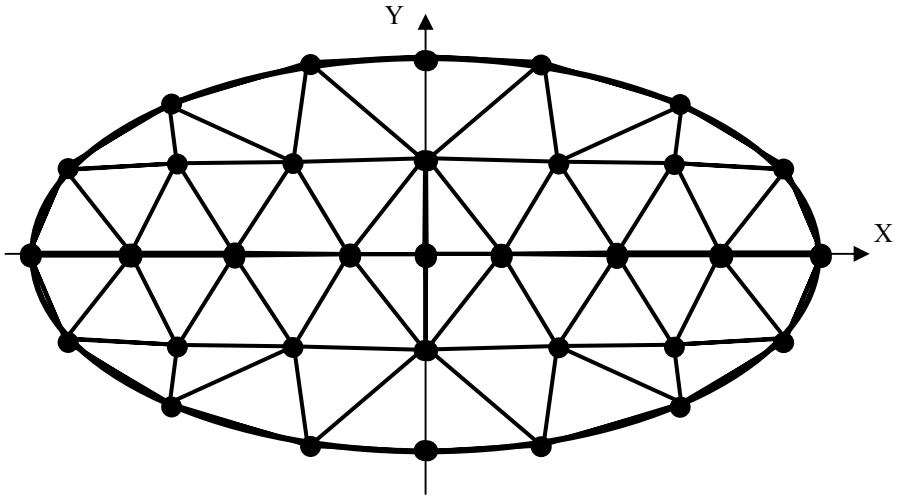


Рис. 1 Дискретизация эллипса сеткой конечных элементов

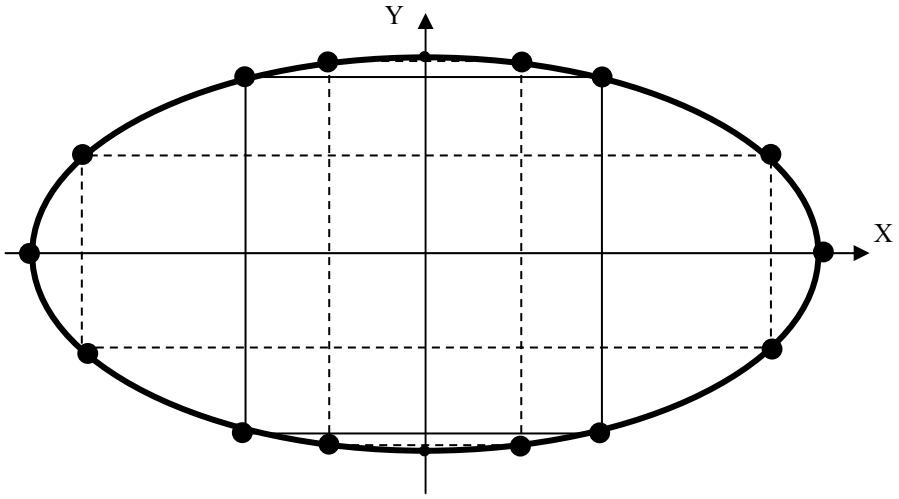


Рис. 2 К поиску «суперузлов» на границе области

В работе [9] приведены следующие значения максимальной высоты «холма» Прандтля: по МКЭ получено $U_0 = 0{,}793$, по МГЭ – $U_0 = 0{,}791$. Точное значение (при $a = 2$, $b = 1$) $U_0 = 0{,}8$. Заметим, что точное значение U_0 можно получить гармоническим усреднением двух экстремальных граничных значений гармонической функции в вершинах эллипса. Из этого следует, что каждая четверть эллиптической границы содержит точку (узел «сверхсходимости»), в которой граничное значение в точности равно гармоническому среднему экстремальных граничных значений. Понятно, что каждое промежуточное значение из области изменения гармонической функции на границе повторяется в 4 узлах – вершинах вписанного прямоугольника (рис. 2). Вершины прямоугольников находятся в точках пересечения окружностей $x^2 + y^2 = \rho^2$ $(1 < \rho < 2)$ с контуром эллипса. Каждый прямоугольник является простым вычислительным шаблоном для определения U_0. При этом шаблоны, вытянутые вдоль малой оси эллипса, занижают результат, остальные (кро-

ме одного) – завышают. Легко установить, что в этой бесконечной серии только один шаблон (квадрат, вписанный в эллипс) дает точный результат $U_0 = 0{,}8$.

Интересно, что квадрат радиуса окружности, описанной около квадратного шаблона, равен среднему гармоническому квадратов радиусов вписанной ($r = 1$) и описанной ($R = 2$) окружностей. Иначе говоря, в бесконечной серии концентрических окружностей существует одна «среднегармоническая» в смысле площади круга. Она и определяет узлы «сверхсходимости», позволяющие реализовывать простую процедуру гармонического усреднения граничных значений. Важно отметить, что добавление новых расчетных узлов на контуре не улучшает результат. Фактически, достаточно одного узла.

В заключение сопоставим точное значение геометрической крутильной жесткости (7) с приближенными оценками, полученными в [9] и настоящей работе:

$$I = \begin{cases} 5{,}026 & \text{– } \textit{точное значение}, \\ 4{,}560 & \text{– } \textit{конечные элементы}, \\ 4{,}487 & \text{– } \textit{граничные элементы}, \\ 5{,}026 & \text{– } \textit{гармоническое усреднение}. \end{cases}$$

Выводы. В несеточных алгоритмах для решения граничных задач важную роль играют узлы повышенной точности, образующие простые и удобные вычислительные шаблоны. При этом качество расчетных узлов (удачное расположение) гораздо важнее их количества. Представляет интерес поиск узлов «сверхсходимости» на эллипсоиде в трехмерной задаче типа Прандтля для уравнения Пуассона.

The algorithm of search of points of superconvergence in procedure of harmonious averaging boundary potentials is described.

1. Стренг Г., Фикс Дж. Теория метода конечных элементов.– М.: Мир, 1977.– 349 с.
2. Fung Y.C. Foundations of Solid Mechanics, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.Y., 1965.– P. 162–170.
3. Сегерлинд Л. Применения метода конечных элементов.– М.: Мир, 1979.– 392 с.
4. Хомченко А.Н. Случайные блуждания и конечноэлементные аппроксимации температурных полей // Матем. модели, методы решения и оптимального проектиров. гибких пластин и оболочек: Межвуз. сб. науч. тр.–Саратов: СПИ, 1988.– С. 80–82.
5. Хомченко А.Н. Вероятностные модели и алгоритмы вычислительной механики для областей сложной геометрии // Респ. конф. «Эффектив. числ. методы решения краевых задач механики твердого деформируемого тела»: Тез. докл.– Харьков: ХИСИ, 1989.– С. 137–138.
6. Лур'є І.А., Хомченко А.Н. Вузли суперзбіжності та спосіб обертання симплекса// Крайові задачі для дифер. рівнянь: Зб. наук. пр.– К.: Ін-т математики НАНУ, 1998.– С. 201–204.
7. Прочность, устойчивость, колебания. Справочник в 3-х томах. Том 1.– М.: Машиностроение, 1968.– 831 с.
8. Prandtl L. Zur Torsion von prismatischen Staben. Phys. Zcitschr., 4, 1903.– S. 758–759.
9. Бреббия К., Уокер С. Применение метода граничных элементов в технике.– М.: Мир, 1982.– 248 с.

 ISBN 7-776-8361-7

УДК 004.942:669

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРАВИЛ КЛЕТОЧНЫХ АВТОМАТОВ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ЗАТВЕРДЕВАНИЯ КВАЗИРАВНОВЕСНЫХ БИНАРНЫХ СПЛАВОВ

Михайловская Т.В., Михалев А.И., Гуда А.И.

Введение. Математическое описание реальных металлургических процессов, связанных с затвердеванием, имеет значительное отличие от классической краевой задачи за счет множества факторов. При этом наиболее важные из них обусловлены: выделением тепла при фазовом переходе, который описывается сложной диаграммой состояний; переносом тепла за счет конвективных потоков в жидкой фазе; учетом реальных граничных условий теплообмена; неоднородностью свойств сплава; зависимостью теплофизических параметров от температуры. С другой стороны, математическое моделирование процесса затвердевания позволяет заменить дорогостоящие натурные эксперименты вычислительными при внедрении новых металлургических технологий или адаптации имеющихся к новым рыночным условиям. Это приводит к повышению качества изделий металлургического производства и снижению их себестоимости в целом.

Анализ методов решения проблемы. Моделирование металлургических процессов затвердевания при наличии фазовых переходов предполагает проведение всех этапов синтеза нелинейных математических моделей, динамика которых, как правило, описывается нестационарными дифференциальными уравнениями в частных производных. В свою очередь, для изучения такой динамики процессов затвердевания существует ряд подходов. Первый из них связан с получением аналитического решения задачи теплопереноса для систем с подвижными границами фаз, развитый Й. Стефаном, К. Шварцем [1]. Вторая группа методов связана с численными сеточными методами решения задачи затвердевания при наличии фазового перехода [2, 3, 4]. Математическая модель, основанная на модернизованной физико-химической модели термодинамической функции – свободной энергии Гиббса для многокомпонентных сплавов предполагает наличие большого количества экспериментальных данных о физико-химических процессах сопровождающих затвердевание [5]. С другой стороны, в последнее время широкое развитие получили интеллектуальные методы моделирования нелинейных динамических систем, основанные на применении клеточно-автоматной парадигмы. При этом машина клеточных автоматов представляется системой, поведение которой описывается на основе природных свойств объекта моделирования в терминах локальных зависимостей [6, 7], что обеспечивает построения довольно простых расчетных алгоритмов и позволяет избежать проблем с аппроксимацией, сходимостью и сложными сетками, имеющих место в разностных методах моделирования поведения распределенных динамических систем.

Целью настоящего исследования является построение клеточно-автоматных правил для моделирования фазовых переходов в квазиравновесных бинарных сплавах и исследование возможности линейной аппроксимации сложных термодинамических зависимостей при описании процесса затвердевания с фазовыми переходами на базе клеточных автоматов.

Математическое моделирование процесса затвердевания с использованием клеточно-автоматной модели предполагает построение правил для машины клеточных автоматов, которые описывают термодинамические особенности процесса затвердевания с учетом фазового перехода и, в свою очередь, определяют такие состояния клетки как: «расплав», «зона затвердевания», «затвердевшая», а также правила перехода клетки из одного состояния в другое [8, 9].

Состояние клетки однозначно определяется ее удельной энергией, которая в равновесном состоянии однозначно связана с температурой и фазовым состоянием единичного объема

$$q = \frac{Q}{\rho h S}, \tag{1}$$

где q – удельная энергия клетки, $Дж/кг$; Q – количество теплоты, аккумулированное в клетке, $Дж$; ρ – плотность, $кг/м^3$; h – длина клетки, $м$; S – площадь боковой поверхности клетки, $м^2$. Теплосодержание клетки Q и его изменение определяется из уравнения Фурье

$$Q = \frac{kST}{h}\tau, \ \Delta Q = \frac{kS\Delta T}{h}\tau, \tag{2}$$

где $\Delta Q, Дж$ количество тепла прошедшего через боковую поверхность S за время τ, c при разности температур ΔT, $К$. k – коэффициент теплопроводности, $Вт/(мК)$.
С другой стороны, удельная энергия определяется как интеграл теплоемкости c, $Дж/(кг\,К)$ по температуре и обеспечивает получение однозначной зависимости $q(T)$ при положительной определенности непрерывной функции $c(T)$

$$q = \int_0^T c(x)\,dx. \tag{3}$$

Для математического моделирования затвердевания с учетом фазовых переходов необходимо помимо зависимости удельной энергии от температуры знать динамику выделения скрытой теплоты затвердевания, которая вносит существенный вклад в изменение удельной энергии клетки в температурном интервале затвердевания. Исходя из обобщенной схемы работы клеточно-автоматного алгоритма (рис. 1), математическое моделирование затвердевания при наличии фазовых переходов требует нахождения взаимосвязи удельной энергии клетки с ее температурой и количеством жидкой фазы. Основной трудностью при этом является определение зависимости динамики выделения скрытой теплоты фазового перехода $L, Дж/кг$ в температурном интервале затвердевания.

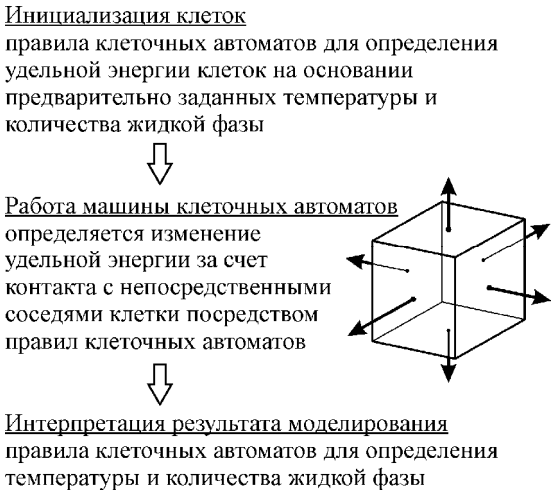


Рис. 1 Схема работы машины клеточных автоматов при моделировании процесса затвердевания

Термодинамическая модель затвердевания бинарного сплава основана на следующих предположениях: теплота фазового перехода выделяется внутри интервала затвердевания, ограниченного равновесными значениями ликвидуса и солидуса, соответствующими данному исходному содержанию растворимой примеси в расплаве; темп затвердевания

 ISBN 7-776-8361-7

определяется из равновесной диаграммы состояния сплава с использованием «правила рычага» [10].

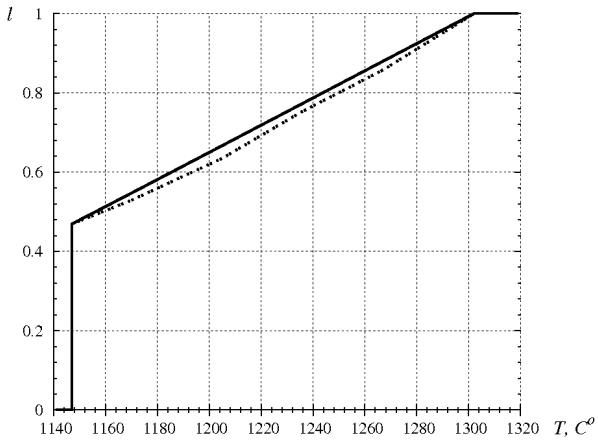


Рис. 2 Зависимость количества жидкой фазы от температуры для бинарного сплава с содержанием углерода 3.1%

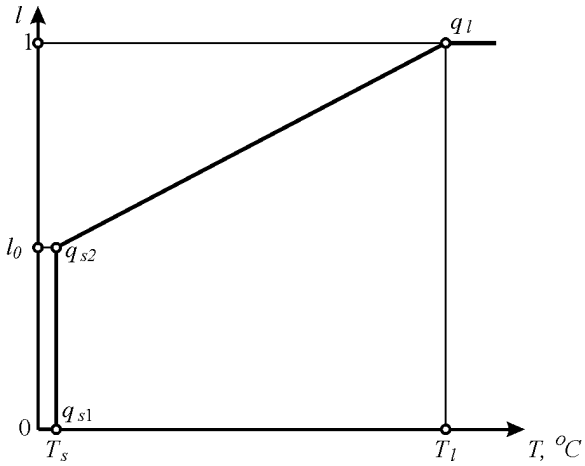


Рис. 3 Схематическое изображение зависимости количества жидкой фазы от температуры для бинарного сплава

На рис. 2 приведена динамика выделения твердой фазы в процессе затвердевания сплава с содержанием углерода 3.1%, который относится к высокопрочным чугунам, широко применяемым в металлургии (пунктирная линия отображает зависимость, полученную по диаграмме состояний, сплошная линия – аппроксимированную кусочно-линейной функцией). Максимальный модуль отклонения для экспериментальной и аппроксимированной зависимостей на наклоном участке графика составляет 5%, что позволяет использовать в дальнейших расчетах линейную зависимость количества жидкой фазы от температуры в зоне фазового перехода.

Исходя из рис. 3, фазовый переход в бинарном сплаве при равновесном затвердевании можно условно разбить на два этапа: первый этап происходит во всем температурном интервале затвердевания и характеризуется практически равномерным выделением теплоты фазового перехода, что дает возможность однозначно сопоставить температуре количество жидкой фазы, второй этап происходит при температуре солидус. При этом температурный интервал затвердевания отсутствует и температуре солидуса можно сопоставить ряд фазовых состояний, что и порождает неоднозначность, а стало быть, сложности при моделировании процесса затвердевания рассматриваемых сплавов.

На рис. 3 схематически изображена зависимость количества жидкой фазы от температуры для бинарного сплава и указаны принятые условные обозначения: T_s – температура солидус, ^oC; T_l – температура ликвидус, ^oC; l – количество жидкой фазы, $[0...1]$; q_l, q_{s1} – удельная энергия начала и завершения фазового перехода, $Дж/кг$. Исходя из принятых обозначений, первый этап фазового перехода протекает в интервале температур $(T_s, T_l]$ при этом выделяется l_0 количества твердой фазы. Второй этап протекает при температуре T_s и при этом формируется $(1-l_0)$ количества твердой фазы.

Правило клеточных автоматов для определения полной удельной энергии, которая зависит от начальной температуры и фазового состояния, представляет собой сумму энергий теплопередачи и фазового перехода:

$$q(T,l)=\begin{cases} c_sT, \quad T<T_s, l=0, \\ c_sT_s+lL, \quad T=T_s, l\in[0;l_0], \\ c_sT+\dfrac{(T-T_s)^2}{2}\dfrac{c_l-c_s}{T_l-T_s}+(T-T_s)\dfrac{1-l_0}{T_l-T_s}L+l_0L, \quad T(T_s;T_l), l\in[l_0;1], \\ c_sT_l+0.5(c_l-c_s)(T_l-T_s)+c_l(T-T_l)+L, \quad T>T_l, l=1. \end{cases} \tag{4}$$

Согласно (4) значения энергий, характеризующих фазовый переход, определяются

$$q_{s1}=c_sT_s, \quad q_{s2}=c_sT_s+Ll_0, \quad q_l=c_sT_l+0.5(T_l-T_s)(c_l-c_s)+L. \tag{5}$$

Зависимость количества жидкой фазы от удельной энергии определяется правилом

$$l(q)=\begin{cases} 0, \quad q<q_{s1}, \\ (q-q_{s1})l_0/(q_{s2}-q_{s1}), \quad q\in[q_{s1};q_{s2}], \\ l_0+\dfrac{-\left(c_s\dfrac{T_l-T_s}{1-l_0}+L\right)+\sqrt{\left(c_s\dfrac{T_l-T_s}{1-l_0}+L\right)^2-2\dfrac{(c_l-c_s)(T_l-T_s)}{(1-l_0)^2}(c_sT_s+l_0L-q)}}{(c_l-c_s)(T_l-T_s)/(1-l_0)^2}, \\ \qquad\qquad q\in[q_{s2};q_l], \\ 1, \quad q>q_l. \end{cases} \tag{6}$$

Правило взаимосвязи температуры и удельной энергии клетки имеет вид

$$T(q)=\begin{cases} q/c_s, \quad q<q_{s1}, \\ T_s, \quad q\in[q_{s1};q_{s2}], \\ T_s+\dfrac{-\left(\dfrac{1-l_0}{T_l-T_s}L+c_s\right)+\sqrt{\left(\dfrac{1-l_0}{T_l-T_s}L+c_s\right)^2-2\dfrac{c_l-c_s}{T_l-T_s}(l_oL+c_sT_s-q)}}{(c_l-c_s)/(T_l-T_s)}, \quad q\in[q_{s2};q_l], \\ T_l+(q-q_l)/c_l, \quad q>q_l. \end{cases} \tag{7}$$

На рис. 4 и 5 представлены термодинамические зависимости для бинарных сплавов с теплофизическими параметрами, указанными в таблице 1. Удельная теплоемкость тестового бинарного сплава в состоянии ликвидус и солидус отличается на $1016\,\%$,что представляет значительное отличие. Для реальных металлургических сплавов значительное отличие значения теплоемкости в различных фазовых состояниях несвойственно и составляет в данном случае $11{,}6\,\%$.

Таблица 1

Теплофизические параметры бинарных сплавов

Теплофизический параметр	Сплав			
	тестовый		реальный	
	солидус	ликвидус	солидус	ликвидус
Температура, ^oC	1147	1302	1147	1302
Плотность, $кг/м^3$	7200	7000	7200	7000
Удельная теплоемкость, $Дж/(кг\,K)$	750	8370	750	837
Коэффициент теплопроводности, $Вт/(м\,K)$	28	20	28	20
Скрытая теплота фазового перехода $L=330\,кДж/кг$.				

 ISBN 7-776-8361-7

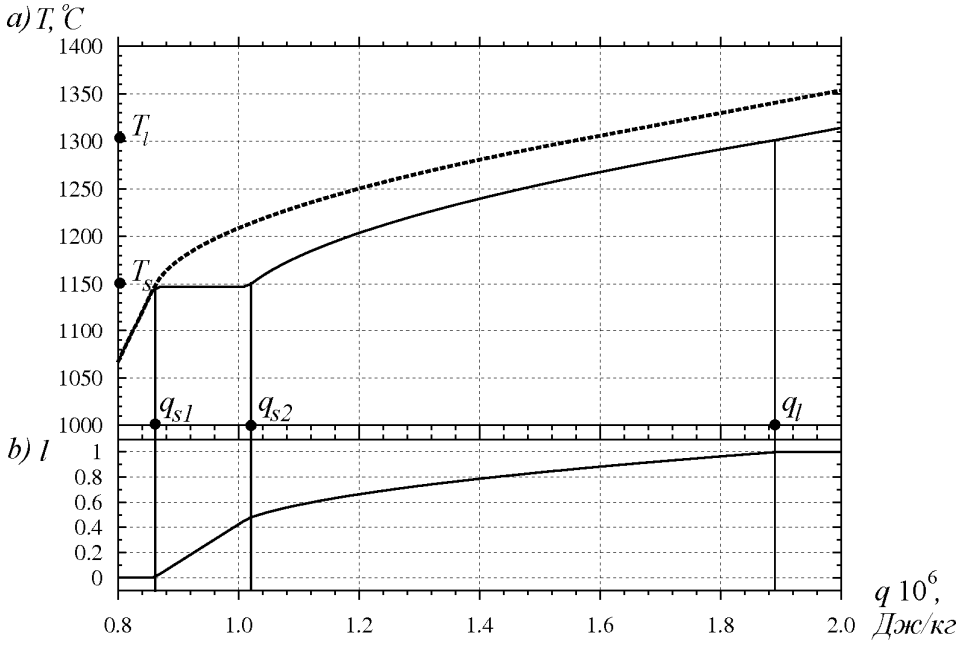


Рис. 4 Термодинамические зависимости для тестового бинарного сплава:
а) температура от удельной энергии,
b) количество жидкой фазы от удельной энергии

Зависимости 4 (а) и 5 (а) представляют собой взаимосвязь температуры и удельной энергии, где сплошная линия отображает термодинамические зависимости для сплава, обладающего скрытой теплотой фазового перехода, а пунктирная – при ее отсутствии, что подтверждает необходимость корректного физического и математического описания фазового перехода, для последующего моделирования процесса затвердевания в бинарных квазиравновесных сплавах.

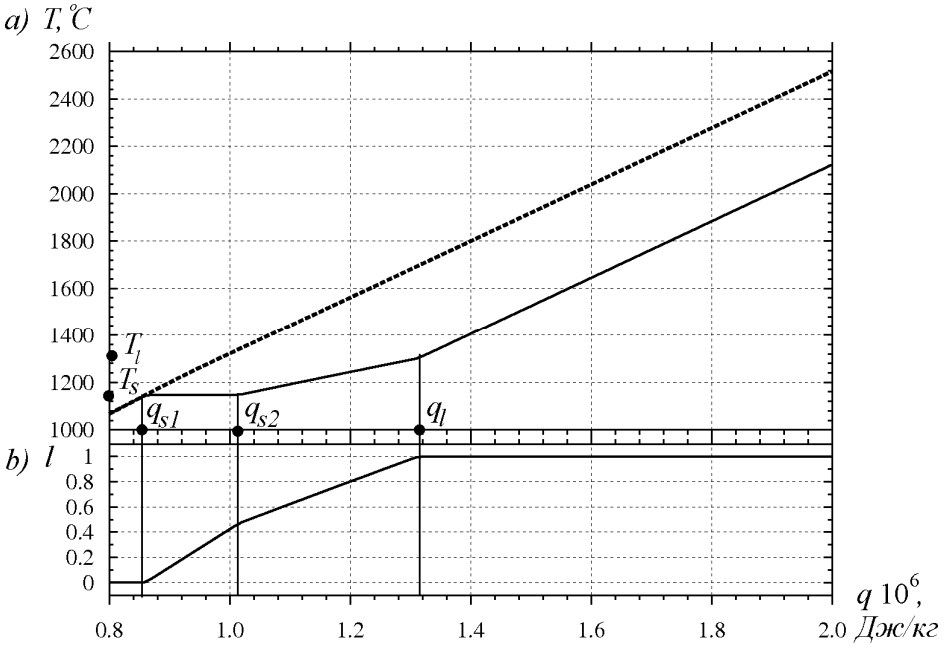


Рис. 6 Термодинамические зависимости для бинарного сплава:
а) температура от удельной энергии,
b) количество жидкой фазы от удельной энергии

Анализ зависимостей температуры и количества жидкой фазы от удельной энергии, для двух принципиально разных по теплофизическим параметрам сплавав (рис. 4, 6) пока-

зал, что нелинейная зависимость в значительной степени проявилась для тестового сплава, у которого значения удельной теплоемкости для состояний ликвидус и солидус отличается более чем в десять раз. Удельная теплоемкость большинства сплавов применяемых в металлургии и машиностроении для состояния ликвидус и солидус отличается не более чем на 25%. Сплав, теплофизические параметры которого приведены в таблице, относится к их числу. Термодинамические зависимости (рис. 5) реального металлургического сплава носят явно выраженный линейный характер, что дает возможность для упрощения работы алгоритма и уменьшения громоздкости формул (4, 6, 7) использовать кусочно-линейную аппроксимацию при описании термодинамических характеристик клетки. В этом случае правила клеточных автоматов приобретут вид:

– удельная энергия зависит от начальной температуры и фазового состояния

$$q(T,l)=\begin{cases} c_sT, \quad T<T_s, l=0, \\ c_sT_s+lL, \quad T=T_s, l\in[0;l_0], \\ c_sT+l_0L+(T-T_s)\dfrac{c_sT_l+\frac{1}{2}(T_l-T_s)(c_l-c_s)-c_sT_s}{T_l-T_s}+ \\ \qquad +(T-T_s)\dfrac{1-l_0}{T_l-T_s}L, \quad T(T_s;T_l), l\in[l_0;1], \\ c_sT_l+\frac{1}{2}(c_l-c_s)(T_l-T_s)+c_l(T-T_l)+L, \quad T>T_l, l=1. \end{cases} \tag{8}$$

– количество жидкой фазы от удельной энергии

$$l(q)=\begin{cases} 0, \quad q<q_{s1}, \\ (q-q_{s1})\dfrac{l_0}{q_{s2}-q_{s1}}, \quad q\in[q_{s1};q_{s2}], \\ l_0+(q-q_{s2})\dfrac{1-l_0}{q_l-q_{s2}}, \quad q\in[q_{s2};q_l], \\ 1, \quad q>q_l. \end{cases} \tag{9}$$

– температура от удельной энергии

$$T(q)=\begin{cases} \dfrac{q}{c_s}, \quad q<q_{s1}; \\ T_s, \quad q\in[q_{s1};q_{s2}]; \\ T_s+(q-q_{s2})\dfrac{T_l-T_s}{q_l-q_{s2}}, \quad q\in[q_{s2};q_l]; \\ T_l+\dfrac{q-q_l}{c_l}, \quad q>q_l. \end{cases} \tag{10}$$

На рис. 6 – 9 представлены зависимости температуры и количества жидкой фазы от удельной энергии, где сплошной линией представлены зависимости, полученные с использованием нелинейных соотношений 6 и 7, пунктирной – аппроксимированные зависимости, полученные на основании соотношений 9 и 10.

 ISBN 7-776-8361-7

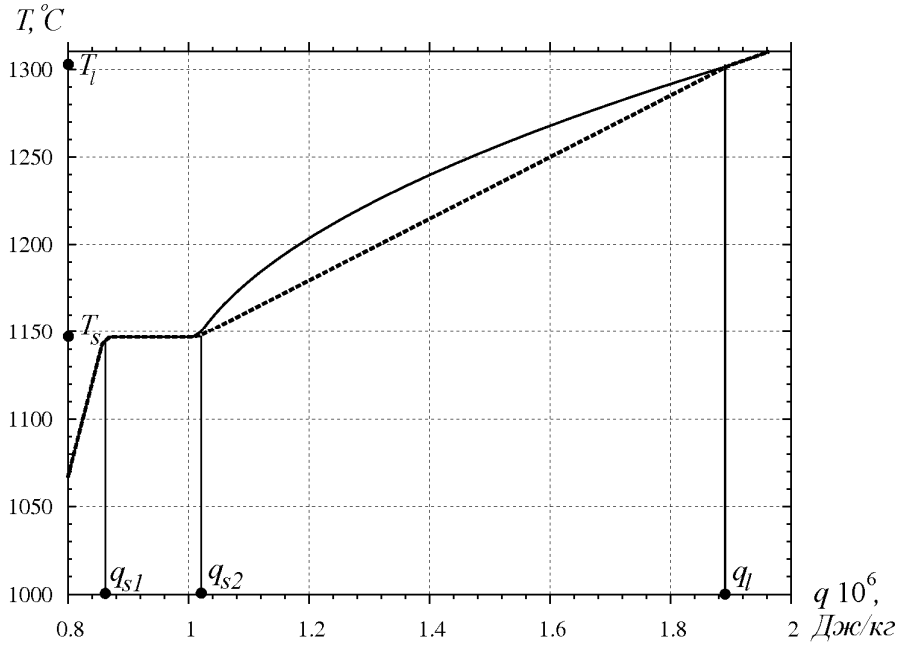


Рис. 6 Зависимость температуры от
удельной энергии для тестового бинарного сплава

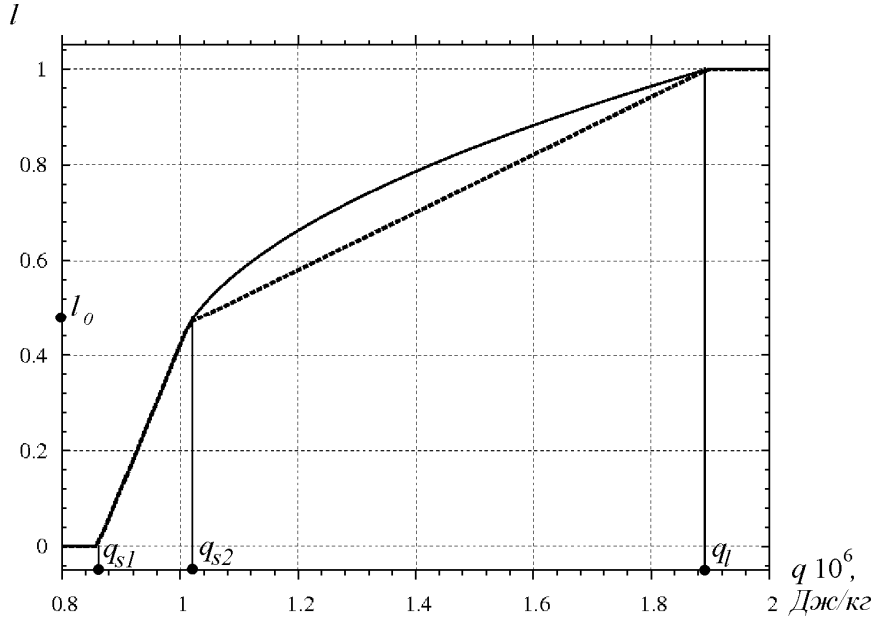


Рис. 7 Зависимость количества жидкой фазы от
удельной энергии для тестового бинарного сплава

Максимальный модуль отклонения для аналитического решения и аппроксимированной зависимости, представленной на рис. 6 составляет 16.7% , для рис. 8 – 16% . Большие отклонения связаны с значительной разницей значений удельной теплоемкости в состоянии ликвидус и солидус.

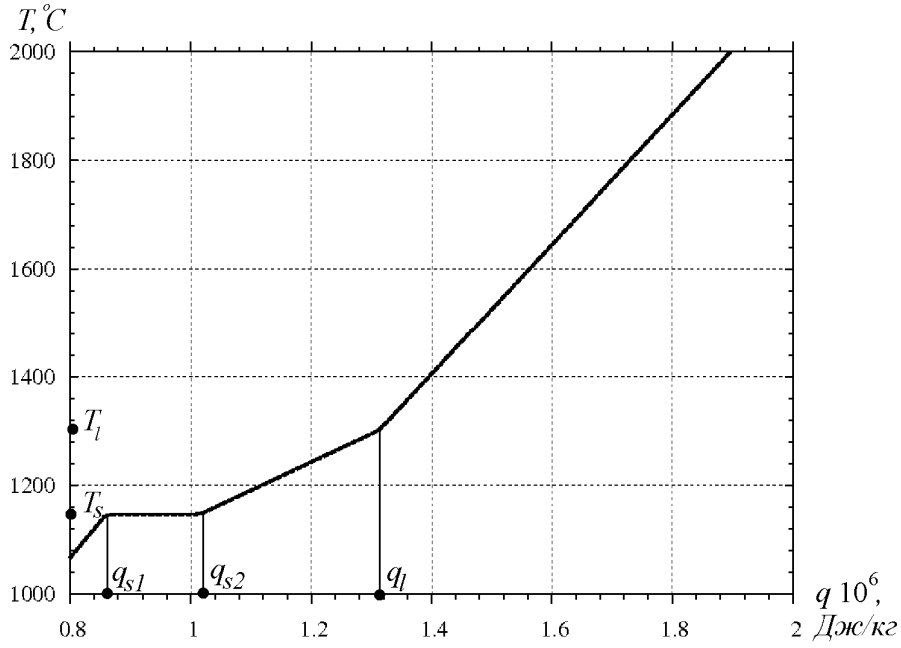


Рис. 8 Зависимость температуры от
удельной энергии для бинарного сплава

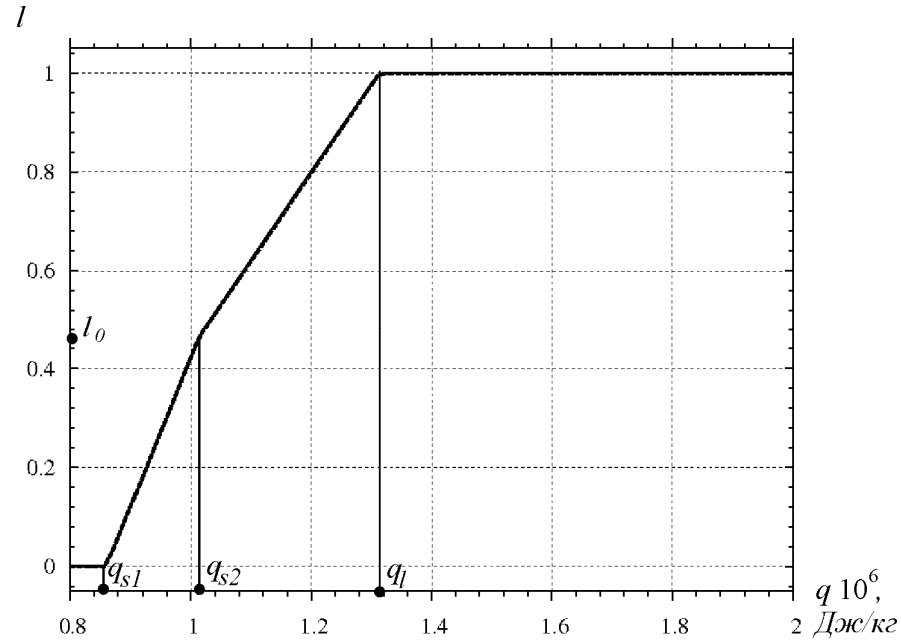


Рис. 9 Зависимость количества жидкой фазы от
удельной энергии для бинарного сплава

Максимальный модуль отклонения для аналитического решения и аппроксимированной зависимости, представленной на рис. 8 составляет 0.56%, для зависимости рис. 9 – 0.55%. Полученные отклонения позволяют использовать линейную аппроксимацию при описании термодинамических зависимостей квазиравновесных бинарных сплавов.

Сравнение максимальных модулей отклонений термодинамических зависимостей для двух рассматриваемых сплавов, показало целесообразность применения клеточно-автоматных правил взаимосвязи аппроксимированных прямой для сплавов, удельная теплоемкость которых в состоянии ликвидус и солидус отличается не более чем на 25%.

 ISBN 7-776-8361-7

Заключение

1. Построены клеточно-автоматные правила для описания фазового перехода в бинарном квазиравновесном сплаве.

2. Для бинарного квазиравновесного сплава с содержанием углерода 3.1% определена динамика выделения скрытой теплоты фазового перехода в температурном интервале затвердевания по диаграмме состояния с использованием «правила рычага». Установлено, что нелинейную зависимость количества жидкой фазы от температуры для бинарных квазиравновесных сплавов возможно аппроксимировать кусочно-линейной функцией, при этом ошибка аппроксимации составляет 5%.

3. Установлено, что для сплавов, значение удельной теплоемкости которых в состоянии ликвидус и солидус отличается не более чем на 25%, применение кусочно-линейных правил взаимосвязи термодинамических параметров: удельной энергии клетки, температуры и количества жидкой фазы приводит к значительному упрощению расчетного алгоритма и вносит погрешность вычисления порядка 0.5%, что допустимо при термодинамических расчетах.

Thermodynamic bases of cellular automata construction rules at mathematical modelling solidification are considered. Interrelation rules of cell net energy and its condition in view of phase transition at solidification are formulated. Research of cellular automata rules for quasiequilibrium binary alloys solidification modelling are carried out.

1. Гуляев Б.Б. Теория литейных процессов / Гуляев Б.Б. – Л. Машиностроение, 1976. – 216 с.
2. Зарубин В.С. Математическое моделирование в технике / Зарубин В.С. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 495 с.
3. Назоратин В.В. Технология изготовления стальных отливок ответственного назначения / Назоратин В.В. – М.: Машиностроение, 2006. – 234 с.
4. Никитенко Н.И Теория тепломассопереноса / Никитенко Н.И. – Киев: Наук.думка, 1983. – 352 с.
5. Голод В.М. Теория, компьютерный анализ и технология стального литья / В.М. Голод, В.А. Денисов. – СПб.: ИПЦ СПГУТД, 2007. – 610 с.
6. Ванаг В.К. Исследование пространственно распределенных динамических систем методами вероятностного клеточного автомата / В.К. Ванаг // Успехи физических наук. – 1999. – Том 169, № 5. – С. 481 – 505.
7. Тоффоли Т. Машины клеточных автоматов / Т. Тоффоли, Н. Марголус. – М.: Мир, 1991. – 280 с.
8. Михайловская Т.В. Применение клеточных автоматов для математического моделирования фазового перехода в эвтектических сплавах / Т.В. Михайловская // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных трудов. 2007. – Выпуск 5 (53). – С. 162 – 170.
9. Михайловская Т.В. Трехмерная клеточно-автоматная модель процесса затвердевания металлов и сплавов / Т.В. Михайловская, А.И. Михалев // Сучасні проблеми металургії. Наукові праці. 2006. – Том 9. – С. 102 – 112.
10. Самойлович Ю.А. Системный анализ кристаллизации слитка / Самойлович Ю.А. – Киев: Наукова думка, 1983. – 246 с.

УДК 621.372:538.56

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ ПРИНЯТИЯ РЕЛЕВАНТНЫХ РЕШЕНИЙ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯМИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ С УЧЕТОМ ЛИЧНОСТНЫХ И ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ НА БАЗЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ

Передерий В.И., Еременко А.П.

Введение.

Современные автоматизированные системы характеризуются наличием сложного объекта управления с распределенными параметрами, неоднородных и интенсивных информационных потоков, поступающих к пользователю в режиме реального времени. Вследствие этого работа пользователя является напряженной, а последствия ошибок при управлении технологическими объектами – значительный материальный ущерб, человеческие жертвы и т. д. [1] Вследствие этого актуальной является разработка на начальной стадии проектирования моделей и алгоритмов, позволяющих повысить как безопасность функционирования автоматизированных систем так и принятия релевантных решений при управлении.

Постановка проблемы.

Анализ работ [1,2] показывает, что наиболее вероятной причиной неработоспособности автоматизированной системы является человеческий фактор. В процессе функционирования системы адекватность действий пользователя может существенно изменяться вследствие воздействия на него внешних и внутренних факторов. Мерой адекватности действий пользователя может служить релевантность принимаемых им решений.

В литературе [1– 4] подробно рассмотрены вопросы определения комфортной рабочей среды пользователя системы но до настоящего времени мало внимания уделялось разработке алгоритмов, позволяющих оценить релевантность принимаемых решений с учетом внешних и личностных факторов на процесс по безопасности работы автоматизированных систем.

Цель работы.

Разработка математических моделей и алгоритмов оценки релевантности принимаемых пользователем решений с учетом его личностных и внешних факторов, влияющих на работу автоматизированной системы в целом.

Изложение основного материала.

Модель релевантности решений пользователя. При разработке математических моделей влияния характеристик пользователя на работу автоматизированных систем необходимо учитывать следующие его особенности: [2]

а) зависимость характеристик состояния от процессов физиологической и психологической природы,

б) невозможно полностью контролировать физические и психические процессы, происходящие в организме пользователя

в) зависимость состояния от длительности и условий работы пользователя

г) разброс характеристик начального состояния вследствие влияния социального окружения.

Вследствие указанных особенностей для построения параметрической модели релевантности целесообразно использовать аппарат нечетких множеств [5]. В работах [1, 2] указано, что на производительность пользователя автоматизированных систем значительное влияние оказывают факторы, которые можно разделить на две группы:

а) факторы, связанные с окружающей средой пользователя;

 ISBN 7-776-8361-7

б) факторы, связанные с текущим состоянием пользователя.

К первой группе относятся:

а) интенсивность шума *Nl*;

б) интенсивность вибраций *Vl*;

в) освещенность рабочего места *L*;

г) температура *T*;

д) влажность *HM*;

е) давление *P*;

ж) длительность работы пользователя T_w;

В состав группы факторов, связанных с текущим состоянием пользователя входят:

а) ограниченная информационная пропускная способность I_o;

б) степень утомленности пользователя *F*;

г) ограниченность времени принятия решения T_p;

д) несоответствие степени напряженности *TS*;

е) недостаточная концентрированность внимания *A*;

В работе [5] предложено описывать взаимосвязь между этими факторами и релевантностью решений пользователя с помощью операций нечеткой max-min композиции следующего вида:

$$\begin{gathered}\widetilde{R} = N_{RT} \circ \left(N_{TF} \circ \left\{N_{FTS} \circ T\widetilde{S} + N_{FTw} \circ \widetilde{T}_w\right\}\right) + \\ + N_{RP} \circ \left\{N_{PIO} \circ \left(N_{IOF} \circ \left(N_{FTS} \circ T\widetilde{S} + N_{FTw} \circ \widetilde{T}_w\right)\right) + \right. \\ \left. + N_{PF} \circ \left(N_{FTS} \circ T\widetilde{S} + N_{FTw} \circ \widetilde{T}_w\right) + N_{PA} \circ \left(N_{ATS} \circ T\widetilde{S} + N_{AM} \circ \widetilde{M}\right)\right\}; \\ T\widetilde{S} = N_{TST} \circ \widetilde{T} + N_{TSHM} \circ H\widetilde{M} + N_{TSL} \circ \widetilde{L} + N_{TSNL} \circ N\widetilde{L} \\ + N_{TSVL} \circ V\widetilde{L} + N_{TSVf} \circ V\widetilde{f} + N_{TSP} \circ \widetilde{P} + N_{TSI} \circ \widetilde{I},\end{gathered} \tag{1}$$

где $N_{i\,j}$ – нечеткое отношение, устанавливающее связь между величинами *i* и *j*.

Для повышения работоспособности пользователя могут быть использованы различные средства воздействия на него: подача звуковых колебаний определенных частот, изменение цветовой гаммы индикаторов и мониторов, стимуляция биологически активных точек и т. д.

Как правило, для конкретной автоматизированной системы могут быть использованы несколько способов воздействия на пользователя. В таком случае возникает задача выбора воздействия и его интенсивности, которые позволят обеспечить наибольшее значение релевантности принимаемых решений при учете ограничений на интенсивность и длительность воздействия. К настоящему моменту алгоритмы данной задачи отсутствуют.

При одновременном воздействии на пользователя используются *m* физических процессов, которые обозначим V_1, V_2, …, V_m. С каждым фактором F_i связана порядковая шкала $HF_i, i = 1,2,...,n,$ соответственно с каждым воздействием V_i связана порядковая шкала $HV_i, i = 1,2,...,m.$ Мощность шкал имеет обозначение MF_i, $i = 1, 2, \ldots, n$; $MV_j, j = 1,2,...,m.$ Точки шкал обозначим HF_{ij}, $j = 1, 2, \ldots, MF_i$ и $HV_{ij}, j = 1,2,...,MV_j$. Каждой точке шкалы целесообразно поставить в соответствие функцию принадлежности $\mu(H_{ij})$, которая определяет степень соответствия между данной точкой порядковой шкалы и значением фактора или воздействия в данный момент времени. В таком случае значение фактора F_i в данный момент времени полностью характеризуется нечетким множеством

$$\{HF_{i1}, \mu(HF_{i1}); HF_{i2}, \mu(HF_{i2}),..., HF_{iMFi}, \mu(HF_{iMFi})\}. \tag{2}$$

Аналогично необходимо описывать воздействия

$$\{HV_{i1}, \mu(HV_{i1}); HV_{i2}, \mu(HV_{i2}),..., HV_{iMVi}, \mu(HV_{iMVi})\}. \tag{3}$$

Таким образом, для описания всех воздействий на пользователя автоматизированной системы в данный момент времени необходимо указать значения функций принадлежности всех точек шкал каждого фактора и воздействия.

Формализовать связи между воздействиями на пользователя и факторами, влияющими на работу автоматизированной системы целесообразно с помощью матрицы связи C, размерность которой составляет $m \times n$. Элементы матрицы c_{ij} могут принимать значения 0 или 1 (соответственно при отсутствии или наличии связи между i-м воздействием и j-м фактором). Связь между нечетко описанными воздействием и фактором можно формализовать нечетким отношением [5].

Для определения оптимального воздействия необходимо найти максимум целевой функции – релевантности принимаемого пользователем решения:

$$\left.\begin{array}{c} \mathbf{DEFUZZ}\ (\tilde{R}) \rightarrow \mathrm{MAX}, \\ F_{1\,min} \le \mathbf{DEFUZZ}\ (F_1) \le F_{1\,max}, \\ F_{i\,min} \le \mathbf{DEFUZZ}\ (F_i) \le F_{i\,max}, \\ \ldots \\ F_{n\,min} \le \mathbf{DEFUZZ}\ (F_n) \le F_{n\,max}, \\ \\ V_{1\,min} \le \mathbf{DEFUZZ}\ (V_1) \le V_{1\,max}, \\ V_{i\,min} \le \mathbf{DEFUZZ}\ (V_i) \le V_{i\,max}, \\ \ldots \\ V_{m\,min} \le \mathbf{DEFUZZ}\ (V_m) \le V_{m\,max}. \end{array}\right\} \qquad (4)$$

Здесь **DEFUZZ ( )** – оператор дефаззификации, в качестве которого может быть использована функция нахождения центра тяжести COG [6].

Алгоритмы определения наибольшей релевантности. Поскольку для вычисления целевой функции используются недифференцируемые функции нахождения максимума и минимума двух аргументов [5] то для определения наибольшей релевантности целесообразно использовать генетические алгоритмы [7]. Особенностью таких средств оптимизации является использование операций, моделирующих эволюционный процесс в живой природе:

- кодирование значений параметров;
- отбор наилучших вариантов;
- комбинирование вариантов для получения пробных решений;
- создание новых вариантов путем сложения со случайной функцией.

Применение генетических алгоритмов требует использования системы кодирования, позволяющей отобразить все возможные варианты значений оптимизируемых параметров. Часто такая система строится на основе двоичной строки. Поскольку параметры автоматизированных систем описываются с помощью нечетких множеств, операцию кодирования можно выполнить путем преобразования возможных значений функции принадлежности в двоичную форму с требуемой дискретностью. Дискретность определения функции принадлежности представляет собой минимальное приращение значения функции принадлежности, которое может быть использовано для перебора вариантов в процессе оптимизации. Фактически эта величина определяет погрешность нахождения оптимального решения.

Данное преобразование является линейным и позволяет получить двоичную строку z_2 фиксированной длины L. Предварительно вещественное значение функции принадлежности μ преобразуется в целое значение z_{10}: [7]

$$z_{10} = \mathrm{INT}\left[\frac{\mu - \mu_{min}}{\mu_{max} - \mu_{min}}\left(2^L - 1\right)\right] = \mathrm{INT}\left[\mu\left(2^L - 1\right)\right],$$

где INT [] – операция целочисленного арифметического округления, μ_{min} и μ_{max} - соответственно минимальное и максимальное значения функции принадлежности, равные 0 и 1

 ISBN 7-776-8361-7

[8]. Затем десятичное значение z_{10} преобразуется в двоичное z_2, представляющее собой последовательность символов:

$$s_1, s_2, \ldots, s_{L-1}, s_L,$$

где $s_i = 0$ или 1 и представляет собой i-й бит двоичного числа z_2.

Погрешность определения оптимального значения параметра (функции принадлежности) составляет

$$\Delta\mu = \frac{1}{2\left(2^L - 1\right)}.$$

Обратное преобразование из двоичной строки в вещественное значение функции принадлежности выполняется по формуле [7]

$$r = \frac{\mu_{\max} - \mu_{\min}}{2^L - 1} z_{10} + \mu_{\min} = \frac{1}{2^L - 1} z_{10}.$$

Для каждой точки шкалы воздействия необходимо задать длину двоичной строки $L_{i,j}$, $i = 1, 2, \ldots, MV_j; j = 1, 2, \ldots, m$.

Для однозначного описания всей совокупности воздействий на пользователя автоматизированной системы достаточно выполнить конкатенацию всех двоичных строк, соответствующих точкам порядковых шкал каждого воздействия. Получаемая таким образом кодовая последовательность называется хромосомой [7]:

$$\{a_{1,1}\, a_{1,2} \ldots a_{1,MV1}\, a_{2,1}\, a_{2,2} \ldots a_{2,MV2}\, a_{m,1}\, a_{m,2} \ldots a_{m,MVm}\}$$

Здесь $a_{i,j}$ - двоичная строка, отображающая значение j-й точки шкалы i- го воздействия.

Тогда общую длину хромосомы можно определить по формуле [7]

$$L_\Sigma = \sum_{j=1}^{m} \sum_{i=1}^{MV_j} L_{i,j}.$$

Количество возможных вариантов решения поставленной задачи равно 2^{L_Σ}. Для случая трех воздействий на пользователя, каждое из которых описывает четырехточечной шкалой, и использования четырехсимвольной двоичной строки для кодирования каждой точки получим, что общая длина двоичной строки равна $L_\Sigma = 3 \cdot 4 \cdot 4 = 48$. Полный перебор всех возможных вариантов в данном случае не может быть применен для встраиваемых контроллеров автоматизированных систем, поскольку требует слишком больших затрат вычислительных ресурсов, и как следствие, не позволяет работать в режиме реального времени. Поэтому для таких задач целесообразно применение генетических алгоритмов оптимизации.

Множество пробных решений, мощность которого равна N_p, составляет популяцию решений. В качестве нулевого приближения можно использовать множество случайных двоичных строк, длина каждой из которых составляет L_Σ.

Для отбора наиболее перспективных решений, участвующих в последующей оптимизации производится селекция начальной популяции. Существует несколько методов селекции, в частности метод половинной селекции, метод пропорциональной селекции [9]. Последний позволит повысить скорость сходимости алгоритма, поэтому его использование целесообразно для решения поставленной задачи. Пропорциональную селекцию можно произвести по следующему алгоритму [7]:

Шаг 1. Для каждой хромосомы в популяции по формуле (1) рассчитывается значение целевой функции $R_i = \mathrm{DEFUZZ}\left(\widetilde{R}_i\right), i = 1,\ldots,N_p$.

Шаг 2. Вычисляется суммарное значение целевой функции

$$R_S = \sum_{i=1}^{N_p} R_i.$$

Шаг 3. Генерируется случайное число R_R в диапазоне от 0 до R_s.

Шаг 4. Последовательно производится сложение величин R_i до тех пор, пока значение суммы не превысит R_R. Хромосома, целевая функция которой была последней добавлена к сумме, отбирается для формирования последующего поколения.

Шаг 5. Шаги 3 и 4 повторяются для получения популяции следующего поколения

Операция селекции позволит выбрать лучшее решение из входящих в популяцию, однако не позволит сформировать решение, отличающееся от существующих в популяции. Эту задачу решает операция кроссовера (скрещивания), которая выполняется по следующему алгоритму: [7]

Шаг 1. Определяется порог кроссовера $P_c \in [0{,}4;\ 0{,}9]$, который характеризует интенсивность участия хромосом в скрещивании и получении новых решений.

Шаг 2. Для каждой пары хромосом, прошедших этап селекции генерируется случайное число $R_c \in [0;1]$.

Шаг 3. Если выполняется условие $R_c \le P_c$, то данная пара хромосом подвергается кроссоверу и выполняется переход к шагу 4, в противном случае она не изменяется, и выполняется переход к шагу 6.

Шаг 4. Генерируется случайное число R_L в диапазоне от 1 до $L - 1$, определяющее координату точки разрыва хромосомы (locus)

Шаг 5. Хромосомы P_1 и P_2, входящие в состав пары, подвергаемой кроссоверу, заменяются на хромосомы-потомки P_{N1} и P_{N2}, которые определяются по формулам:

$$P_{N1} = (P_1)_1, (P_1)_2, \ldots, (P_1)_{R_L}, (P_2)_{R_L+1}, (P_2)_{R_L+2}, \ldots, (P_2)_{R_L},$$

$$P_{N2} = (P_2)_1, (P_2)_2, \ldots, (P_2)_{R_L}, (P_1)_{R_L+1}, (P_1)_{R_L+2}, \ldots, (P_1)_{R_L},$$

где $(P_1)_2$ обозначает 2-й бит 1-й хромосомы, нумерация битов начинается с 1 и идет слева направо

Шаг 6. Шаги 2-5 повторяются, пока не будут обработаны все пары хромосом популяции.

Операция кроссовера позволяет комбинировать существующие решения, однако для получения принципиально новых решений необходимо привлекать дополнительную информацию. Решение этой задачи осуществляется операцией мутации, выполняемой по следующему алгоритму:

Шаг 1. Задается порог мутации, определяющий интенсивность процессов мутации и их влияние на генотип задачи $R_M = 1/L$,

Шаг 2. Из популяции выбирается хромосома,

Шаг 3. Выбирается бит хромосомы, начиная с первого,

Шаг 4. Генерируется случайное число P_M в диапазоне от 0 до 1,

Шаг 5. Если $P_M < R_M$, то выбранный бит инвертируется, в противном случае он не изменяется,

Шаг 6. Повторить шаги 3-5 до тех пор, пока не будет выбран последний бит текущей хромосомы,

Шаг 7. Повторить шаги 2-6 до тех пор, пока не будет выбрана последняя хромосома популяции,

В дополнение к указанным операциям может быть использован элитизм, при котором хромосома с наибольшим значением целевой функции не подвергается мутациям, а переходит в следующее поколение без изменений.

После применений всех перечисленных выше операций производится замена хромосом предшествующего поколения их потомками (либо переход в следующее поколение без изменений) и инкремент счетчика поколений. Затем последовательность операций селекции, кроссовера и мутации повторяется над полученной популяцией вплоть до нахождения максимума целевой функции.

Для оценки качества полученного решения целесообразно использовать среднее значение целевой функции по всей популяции. При нахождении максимального значения

 ISBN 7-776-8361-7

целевой функции необходимо выполнить обратное преобразование двоичной строки, кодирующей оптимальное решение и по указанным выше формулам вычислить значения функций принадлежности точек шкал воздействий, обеспечивающих оптимальное значение релевантности принимаемых решений пользователя

Для нахождения оптимальных значений факторов и воздействий может быть использован алгоритм, представленный на рисунках 1 и 2.

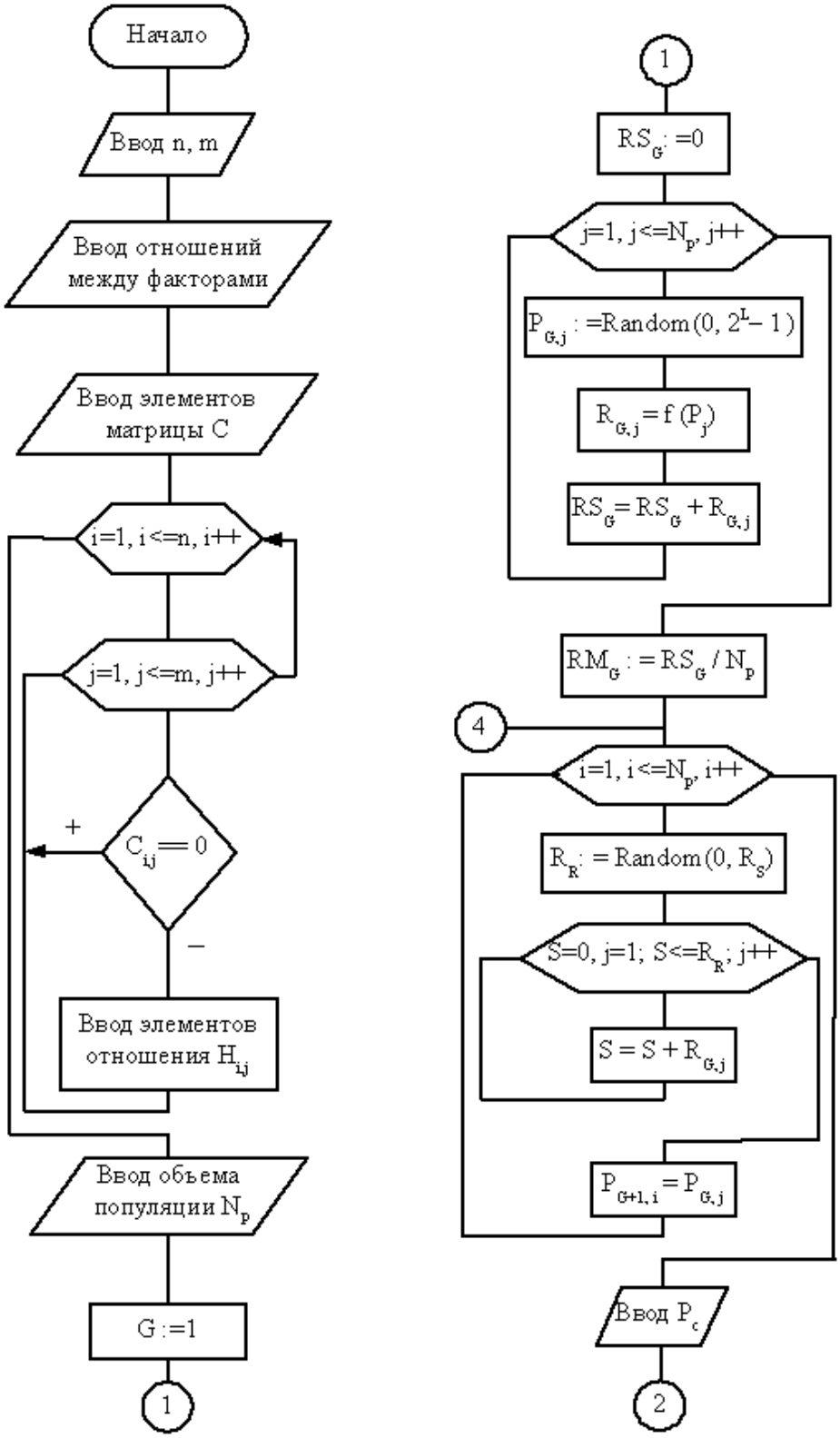


Рис. 1 Схема алгоритма оптимизации релевантности решений пользователя

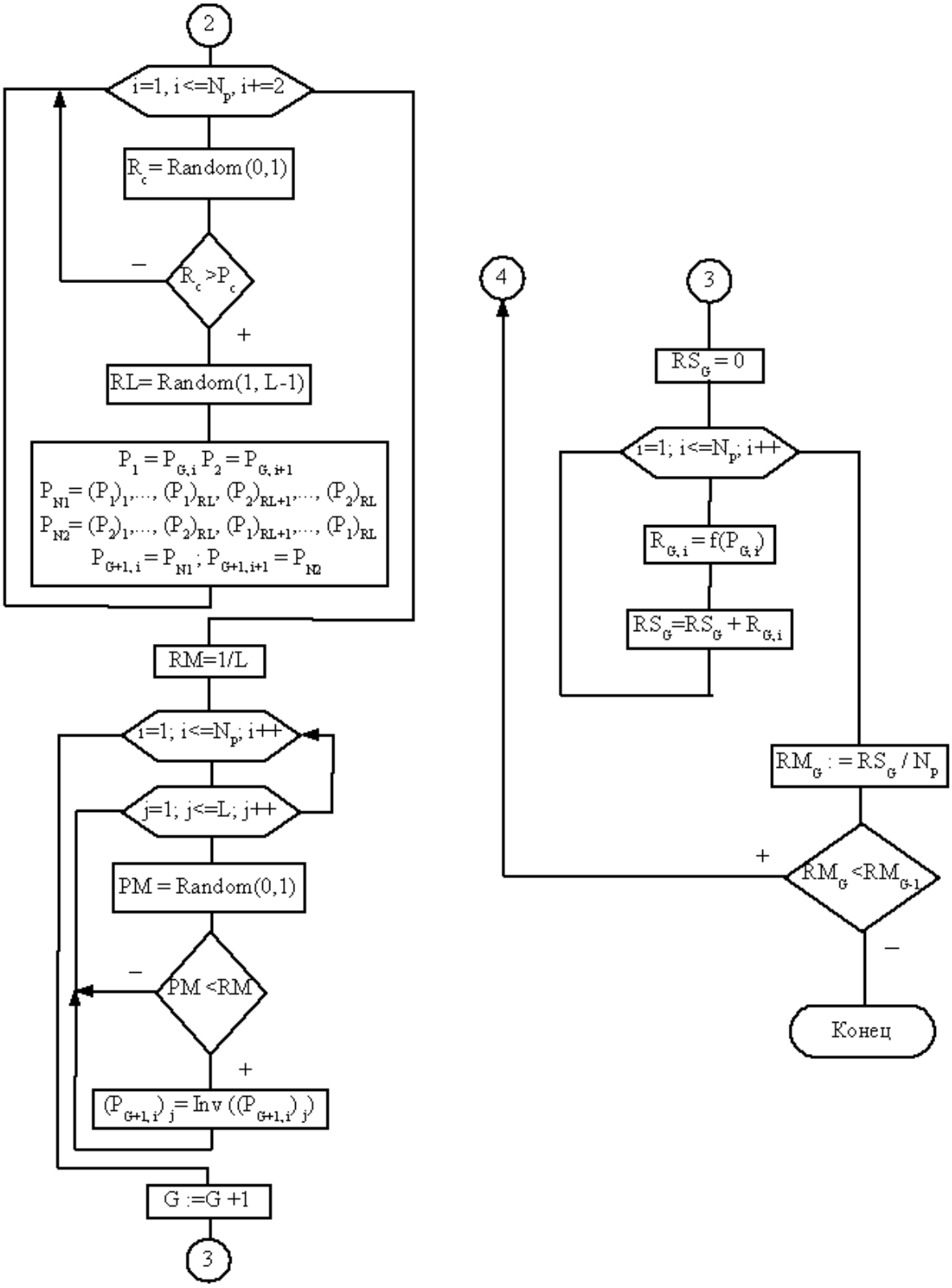


Рис. 2 Схема алгоритма оптимизации релевантности решений пользователя

В данном алгоритме использованы все рассмотренные выше операции генетической оптимизации.

На основе данного алгоритма было разработано программное обеспечение, позволяющее определять оптимальное воздействие на пользователя с учетом личностных факторов. Программа имеет 4 режима работы:

 ISBN 7-776-8361-7

1) установка связи факторов и воздействий;

2) задание элементов нечетких отношений, связывающих воздействия и факторы. В этом режиме задаются размерности порядковых шкал воздействий и факторов и в соответствии с указанной размерностью задаются элементы отношения;

3) настройка параметров алгоритма генетической оптимизации. В этом режиме задается объем популяции, длина двоичной строки, используемой для кодирования значений функций принадлежности, вид селекции, порог скрещивания и мутации;

4) расчет оптимального варианта воздействия, в этом режиме программа отображает значения функций принадлежности воздействий и максимальное значение релевантности решений пользователя. Если получено несколько вариантов воздействий, имеющих приближенно равные значения релевантности, программа позволяет выбрать для просмотра любой вариант из полученных.

Интерфейсы данных режимов представлены на рисунках 3-6.

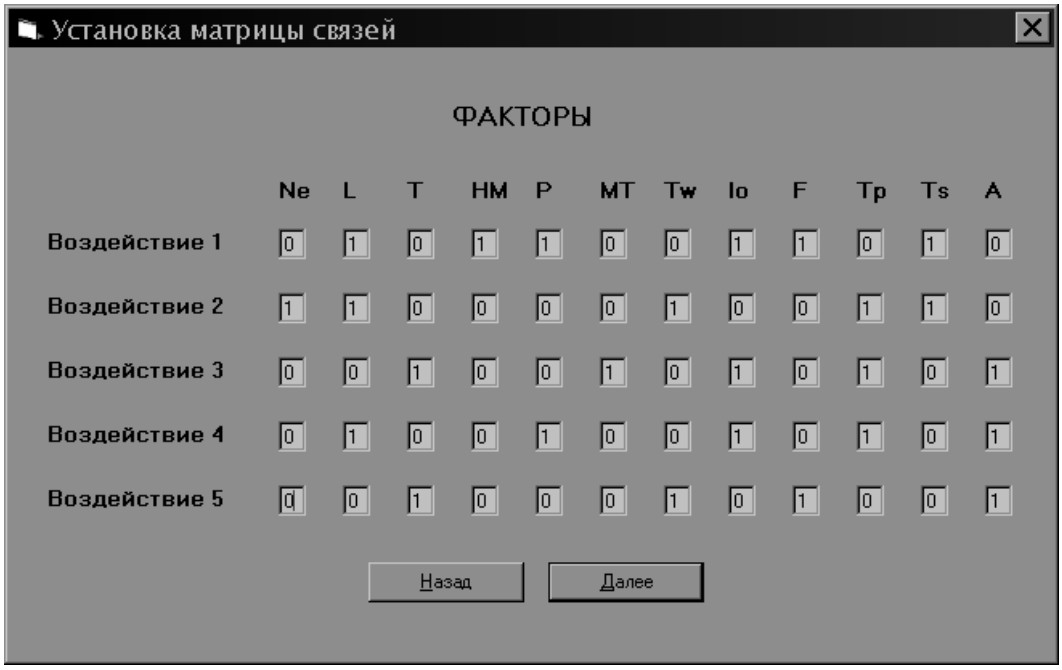


Рис. 3 Интерфейс режима установки матрицы связей

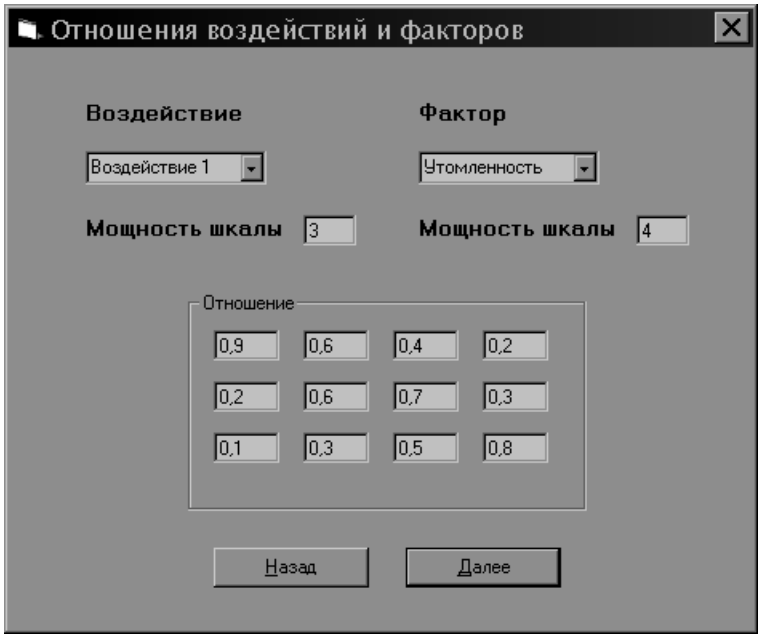


Рис. 4 Интерфейс режима ввода отношений воздействий шкал

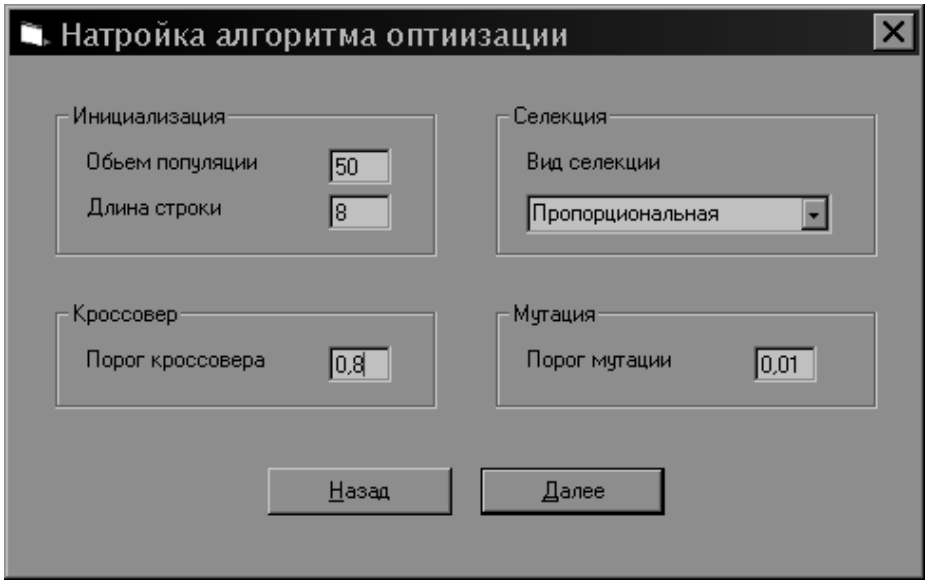


Рис. 5 Интерфейс режима настройки параметров алгоритма оптимизации

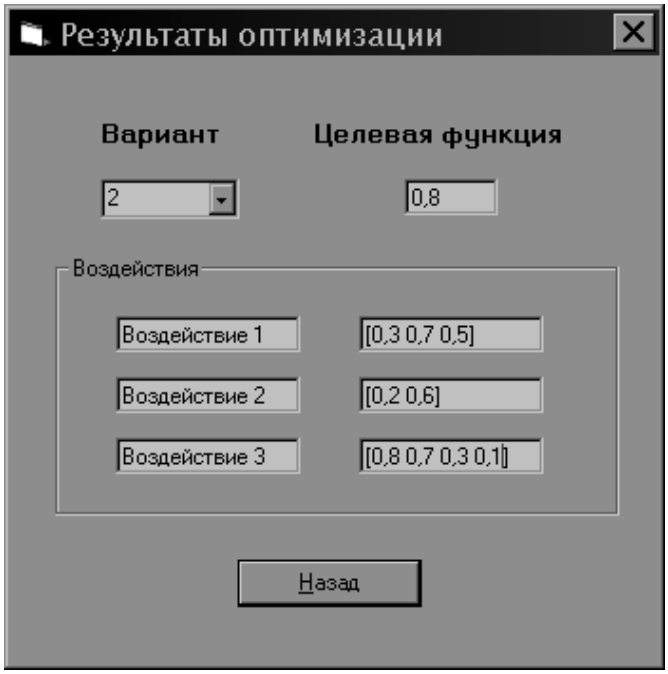


Рис. 6 Интерфейс режимы вывода результатов оптимизации

Выводы

В работе разработана математическая модель релевантности принятия решений пользователем с учетом личностных факторов, а также внешних воздействий для повышения качества функционирования автоматизированной системы. Сформулирована задача оптимизации релевантности путем выбора воздействий на пользователя с применением теории генетических алгоритмов. Разработан алгоритм определения оптимального воздействия на пользователя, что позволит повысить надежность и безопасность работы автоматизированных систем. Разработано программное обеспечение автоматизации определения оценки повышения релевантности принимаемых решений.

 ISBN 7-776-8361-7

Mathematical models and algorithms based on fuzzy sets theory for psycho functional parameters and external factors dependences for determination of users' decision relevance have been proposed. Specialized software for optimal decision determination for automatic dynamical systems control has been developed.

1. Человеческий фактор. В 6-ти тт. Т. 2. Эргономические основы проектирования производственной среды: Пер. с англ. / Д. Джоунз, Д. Бродбент, Д. Е. Вассерман и др. – М.: Мир, 1991. – 500 с.
2. Справочник по инженерной психологии / Под ред. Б. Ф. Ломова. – М.: Машиностроение, 1982. – 368 с.
3. Шибанов Г.П. Количественная оценка деятельности человека в системах человек-техника. – М.: Машиностроение, 1983. – 263 с.
4. Шеридан Т. Б., Феррел У. Р. Системы человек-машина: Модели обработки информации, управления и принятия решений человеком-оператором: Пер. с англ. / Под ред. К. В. Фролова. – М.: Машиностроение, 1980. – 400 с.
5. Передерий В. И., Еременко А.П. Математические модели и алгоритмы определения релевантности принимаемых решений с учетом психофункциональных характеристик пользователей при управлении автоматизированными динамическими системами // Автоматика, автоматизация, электротехнические комплексы и системы. – 2007, № 2. – С. 34-40.
6. Леоненков А. В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и FuzzyTech. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 736 с.
7. Coley D. A. An Introduction to Genetic Algorithms for Scientists and Engineers. – Singapore.: World Scientific Publishing, 1999. – 244 p.
8. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств. – М.: Радио и связь, 1982. – 432 с.
9. Емельянов В. В., Курейчик В. В., Курейчик В. М. Теория и практика эволюционного моделирования. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 432 с.

УДК 621.372:538.56

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ТА АЛГОРИТМ АВТОМАТИЗАЦІЇ РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНИХ СИСТЕМ ПРАЦЮЮЧИХ У РЕАЛЬНОМУ ЧАСІ

Передерій В.І., Касап А.М.

Постановка проблеми. При проектуванні комп'ютеризованих систем працюючих у реальному часі, найбільш важливою проблемою, на початковій стадії проектування, є визначення взаємодії технологічних процесів з обчислювальним комплексом.

При вирішенні цієї проблеми необхідно враховувати вимоги до характеристик системи згідно конкретної технології. Аналіз таких вимог виконується на фізичному рівні проектування після чіткого виділення факторів, впливаючих на якість функціонування системи. Цей аналіз дозволяє вирішувати розміри задач та часове співвідношення між ними, а також алгоритми керування системою і обробки інформації. Його результати впливають на вибір стратегії й методів керування прийому та передачі даних, а також вирішують пропускну спроможність каналів та розподілення операційних ресурсів між обчислювальним комплексом й технологічним об'єктом.

Метою даної статті є розробка математичної моделі та алгоритму автоматизації розрахунку динамічних характеристик комп'ютеризованих систем, в діалоговому режимі для визначення найбільш оптимальних рішень.

Викладення основного матеріалу. Класичною архітектурою комп'ютеризованих систем керування є обмін інформацією на відстані між периферійним технологічним об'єктом та обчислювальним комплексом, через відповідні контролери зв'язку. Доцільно використовувати найбільш економічний та надійний асинхронний обмін інформацією в режимі переривання. В такій системі сигнали (заявки) по лінії зв'язку надходять до контролеру з інтенсивністю λ, а інтенсивність обслуговування контролером - μ Заявка, що надійшла в момент, коли процесор зайнятий, стає в чергу й очікує обслуговування. Припустимо, що кількість місць у черзі обмежено числом m. Прономеруємо стани системи по числу заявок, що перебувають у системі (які обслуговуються, та які очікують обслуговування): S0 – канал вільний; S1 – канал зайнятий, черги немає; S2 – канал зайнятий, одна заявка в черзі; Sk – канал зайнятий, k -1 у черзі; Sm+1 – канал зайнятий, m заявок у черзі. Тоді математична модель станів системи має вигляд (рис.1):

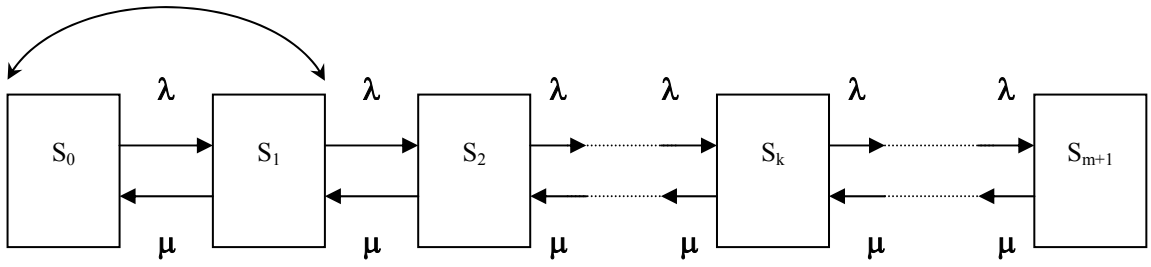


Рис. 1 Математична модель станів системи

Запропонований алгоритм дозволяє розраховувати стани систем, які описуються наступною системою рівнянь [1]:

 ISBN 7-776-8361-7

$$\begin{cases} p_1 = (\lambda/\mu)p_0 \\ p_2 = (\lambda/\mu)^2 p_0 \\ .... \\ p_k = (\lambda/\mu)^k p_0 \\ .... \\ p_{m+1} = (\lambda/\mu)^{m+1} p_0 \\ p_0 = \dfrac{1}{1+(\lambda/\mu)+(\lambda/\mu)^2+...+(\lambda/\mu)^{m+1}} \end{cases} \quad \text{або} \quad \begin{array}{l} p_1 = \rho\, p_0 \\ p_2 = \rho^2 p_0 \\ .... \\ p_k = \rho^k p_0 \\ .... \\ p_{m+1} = \rho^{m+1} p_0 \\ p_0 = \left[1+\rho+\rho^2+...+\rho^{m+1}\right]^{-1} \end{array} \tag{1}$$

При $\rho/N > 1$ спостерігається – необмежений ріст середньої довжини черги, тому для визначення P_0 повинна виконуватися обмежуюча умова $\rho/N < 1$, тоді [2]:

$$P_0 = \left[\sum_{k=0}^{N}\frac{\rho^k}{k!} + \frac{\rho^{N+1}}{N!(N-\rho)}\right]^{-1}. \tag{2}$$

Ймовірність наявності черги $P_{черг}$ у системі :

$$P_{черг} = \frac{\rho^{N+1}}{N!(N-\rho)}P_0. \tag{3}$$

Ймовірність зайнятості всіх вузлів системи $P_{зайн}$:

$$P_{зайн} = \frac{\rho^N}{(N-1)!(N-\rho)}P_0. \tag{4}$$

Середнє число вимог у системі $M_{вим}$:

$$M_{вим} = P_0\left(\rho\sum_{k=0}^{N-1}\frac{\rho^k}{k!} + \frac{\rho^{N+1}(N+1-\rho)}{(N-1)!(N-\rho)^2}\right). \tag{5}$$

Середня довжина черги $M_{черг}$:

$$M_{черг} = \frac{\rho^{N+1}P_0}{(N-1)!(N-\rho)^2}. \tag{6}$$

Середнє число вільних каналів обслуговування $M_{вільн}$:

$$M_{вільн} = P_0\sum_{k=1}^{N} k\,\frac{\rho^k}{(N-k)!}. \tag{7}$$

Середнє число зайнятих каналів обслуговування $M_{зайн}$:

$$M_{зайн} = N - M_{вільн}. \tag{8}$$

Коефіцієнт простою K_0 й коефіцієнт завантаження $K_{зав}$ каналів обслуговування системи:

$$K_0 = \frac{M_{вільн}}{N}; \quad K_{зав} = \frac{M_{зайн}}{N}. \tag{9}$$

Середній час очікування початку обслуговування $T_{оч}$ для вимоги, що надійшла у систему:

$$T_{оч} = \frac{\rho^N}{\mu(N-1)!(N-\rho)^2} P_0 . \quad (10)$$

Загальний час, що проводять у черзі всі вимоги, які надійшли в систему за одиницю часу $T_{ооч}$:

$$T_{ооч} = \frac{\rho^{N+1}}{(N-1)!(N-\rho)^2} P_0 . \quad (11)$$

Середній час $T_{вим}$, що вимога проводить у системі обслуговування:

$$T_{вим} = T_{оч} + \mu^{-1} . \quad (12)$$

Сумарний час, що у середньому проводять у системі всі вимоги, які надійшли за одиницю часу $T_{свим}$:

$$T_{свим} = T_{ооч} + \rho . \quad (13)$$

На основі математичної моделі розроблений алгоритм автоматизації розрахунку динамічних характеристик й параметрів комп'ютеризованих систем, працюючих у реальному часі (рис.2).

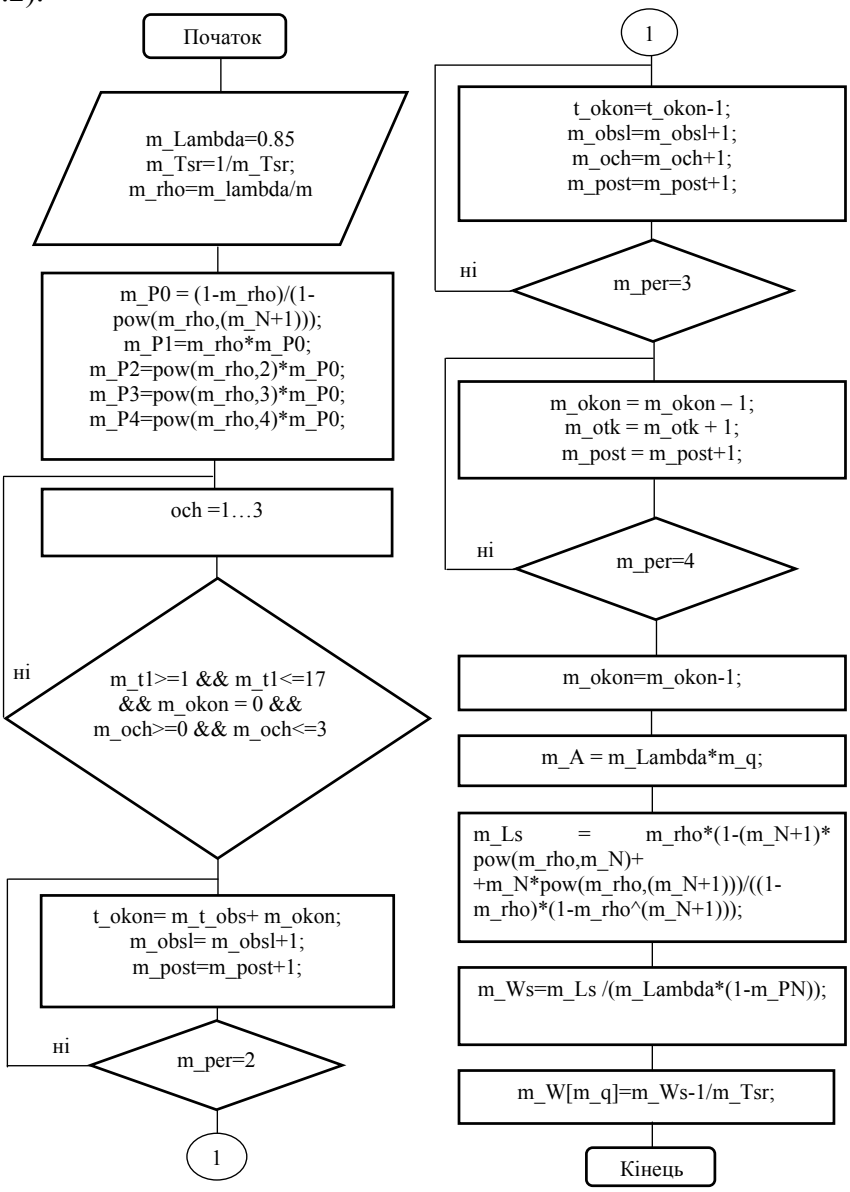


Рис. 2 Алгоритм розрахунку динамічних параметрів

 ISBN 7-776-8361-7

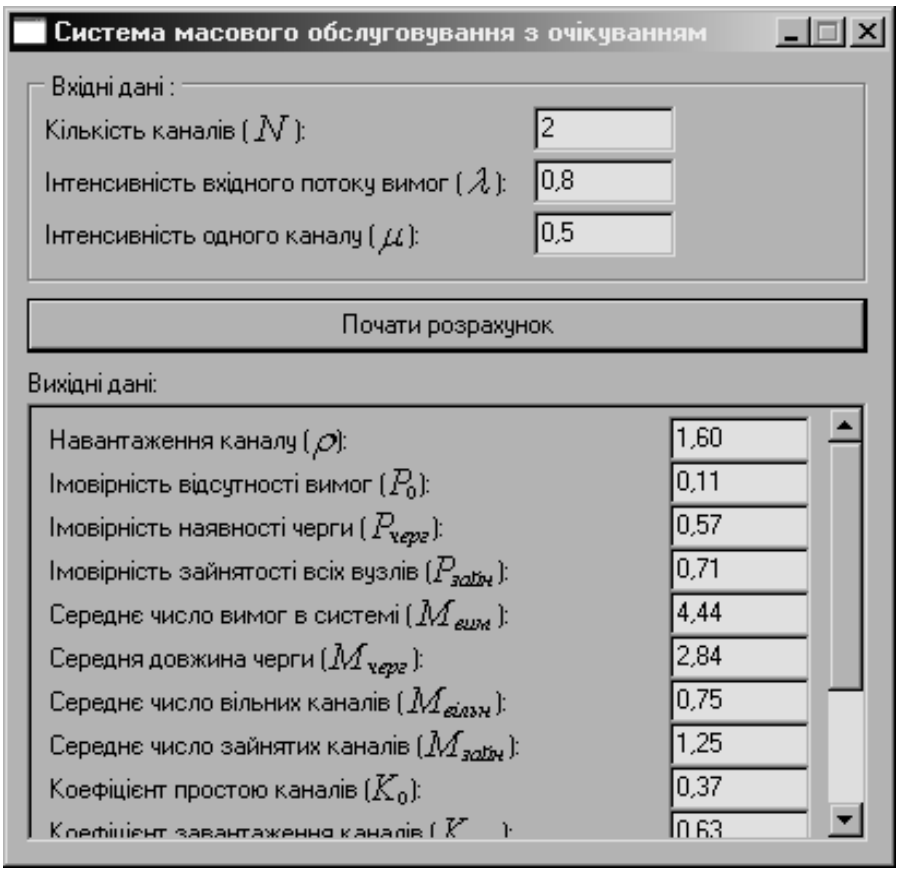


Рис. 3 Приклад діалогового вікна розрахунку параметрів

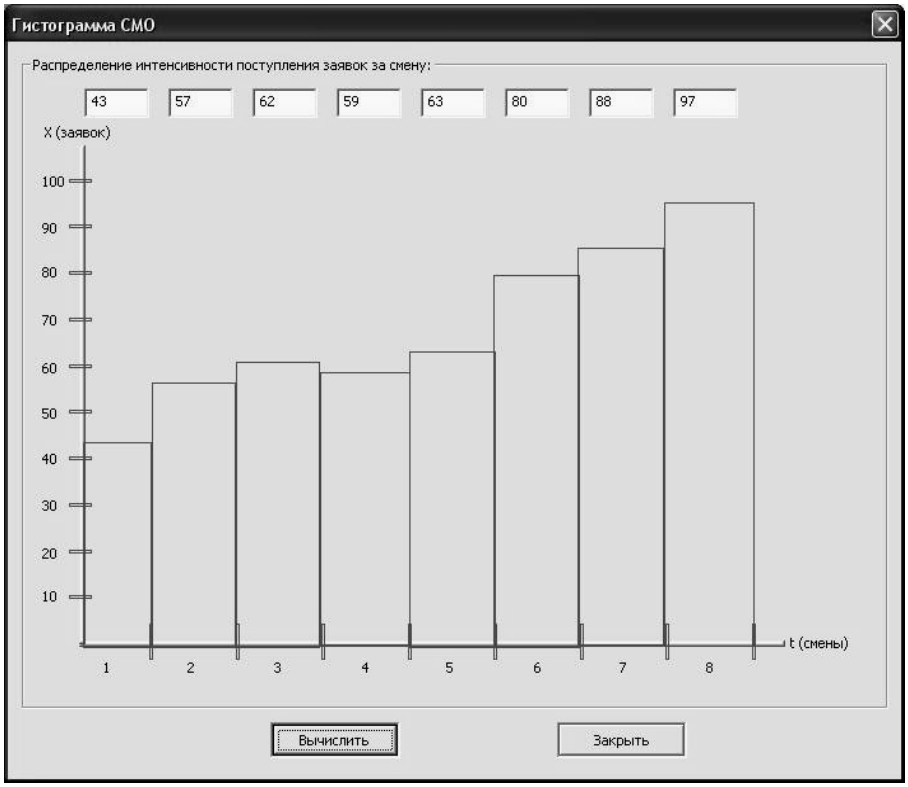


Рис. 4 Приклад результатів розрахунку параметрів

Для автоматизації розрахунку зазначених параметрів розроблено програмне забезпечення в середовищі Visual C++, яке дозволяє визначати динамічні характеристики комп'ютеризованих систем в діалоговому режимі (рис.3).

На базі отриманих результатів даний алгоритм дозволяє візуально корегувати вхідні та вихідні характеристики, отримуючи найбільш оптимальні рішення (рис.4).

Висновки. Розроблена математична модель, алгоритм та програмне забезпечення автоматизації розрахунку динамічних характеристик та параметрів комп'ютеризованих систем, працюючих у реальному часі, рекомендується для впровадження в навчальний процес, при вивченні дисциплін з моделювання та дослідження характеристик автоматизованих систем , а також фахівців в області проектування комп'ютеризованих систем керування в реальному часі.

The multi-purpose algorithm and software for mathematical modeling are developed, with the help of which the dynamic performances and parameters of real time computer systems.

1. Алехин М.Ю. и др. «Применение теории массового обслуживания для решения производственных задач», Л.: ЛКИ, 1989.
2. Бронштейн О.И., Духовный И.М. «Модели приоритетного обслуживания в информационно–вычислительных системах», М.: Наука, 1986.
3. Фомин Г.Ф. «Системы и модели массового обслуживания в коммерческой деятельности. Учебн. пособие», М.: Финансы и статистика, 2000.
4. Советов Б.Я., Яковлев С.А. Моделирование систем. – М.: Высшая школа, 1998.
5. Тамм Б.Г. и др. Анализ и моделирование производственных систем / Б.Г. Тамм, М.Э. Пуусепп, Р.Р. Таваст; Под общей редакцией Б.Г. Тамма. – М.: Финансы и статистика, 1997. – 291 с.
6. Столлингс Сучасні комп'ютерні системи та мережі; Санкт-Петербург 2003р; 2 видання.

 ISBN 7-776-8361-7

УДК 519.876

ПРОБЛЕМЫ ИНТЕГРАЦИИ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

Рудакова А.В.

Постановка проблемы. Современные производственные системы представляют собой сложные, многосвязные, пространственно распределенные иерархические объекты, функционирующие в условиях переменности их структуры, параметров и режимов работы при многочисленных внешних и внутренних возмущениях как систематического, так и случайного характера. Это большие системы, структура которых постоянно развивается и усложняется, что определяет сложность задач оперативного управления особенно в критических режимах функционирования, которые наблюдаются все чаще. Примером таких систем являются энергетические системы, системы связи и телекоммуникаций, информационные системы и другие.

Анализ последних исследований и публикаций. Современные производственные комплексы являются многоуровневыми структурами из взаимодействующих элементов, объединенных в подсистемы различных уровней.

Сложная система – составной объект, части которого можно рассматривать как отдельные системы, объединенные в единое целое в соответствии с определенными принципами или связанные между собой заданными отношениями. Части сложной системы (подсистемы) можно расчленить (часто лишь условно) на более мелкие подсистемы и так далее вплоть до выделения элементов сложной системы, которые объективно не подлежат дальнейшему расчленению. Свойства сложной системы в целом определяются как свойствами составляющих ее элементов, так и характером взаимодействия между ними [1].

Сложные системы, как правило, обладают свойствами управляемости, наблюдаемости и идентифицируемости, которые позволяют утверждать о возможности поддерживать нормальный режим функционирования системы при различных условиях. Однако, добавление нового компонента в сложную систему, в свою очередь обладающего всеми этими свойствами, не гарантирует сохранения основных свойств в новой системе и после интеграции [2].

К большим системам целесообразно относить сложные системы, фундаментальные свойства которых изменяются при дальнейшем увеличении размерности системы, связанном с ее развитием. При этом происходит качественное изменение их поведения, что вызывает проблемы в управлении такими системами и может привести к прекращению их функционирования. Математическая модель такой большой системы состоит из математических моделей элементов и математических моделей взаимодействия элементов. Взаимодействие элементов рассматривается обычно как результат совокупности воздействий каждого элемента на другие элементы. Совокупность таких свойств как многообъектность, территориальная распределенность объектов и средств управления, а также большое число переменных предъявляют новые требования к теории управления. Решение таких задач как отображение качественных переходов элементов и системы из одного состояния в другие, переходных процессов, оценивание текущего состояния большой системы (идентификация режима функционирования) представляет значительную трудность, что приводит к недопустимым затратам времени при оперативном управлении современными производственными комплексами [3].

При развитии системы, задача определения оптимального управления осложняется как со стороны увеличения размерности, так и со стороны ухудшения фундаментальных свойств системы, таких как устойчивость, управляемость и наблюдаемость. При анализе устойчивости больших систем из-за увеличения размерности возникают те же проблемы.

Таким образом, если при интеграции систем основные свойства в полученной системе сохраняются, можно утверждать, что она опять является сложной, а если основные

свойства не сохраняются, то система переходит в класс больших систем. Целесообразно попытаться найти некоторые правила корректного объединения систем с сохранением основных свойств.

Постановка задачи. Целью исследований является формализация описания процедуры интеграции систем, пригодной для разработки методов корректного объединения сложных систем с сохранением основных свойств.

Основная часть. Рассмотрим две полностью управляемые и полностью наблюдаемые системы S_1 и S_2, которые заданы уравнениями состояния вида

$$S_1: \begin{cases} \dot{\vec{x}}_1 = A_1\vec{x}_1 + B_1\vec{v}_1 \\ \vec{y}_1 = C_1\vec{x}_1 + D_1\vec{v}_1 \end{cases}, \qquad S_2: \begin{cases} \dot{\vec{x}}_2 = A_2\vec{x}_2 + B_2\vec{v}_2 \\ \vec{y}_2 = C_2\vec{x}_2 + D_2\vec{v}_2 \end{cases}. \tag{1}$$

Размерности векторов систем обозначим следующим образом

$$\dim\vec{x}_1 = n_1,\quad \dim\vec{y}_1 = r_1,\quad \dim\vec{v}_1 = m_1,\ \dim\vec{x}_2 = n_2,\ \dim\vec{y}_2 = r_2,\quad \dim\vec{v}_2 = m_2.$$

Вследствие чего, размерности матриц в уравнениях состояния (1) систем примут следующие значения:

$$\dim A_1 = n_1 \times n_1,\ \dim B_1 = n_1 \times m_1,\ \dim C_1 = r_1 \times n_1,\ \dim D_1 = r_1 \times m_1,$$

$$\dim A_2 = n_2 \times n_2,\ \dim B_2 = n_2 \times m_2,\ \dim C_2 = r_2 \times n_2,\ \dim D_2 = r_2 \times m_2.$$

В результате интеграции систем S_1 и S_2 может быть образована система S, в виде:

$$S: \begin{cases} \dot{\vec{x}} = A\vec{x} + B\vec{v} \\ \vec{y} = C\vec{x} + D\vec{v} \end{cases}, \tag{2}$$

где вектор состояния $\vec{x} = \begin{pmatrix} \vec{x}_1 \\ \vec{x}_2 \end{pmatrix}$, $\dim\vec{x} = n = n_1 + n_2$, вектор выходов $\vec{y}$, $\dim\vec{y} = r$, и вектор входов $\vec{v}$, $\dim\vec{v} = m$.

Размерности матриц новой системы примут вид:

$$\dim A = (n_1 + n_2)\times(n_1 + n_2),\ \dim B = (n_1 + n_2)\times m,\ \dim C = r\times(n_1 + n_2),\ \dim D = r\times m.$$

Интеграцию систем S_1 и S_2 проведем простым объединением их уравнений состояния с учетом дополнительных входных воздействий, обусловленных наличием новых коммутационных связей между входами и выходами исходных систем, которые можно задать в виде матрицы коммутации K_{vy}, $\dim K_{vy} = (m_1 + m_2)\times(r_1 + r_2)$.

$$\begin{pmatrix} \dot{\vec{x}}_1 \\ \dot{\vec{x}}_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_1 & 0 \\ 0 & A_2 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} \vec{x}_1 \\ \vec{x}_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} B_1 & 0 \\ 0 & B_2 \end{pmatrix}\left[\begin{pmatrix} \vec{v}_1 \\ \vec{v}_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \vec{v}_{1y} \\ \vec{v}_{2y} \end{pmatrix}\right], \tag{3}$$

$$\begin{pmatrix} \vec{y}_1 \\ \vec{y}_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C_1 & 0 \\ 0 & C_2 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} \vec{x}_1 \\ \vec{x}_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} D_1 & 0 \\ 0 & D_2 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} \vec{v}_1 \\ \vec{v}_2 \end{pmatrix}, \tag{4}$$

 ISBN 7-776-8361-7

где

$$\begin{pmatrix} \vec{v}_{1y} \\ \vec{v}_{2y} \end{pmatrix} = K_{vy} \cdot \begin{pmatrix} \vec{y}_1 \\ \vec{y}_2 \end{pmatrix}. \tag{5}$$

Следует также учитывать возможность переопределения векторов входов и выходов новой системы в виде

$$\begin{pmatrix} \vec{v}_1 \\ \vec{v}_2 \end{pmatrix} = K_v \cdot \vec{v}, \quad \vec{y} = K_y \cdot \begin{pmatrix} \vec{y}_1 \\ \vec{y}_2 \end{pmatrix}, \tag{6}$$

где K_v - матрица связей, задаваемых между векторами входов исходных систем $\vec{v}_1$ и $\vec{v}_2$ с вектором входов новой системы $\vec{v}$, $\dim K_v = (m_1 + m_2) \times m$; K_y - матрица связи между вектором выхода новой системы $\vec{y}$ с векторами выходов исходных систем $\vec{y}_1$ и $\vec{y}_2$, $\dim K_y = r \times (r_1 + r_2)$.

Подстановка соотношений (5) и (6) в (3) приводит к следующим выкладкам:

$$\begin{pmatrix} \dot{\vec{x}}_1 \\ \dot{\vec{x}}_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_1 & 0 \\ 0 & A_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \vec{x}_1 \\ \vec{x}_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} B_1 & 0 \\ 0 & B_2 \end{pmatrix} \cdot \left(\begin{pmatrix} \vec{v}_1 \\ \vec{v}_2 \end{pmatrix} + K_{vy} \begin{pmatrix} \vec{y}_1 \\ \vec{y}_2 \end{pmatrix} \right) =$$

$$= \begin{pmatrix} A_1 & 0 \\ 0 & A_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \vec{x}_1 \\ \vec{x}_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} B_1 & 0 \\ 0 & B_2 \end{pmatrix} \cdot \left[\begin{pmatrix} \vec{v}_1 \\ \vec{v}_2 \end{pmatrix} + K_{vy} \left(\begin{pmatrix} C_1 & 0 \\ 0 & C_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \vec{x}_1 \\ \vec{x}_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} D_1 & 0 \\ 0 & D_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \vec{v}_1 \\ \vec{v}_2 \end{pmatrix} \right) \right] =$$

$$= \begin{pmatrix} A_1 & 0 \\ 0 & A_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \vec{x}_1 \\ \vec{x}_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} B_1 & 0 \\ 0 & B_2 \end{pmatrix} \cdot \left[K_v \cdot \vec{v} + K_{vy} \left(\begin{pmatrix} C_1 & 0 \\ 0 & C_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \vec{x}_1 \\ \vec{x}_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} D_1 & 0 \\ 0 & D_2 \end{pmatrix} \cdot K_v \cdot \vec{v} \right) \right],$$

В результате уравнения состояния новой системы получаются в виде

$$\begin{aligned} \dot{\vec{x}} = & \left[\begin{pmatrix} A_1 & 0 \\ 0 & A_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} B_1 & 0 \\ 0 & B_2 \end{pmatrix} \cdot K_{vy} \cdot \begin{pmatrix} C_1 & 0 \\ 0 & C_2 \end{pmatrix} \right] \vec{x} + \\ & + \begin{pmatrix} B_1 & 0 \\ 0 & B_2 \end{pmatrix} \cdot \left[K_v + K_{vy} \cdot \begin{pmatrix} D_1 & 0 \\ 0 & D_2 \end{pmatrix} \cdot K_v \right] \cdot \vec{v} \end{aligned}, \tag{7}$$

$$\vec{y} = K_y \cdot \begin{pmatrix} C_1 & 0 \\ 0 & C_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \vec{x}_1 \\ \vec{x}_2 \end{pmatrix} + K_y \cdot \begin{pmatrix} D_1 & 0 \\ 0 & D_2 \end{pmatrix} \cdot K_v \cdot \vec{v}. \tag{8}$$

Согласно (7) и (8), матрицы уравнений состояния новой системы S, полученной в результате интеграции систем S_1 и S_2, формируются так

$$A = \begin{pmatrix} A_1 & 0 \\ 0 & A_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} B_1 & 0 \\ 0 & B_2 \end{pmatrix} \cdot K_{vy} \cdot \begin{pmatrix} C_1 & 0 \\ 0 & C_2 \end{pmatrix}, \tag{9}$$

$$B = \begin{pmatrix} B_1 & 0 \\ 0 & B_2 \end{pmatrix} \cdot \left[K_v + K_{vy} \cdot \begin{pmatrix} D_1 & 0 \\ 0 & D_2 \end{pmatrix} \cdot K_v \right], \tag{10}$$

$$C = K_y \cdot \begin{pmatrix} C_1 & 0 \\ 0 & C_2 \end{pmatrix}, \tag{11}$$

$$D = K_y \cdot \begin{pmatrix} D_1 & 0 \\ 0 & D_2 \end{pmatrix} \cdot K_v . \tag{12}$$

Так как обычно при интеграции систем внутренние связи между входами и выходами в подсистемах не перекоммутируются, то матрица коммутации может быть представлена в виде

$$K_{vy} = \begin{pmatrix} K_{11} & K_{12} \\ K_{21} & K_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & K_{12} \\ K_{21} & 0 \end{pmatrix}, \tag{13}$$

где подматрица K_{12} описывает коммутацию входов $\vec{v}_1$ системы S_1 с выходами $\vec{y}_2$ системы S_2, а подматрица K_{21} описывает коммутацию входов $\vec{v}_2$ системы S_2 с выходами $\vec{y}_1$ системы S_1. Тогда выражения (9) и (10) могут быть упрощены следующим образом:

$$A = \begin{pmatrix} A_1 & 0 \\ 0 & A_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} B_1 & 0 \\ 0 & B_2 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 0 & K_{12} \\ K_{21} & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} C_1 & 0 \\ 0 & C_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_1 & B_1 K_{12} C_2 \\ B_2 K_{21} C_1 & A_2 \end{pmatrix}, \tag{14}$$

$$B = \begin{pmatrix} B_1 & 0 \\ 0 & B_2 \end{pmatrix} \cdot \left[I + \begin{pmatrix} 0 & K_{12} \\ K_{21} & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} D_1 & 0 \\ 0 & D_2 \end{pmatrix} \right] \cdot K_v = \begin{pmatrix} B_1 & B_1 K_{12} D_2 \\ B_2 K_{21} D_1 & B_2 \end{pmatrix} \cdot K_v . \tag{15}$$

Рассмотрим объединение (композицию) двух систем на примере.

Уравнения состояния систем S_1 и S_2 имеют вид:

$$S_1 : \begin{cases} \dot{x}_1 = -x_1 + v_1 \\ y_1 = x_1 + v_1 \end{cases}, \qquad S_2 : \begin{cases} \dot{x}_2 = -2x_2 + v_2 \\ y_2 = x_2 \end{cases}. \tag{16}$$

Для интеграции двух систем в одну определим коммутационные связи следующим образом

$$v = v_1 ,\ v_2 = y_1 \text{ и } y = y_2 - y_1 . \tag{17}$$

Структурная схема системы, полученной в результате интеграции систем S_1 и S_2, приведена на рис.1.

 ISBN 7-776-8361-7

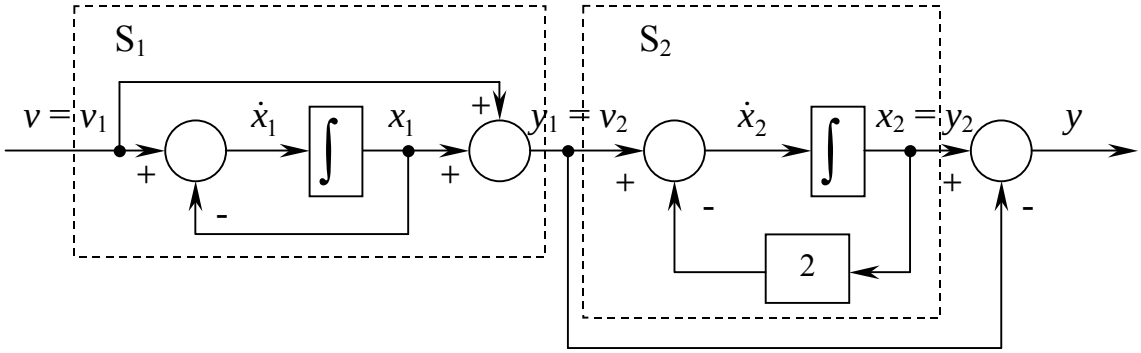


Рис. 1 Структурная схема интегрированной системы

Коммутационные связи можно записать как

$$\begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \cdot v = K_v \cdot v, \qquad y = \begin{pmatrix} -1 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \end{pmatrix} = K_y \cdot \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \end{pmatrix},$$

$$\begin{pmatrix} v_{1y} \\ v_{2y} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \end{pmatrix} = K_{vy} \cdot \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \end{pmatrix}. \tag{18}$$

Матрицы коммутаций имеют вид

$$K_v = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}, \; K_y = \begin{pmatrix} -1 & 1 \end{pmatrix}, \; K_{vy} = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}. \tag{19}$$

Матрицы уравнений состояния новой системы, определенные по выражениям (9)-(12) имеют вид

$$A = \begin{pmatrix} -1 & 0 \\ 1 & -2 \end{pmatrix}, \quad B = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix}, \quad C = \begin{pmatrix} -1 & 1 \end{pmatrix}, \quad D = \begin{pmatrix} -1 \end{pmatrix}. \tag{20}$$

Уравнения состояния новой системы запишутся следующим образом

$$\begin{pmatrix} \dot{\vec{x}}_1 \\ \dot{\vec{x}}_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -1 & 0 \\ 1 & -2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix} \vec{v},$$

$$\vec{y} = \begin{pmatrix} -1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} - v \tag{21}$$

или

$$\dot{x}_1 = -x_1 + v,$$
$$\dot{x}_2 = x_1 - 2x_2 + v,$$
$$y = -x_1 + x_2 - v. \tag{22}$$

Уравнения состояния новой системы (22), полученные по изложенной выше методике, полностью соответствуют структурной схеме системы, изображенной на рис. 1.

Анализ свойств управляемости и наблюдаемости новой системы (21) показывает, что система, полученная в результате интеграции двух полностью управляемых и полностью наблюдаемых систем S_1 и S_2, оказалась не полностью управляемой и не полностью наблюдаемой.

Выводы. При интеграции систем отмечается изменение динамики их поведения, что обусловлено взаимным влиянием исходных систем из-за наличия коммутационных связей, соединяющих выходы одних подсистем с входами других подсистем.

Новые межсистемные связи существенно влияют на изменение структуры матриц, описывающих интегрированную систему в пространстве состояний.

Дальнейший анализ матриц новой системы, полученных в виде (14), (15), (11), (12), позволит определить правила корректной интеграции сложных систем с возможностью сохранения основных свойств.

In article are considered questions to formalizations of the description of the procedure to systems integrations suitable to development of the methods to correct composition of the complex systems with keeping main characteristic. The Broughted methods of the getting of the equations of the new system state with accounting for new relationships, determined at integrations. The Certain influence new relationships between systems on change the matrixes structure, describing system in state space.

1. Словарь по кибернетике: Св. 2000 ст. /Под ред. В. С. Михалевича.— 2-е изд.— К.: Гл. ред. УСЭ им. М. П. Бажана, 1989.— 751 с.

2. Деруссо П., Рой Р., Клоуз Ч. Пространство состояний в теории управления. – М.: Наука, 1970. – 576с.

3. Методы робастного, нейро-нечеткого и адаптивного управления. / Под ред. Н.Д. Егупова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 744с.

 ISBN 7-776-8361-7

УДК 551.435.627:550.830(477.75)

ВИКОРИСТОВУВАННЯ КОНТЕКСТНИХ МАРКІВСЬКИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ АНАЛІЗУ ДІЇ ПРОМИСЛОВИХ ВИБУХІВ НА БУДІВЕЛЬНІ КОНСТРУКЦІЇ

Селін Ю.М.

Сучасний етап економічного розвитку України, неможливий без всебічного розвитку важкої промисловості, зокрема металургії. Тому в промислових районах країни прикладають зусилля для збільшення масштабів і темпів росту видобутку залізної руди. Геологічні умови залягань руди, наприклад в Криворізькому басейні, дозволяє широко використовувати методи розкривних робіт, що прямо пов'язані із збільшенням об'ємів мирного використання енергії вибуху. Прогнозні дані говорять про те, що в найближчі роки обсяги гірської маси, що підривається, у гірничодобувній промисловості має збільшиться. У той же час, підривні роботи часто виконуються поблизу об'єктів промислового, житлового і культурно-побутового призначення. Тому цілком зрозуміла необхідність вивчення сейсмічної дії промислових вибухів і якісного визначення ширини охоронних зон поблизу кар'єрів. Це необхідно для забезпечення сейсмобезпеки ведення підривних робіт при поліпшенні їхніх техніко-економічних показників.

Нажаль, і дотепер немає науково обґрунтованих, застосовних у широкому діапазоні промислових умов теоретичних методів прогнозу сейсмічної небезпеки вибухів і методів захисту споруджень від їх шкідливого сейсмічного впливу. Тому основним методом вивчення сейсмічної дії вибуху залишається тільки аналіз результатів натурних спостережень. Прогноз сейсмічної небезпеки і вибір раціональної технології промислових вибухів дотепер базується на емпіричних залежностях основних показників коливань від умов виконання вибухів. Все це зумовлює необхідність розробки математичного апарату по забезпеченню комп’ютерного аналізу вищезгаданих процесів задля прогнозування наслідків вибухових процесів.

В наведеній статті приведено один з методів аналізу наслідків вибухів, який можна використовувати для вирішення таких задач, а також його можна використовувати і для визначення потужностей промислових вибухів. Зокрема його було застосовано для обчислення вібросигналу горизонтальної віброшвидкості перекриття будинків в м. Кривий Ріг, які виникають в наслідок реакції будівельних конструкцій на підривні роботи.

Апаратне забезпечення для реєстрації процесів такого роду складається з цифрових приладів, які видають інформацію у вигляді числового ряду, а також аналогових приладів, які видають інформацію у графічному вигляді. Тож вхідними даними для означених задач можуть бути як часові ряди, тобто ряди, компоненти яких залежать від часу, так і графічні об’єкти, які виникають в наслідок реєстрації розвитку процесу в часі.

Автором частково розглядалось питання щодо для вирішення задач аналізу та прогнозування поведінки екологічних неперіодичних процесів на числових даних [3], який ґрунтується на модифікації методу подібних траєкторій [1]. Зараз застосуємо описаний підхід для даних, що отримано у графічному вигляді, без наявності цифрових значень, тобто будемо використовувати структурний підхід для вирішення задачі розпізнавання образів.

Структурний підхід до розпізнавання образів. Більшість результатів у галузі розпізнавання образів, пов’язані з теорією прийняття рішень та її застосувань. У деяких задачах розпізнавання образів важлива структурна інформація, яка описує кожний об’єкт, а процес розпізнавання повинен не тільки віднести об’єкт до визначеного класу (тобто класифікувати його), але й описати ті сторони об’єкту, які роблять небажаними віднесення його до іншого класу [2]. Типовим прикладом такої задачі є розпізнавання зображень, або аналіз сцен. Найпростішим способом розпізнавання є метод „спів падання з

еталоном”. Більш досконалі системи повинні були б мати здібністю визначати різні синтаксичні відношення усередині об’єкту.

Метод Марківських ланцюжків. Різні розробки прихованих Марківських моделей на сьогодні мають широке застосування щодо порівняння послідовностей, а також для виявлення гомології між ними та пошуку й розпізнавання послідовностей, деяким узагальненою подібністю [4]. Під Марківським ланцюжком в узагальненому розумінні маємо послідовність випадків, кожне з яких відбувається із певною ймовірністю. Головною задачею розпізнавання, яку ми досліджуємо, використовуючи математичний апарат Марківських моделей, полягає в наступному. Нехай маємо дві довгих послідовності координат, потрібно виявити наскільки ці послідовності належать одному об’єкту, (або є однієї природи, тобто належать одному процесу) є близькими за своєю статистичною структурою. При цьому наш висновок повинен бути стійким щодо мало суттєвих змін, таких як вставки та випадання окремих дільниць послідовностей, переставляння невеликих фрагментів та ін [6].

Треба порівнювати й цілком невеликі послідовності, але тоді їх повинно бути достатньо багато. Статистична наближеність послідовностей може бути наслідком подоби їх функціональних властивостей або єдності виникнення (належить процесу однієї природи). Наприклад, маючи набір послідовностей процесу однієї природи, можна виявити чи належить цьому процесу деяка послідовність чи ні.

Тип Марківської моделі обирається в залежності від змісту завдання.

Нехай визначена Марківська модель та деякий набір вхідних (навчальних) послідовностей. Тоді за вхідними даними визначаються параметри θ_0 моделі. Ймовірність $P_r(X\,|\,\theta_0)$ для нової послідовності X при заданих параметрах θ_0 визначає точність відповідності X параметрам моделі. Чим більша величина $P_r(X\,|\,\theta_0)$, тим краще послідовність X відповідає параметрам моделі, тим більше підстав віднести послідовність X до того ж оператора, що й вхідні послідовності. Реально однозначно задана послідовність, а параметри моделі ми обираємо за власним свавіллям, тому нам важливо наскільки велике значення $P_r(X\,|\,\theta_0)$ - ймовірність того, що параметри моделі, що породжує X дорівнюють θ_0. У відповідності за формулою Байєса:

$$P_r(\theta_0\,|\,X)=\frac{P_r(X\,|\,\theta_0)P_r(\theta_0)}{\sum_{\theta}P_r(X\,|\,\theta)P_r(\theta)}$$

показує, що $P_r(\theta_0\,|\,X)$ та $P_r(X\,|\,\theta_0)$ прямо пропорційні.

Оскільки значення $P_r(X\,|\,\theta_0)$ за звичаєм достатньо малі та суттєво залежать від довжини $|X|$ послідовності X, то на практиці користуються парметром:

$$\frac{1}{|X|}\log\frac{1}{P_r(X\,|\,\theta_0)}$$

яку можна інтерпретувати, як складність послідовності X в Марківській моделі з параметрами θ_0 в розрахунку на один сегмент.

Чим менша складність, тим краще послідовність відповідає параметрам моделі.

Визначення Марківської моделі. Нехай $D=\{a_i\}$ - скінчений алфавіт та S - множина станів моделі. Розглянемо орієнтований граф, вершинами якого є стани S, а ребра позначені буквами алфавіту D.

Орієнтовані шляхи за графом породжують слова в алфавіті D.

Говорять, що такий граф задає скінчений автомат, а множину слів, народжених таким автоматом, називають регулярною мовою. Іноді посеред станів обираються кінцевий та початковий стан, тобто стани, з яких починається та закінчується будь-яке породжуване слово.

Одним з найбільш важливих прикладів графів, визначаючих Марківську модель, є граф де Брьойна.

 ISBN 7-776-8361-7

Нехай $S = D^t$, стани $\sigma = a_{i_1}...a_{i_t}$ и $\sigma' = a_{j_1}...a_{j_t}$ поєднані ребром, якщо $\omega = a_{i_2}...a_{i_t}$ и $\omega = a_{j_2}...a_{j_{t-1}}$, т.е. $\sigma = a_{i_1}\omega$ та $\sigma' = \omega a_{j_t}$.

Ребро, яке поєднує стани σ та σ' позначимо буквою a_{j_t}.

Такий спосіб породження символьних послідовностей називається Марківською моделлю, якщо ввести ймовірності $P(\sigma \mid \sigma', a)$ переходів між станами моделі та ймовірності $P(a \mid \sigma)$ породження букв у різних станах. Набір ймовірностей називається набором параметрів Марківської моделі. Параметри моделі повинні задовольняти наступним властивостям:

$$P(\sigma_j \mid \sigma_i, a_k) \geq 0, \sum_j P(\sigma_j \mid \sigma, a) = 1,$$

$$P(a_j \mid \sigma_i) \geq 0, \sum_j P(a_j \mid \sigma) = 1.$$

Ймовірність пари, яка складається із символьної послідовності $x^n = x_1 x_2 ... x_n$ та відповідній йому послідовності станів $s^n = s_1 s_2 ... s_n$ визначається рекурентно з рівності:

$$P(x^{n+1}, s^{n+1}) = P(x^n, s^n) P(s_{n+1} \mid s_n, x_n) P(x_{n+1} \mid s_{n+1}). \qquad (*)$$

Маємо $P(x^0, s^0) = P(0) = 1$.

Крім цього:

$$P(x^n) = \sum_{s^n \in S^n} P(x^n, s^n),$$

$$P(s^n \mid x^n) = \frac{P(x^n, s^n)}{P(x^n)}.$$

У контекстних Марківських моделях передбачається, що набори букв, якими позначені стрілки, що виходять з одного стану не перехрещуються. Таке має місце коли у якості станів вибрані ліві контексти букв у символьній послідовності. Тоді якщо нам відомо попередній стан та чинна буква, то однозначно визначене й наступний стан. Таким чином, якщо ми знаємо початковий стан та слово, яке породжене Марківською моделлю, то ми можемо однозначно відновити послідовність станів, які відповідають цьому слову.
При цьому виникають додаткові умови до параметрів Марківської моделі:

$P(\sigma \mid \sigma', a) = 1$, якщо ребро $(\sigma \mid \sigma')$ позначено буквою a та

$P(\sigma \mid \sigma', a) = 0$ в протилежному випадку.

Формула (*) набуває вигляду

$$P(x^{n+1}) = P(x^{n+1}, s^{n+1}) = P(x^n, s^n) P(x_{n+1} \mid s_{n+1}).$$

Крім цього, значення $P(\sigma \mid \sigma')$ визначається рівняннями

$$P(\sigma \mid \sigma') = \sum_i P(a_i \mid \sigma'),$$

де сума береться за всіма буквами, якими позначена стрілка між станами σ та σ'. Із цих визначень неважко визначити, що ймовірність переходу до стану s^{i+1} залежить тільки від одного попереднього стану s^i та не залежить від інших попередніх станів, тобто послідовність станів s^n Марківської моделі уявляє з себе Марківський ланцюжок.

Найбільш відомим прикладом контекстних Марківських моделей є Марківські моделі скінченого порядку t. В цьому випадку станами є слова довжини t, графом моделі є відповідний граф де Брьойна, а параметрами моделі є ймовірності появи букв в різних контекстах.

Контекстну Марківську модель докладно використовувати, коли вихідні дані – це невелика кількість достатньо довгих текстів. Тут ми вимушені передбачати, що спадкові послідовності, породжені моделлю із фіксованими параметрами стаціонарні, тобто

ймовірність будь-якої букви залежить тільки від контексту, а не від номеру позиції букви у послідовності.

$$P(x) = P(x_L, x_{L-1}, ..., x_1) = P(x_L \mid x_{L-1}, ..., x_1) P(x_{L-1}, x_{L-2}, ..., x_1) ... P(x_1)$$

Властивість Марківського ланцюжка:

$$P(x) = P(x_L \mid x_{L-1}) P(x_{L-1} \mid x_{L-2}) ... P(x_2 \mid x_1) P(x_1) = P(x_1) \prod_{i=2}^{L} a_{x_{i-1} x_i}$$

Вибір множини станів моделі, тобто множина значимих з нашої точки зору контекстів взагалі кажучи довільний. В той час як параметри Марківської моделі – ймовірності букв в різних контекстах обчислюються з вихідних даних за формулами

$$P(a_i \mid \sigma_j) = \frac{r(\sigma_j a)}{r(\sigma_j)}$$

де $r(\omega)$ - кількість входження слова ω до вихідних даних.

Наприклад, нехай задана генетична послідовність

GT<u>AG</u>TCTG<u>AT</u>GC<u>AT</u>

$$P(A \mid A) = P(AA) / P(A) = 0/3 = 0$$
$$P(T \mid A) = P(AT) / P(A) = 2/3 = 0{,}66$$
$$P(G \mid A) = P(GA) / P(A) = 1/3 = 0{,}33$$
$$P(C \mid A) = P(CA) / P(A) = 0/3 = 0$$

Практичну спроможність описаного структурного підходу було перевірено для аналізу процесів, що виникають при проведенні вибухових робот на гірничо видобувному кар'єрі Центрального гірничо-збагачувального комбінату м.Кривий Ріг. Числові дані було отримано під час натурних вимірювань співробітниками Державного Науково-дослідного інституту будівельних конструкцій при проведенні масових вибухів в залізорудних кар'єрах м. Кривого Рога.

На рис. 1 зображено графіки вібросигнал і амплітудний спектр горизонтальної (вздовж осі X) віброшвидкості перекриття собору по вул. Клубній під впливом вибуха.

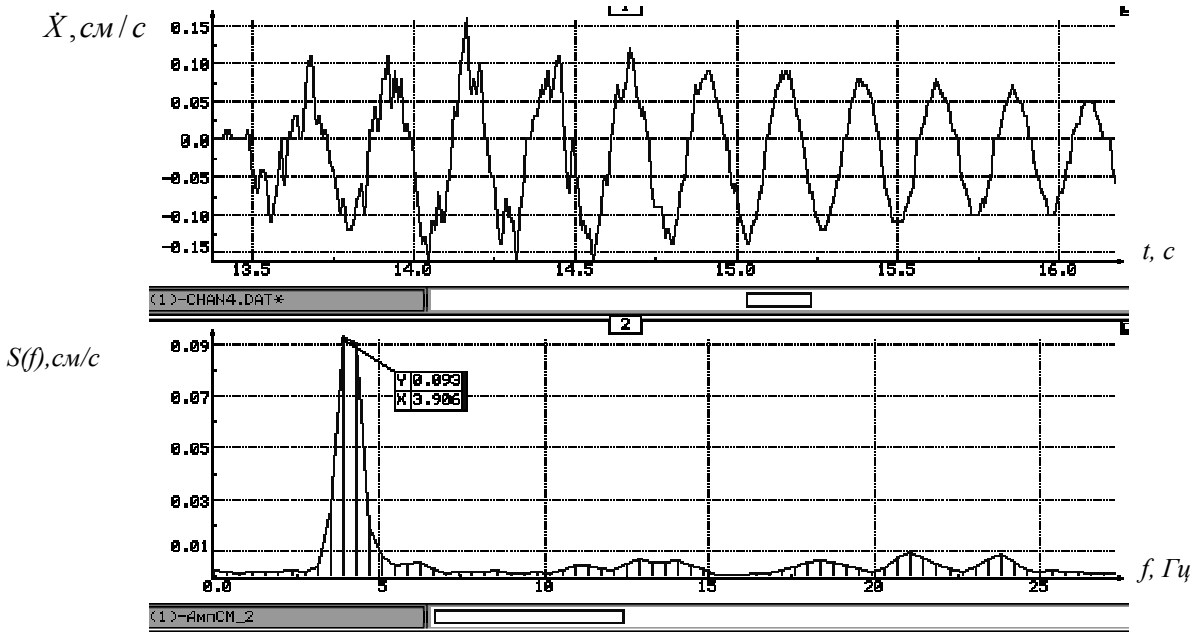


Рис. 1 Вібросигнал і амплітудний спектр горизонтальної (вздовж осі X) віброшвидкості перекриття собору по вул. Клубній під впливом вибуху

 ISBN 7-776-8361-7

Параметри графіка наступні: часовий інтервал (вісь OX графіка) з 13.5 с, по 16.25 с; амплітуда (вісь OY графіка) – віброшвидкість від “–0.15” см/с до “+0.15” см/с. Цей графік було використано для аналізу причин віброколивань, які було зафіксовано реєстраційними приладами. Одночасно на території біля будинку собору по вул. Клубна було проведено виміри рівнів звуку, які досягали значень 85-89 дба. Можна припустити, що на момент вибуху аналогічна ситуація була і на територіях близько розташованих житлових будинків (це вже на величину 15-19 дба значень, що вище допускаються). Зареєстровані при вибухах значення віброшвидкості ґрунту в цоколях будинків знаходяться в діапазоні 0,1-0,47 див /з, що складає 1-3 бали по шкалі сейсмічної інтенсивності при вибухах [5]. Таким чином було сформовано набори відповідностей: „потужність вибуху”-„значення віброшвидкості”, „значення віброшвидкості”-„ потужність вибуху”.

Алгоритм структурного підходу був застосовано наступним чином.

- За числовими даними часового інтервалу 13.5 с – 15.5 с було проведе розбиття графічного образу сигналу на графічні примітиви.
- Сформовано символьний аналог графічного образу.
- За послідовністю правил, які наведено в опису функціонування контекстних Марківських моделей було визначено відповідності значень віброшвидкості до відповідних значень вибухів.

Таким чином за допомогою натурних вимірів значень віброшвидкостей конструкцій будинків було визначено значення потужностей вибухів. Значення розрахунків повнстю збіглись з паспортними даними.

Висновки

1. Запропоновано алгоритм аналізу поведінки часових рядів на базі структурного підходу для розрахунків дії промислових вибухів на будівельні конструкції.
2. Підтверджено можливість застосування алгоритму на прикладі аналізу числових значень вібросигналу горизонтальної (вздовж осі X) віброшвидкості перекриття будинку під впливом промислового вибуху.
3. Провести у майбутньому аналіз точності прогнозних значень порівняно з іншими даними натурних вимірювань.

It is resulted an algorithm application example of the contextual Marcov models which can be used for the analysis of problems of time numbers behavior, presented ino a graphic kind. In particular it has been used for forecasting vibros signal of horizontal vibros velocity overlapping of constructions in a Krivoi Rog city.

1. Tsaparas P. Nearest neighbor search in multidimensional space. – Toronto: University of Toronto, 1999. – 50p
2. Фу К. Структурные методы в распознавании образов. – М.: Мир, 1977. - 319с.
3. Баклан І.В., Селін Ю.М. Структурний підхід до аналізу та моделюванню часових рядів / Вестник Херсонского национального технического университета. Вып.2(22).- Херсон: ХНТУ, 2005.- с.27-31.
4. Young T. Y., Calvert T. W., Classification, Estimation, and Pattern Recognition, American Elsevier, 1973.
5. Медведев С. В. Сейсмика горных взрывов. М., «Недра», 1964. 188 с.
6. Durbin R., Eddy S.R., Krogh A., Mitchson G. Biological sequence analysis. 1998, Cambridge: Cambridge University Press, 356 p.

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

УДК 004.738.5

ПОСТРОЕНИЕ НАВИГАЦИИ ДЛЯ ИЕРАРХИЧЕСКИХ СТРУКТУР В WEB-СИСТЕМАХ И СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ WEB-САЙТОМ

Беляев А.В.

Постановка проблемы и анализ публикаций. Основным способом представления информации в Интернет является гипертекстовая web-среда. Документ в формате гипертекста, помимо текстовой, графической и мультимедийной информации, может содержать связи на другие документы или их фрагменты. С помощью связей можно организовать навигацию по всем созданным документам. Сформированные таким образом сложные информационные ресурсы имеющют нелинейной структуру. Благодаря этим возможностям гипертекст и получил всеобщее признание [1].

Однако рост количества публикаций в гипертекстовой web-среде и отсутствие универсальных схем навигации по большому количеству документов, зачастую приводит к дезориентации пользователей. Например, знакомясь с учебным материалом, представленном в гипертекстовом формате, необходимо пройти по всем разделам ресурса, однако в неструктурированной специальным образом гипертекстовой среде, очень легко пропустить какой-нибудь важный материал.

В Интернет вся информация сгруппирована в web-ресурсы, отличительной особенностью каждого из них является собственная система навигации. Это может быть: линейная структура, иерархическая структура, нелинейная структура, смешанная структура [2]. Построение подобной системы для web-ресурсов с небольшим количеством разделов не представляет собой сложную задачу, а навигация загружается вместе с документом полностью. Однако для web-ресурсов большого объема такая схема не подходит. Поскольку каналы связи имеют ограничения по скорости передачи данных, а web-сервер имеет ограничения по продолжительности сессий, передача большого объема информации между клиентом и сервером может происходить в течение длительного времени либо вообще прерваться[3].

Цель статьи. В данной статье рассмотрен способ построения навигации для древовидной, иерархической структуры, которая не потребует предварительной загрузки всей панели навигации, загружаются только разделы верхнего уровня. Листовые узлы такой системы позволяют при «клике» мышки развернуть соответствующий список (ветку дерева). При этом формирование и появление списка должно происходить динамически, в момент совершения клика. В основу способа, рассмотренного, в данной статье, взяты возможности таких технологий как JavaScript и объекта XMLHttpRequest [4, 5], составляющие костяк технологи AJAX. А так же учтены особенности реализации этой схемы для наиболее популярных версий web-браузеров.

Основная часть

Представим себе web-систему, в которой содержимое и структура определены в реляционной базе данных, и представлены двумя таблицами «объекты» и «связи», рисунок 1. Наиболее часто структура web-сайта представляет собой древовидную иерархию, рисунок 2. Каждая ветка иерархической структуры представляет собой линейный список. Выборка ветки дерева с помощью SQL будет выглядеть следующим образом:

SELECT * FROM `object` , `relation` WHERE parent = id_листа and child = id, (1)

Определим функцию, которая используя запрос (1) будет возвращать массив связанных объектов узла ID:

 ISBN 7-776-8361-7

function childNodes($ID) (2)

Рис.1 Схема таблиц базы данных

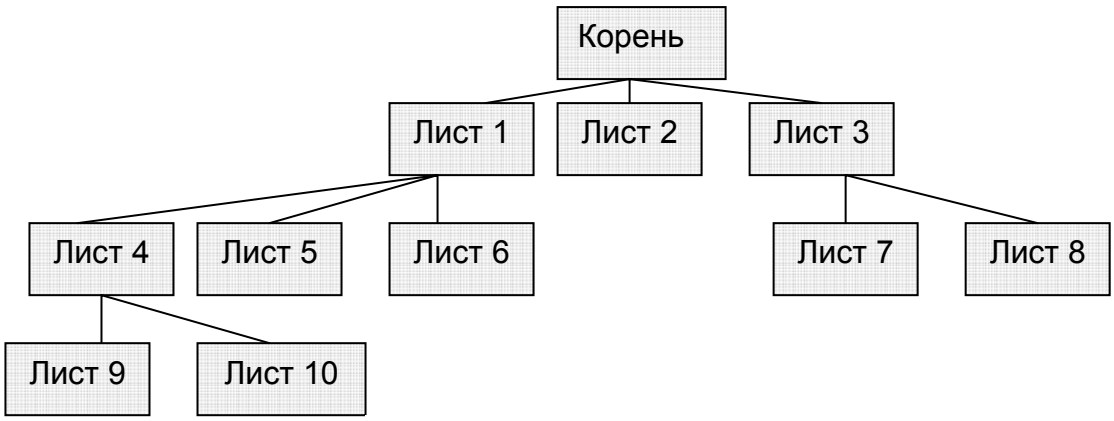


Рис. 2 Древовидная иерархия

Исполнение функции (1), содержащее обращение к базе данных возможно только на стороне web-сервера. Поэтому следующей задачей является создание механизма обращения к web-серверу без перезагрузки страницы в момент «клика» на узел, подразделы которого мы хотим увидеть.

Такая возможность появилась не так давно. В начале Microsoft Internet Explorer создал элемент ActivX, а затем Mozila Firefox и Opera также создали объект XMLHttpRequest.

В Microsoft Internet Explorer он определяется:

var req = new ActiveXObject("Microsoft.XMLHTTP");

В Mozilla и Opera это делается проще (так как там это объект, встроенный в JavaScript):

var req = new XMLHttpRequest();

Для обеспечения поддержки функции во всех версиях браузеров необходимо создать две ветки. Наиболее удачный механизм вызова объекта XMLHttpRequest приведен на сайте компании Apple [5], воспользуемся им для решения наших задач. Первый фрагмент это функция, реализующая непосредственный запрос к удаленному серверу, в качестве параметра *url* необходимо будет подставить удаленный адрес программы, содержащей функцию **(2)**:

```
var req;

function loadXMLDoc(url) {
      req = false;
    // ветка для объекта XMLHttpRequest object
    if(window.XMLHttpRequest && !(window.ActiveXObject)) {
      try {
                req = new XMLHttpRequest();
        } catch(e) {
                req = false;
        }
    // ветка для Microsoft Internet Explorer /Windows ActiveX version
    } else if(window.ActiveXObject) {
            try {
            req = new ActiveXObject("Msxml2.XMLHTTP");
            } catch(e) {
            try {
                  req = new ActiveXObject("Microsoft.XMLHTTP");
            } catch(e) {
                  req = false;
            }
            }
    }
      if(req) {
            req.onreadystatechange = processReqChange;
            req.open("GET", url, true);
            req.send("");
      }
}
```

Рис. 3 Функция вызова удаленного документа

Здесь стоит обратить внимание на значение *onreadystatechange*, которому присваивается значение функции processReqChange, являющейся хендлером события, вызываемого при изменении состояния объекта *req*.

```
function processReqChange() {
    // только если объект req показывает «load»
    if (req.readyState == 4) {
        // толькое сли "OK"
        if (req.status == 200) {
            // здесь необходимо разместить код, возвращенный по уда-
ленному запросу и требующий показа.
         response = req.responseText;
         document.getElementById(Объект в котором должны показаться
ответ сервера).innerHTML=response;
         response='';
        } else {
            alert("Проблема восстановления  XML данных:\n" +
                req.statusText);
        }
    }
}
```

Рис. 4 Обработчик события, отвечающий за процесс загрузки удаленного документа

Таким образом, удаленный документ должен содержать вызов функции childNodes($ID) - (1), формирующей. Основной документ, отвечающий за навигацию по древовидной, иерархической структуре, должен содержать:

- Код отображающий дерево

 ISBN 7-776-8361-7

- Вызов события, в узле каждой ветки (например onclick())
- Обработчик события, вызывающий функцию loadXMLDoc и обработчик processReqChange (рисунки 3, 4)
- Контейнер для вывода полученного от удаленной функции линейного списка связанных с узлом объектов
- Стили CSS, позволяющие управлять видимостью содержания загруженных веток

Выводы

Предложенный метод постороения навигацию по древовидной, иерархической структуре, позволяет организовать навигацию для ресурсов повышенного объема, сохраняя возможность динамического перестроения структуры ресурсов, копирования и перемещения веток дерева. В качестве примера реализации данного алгоритма можно привести фрагмент “дерева” сайта газеты «День» *(www.day.kiev.ua*), реализованного на основе системы управления сайтом CimWebCenter [6] использующей этот метод.

In given article the way of construction of navigation for treelike, hierarchical structure with leaf like node, which gives possibility to develop the corresponding node at a mouse "clique". Thus formation and list occurrences (a tree branch) should occur dynamically, at the moment of clique fulfillment.

1. Демин И.С. Проблемы развития гипертекстовых сред. // Вестник Оренбургского государственного университета, 2004, 4.
2. Инькова Н.А., Зайцева Е.А., Кузьмина Н.В., Толстых С.Г. СОЗДАНИЕ Web-сайтов // Учебно-методическое пособие. Ч. 5. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2002. 56 с.
3. Арушанян О.Б., Богомолов Н.А., Ковалев А.Д., Синицын М.Н. Архитектура клиентского программного обеспечения для WEB-приложений, ориентированных на представление данных // Вычислительные методы и программирование. 2004. Т.5.- С.24-37.
4. McLellan D. Very Dynamic Web Interfaces. // The XML.commune February 09, 2005. www.xml.com/pub/a/2005/02/09/xml-http-request.html
5. Apple Inc. Dynamic HTML and XML: The XMLHttpRequest // http://developer.apple.com/internet/webcontent/xmlhttpreq.html
6. Компания CiM. Документация CimWebCenter // http://www.cimwebcenter.com/documentation

УДК 317. 738

ПРЯМООТСЧЕТНЫЕ ИЗМЕРИТЕЛИ РАСХОЖДЕНИЙ ЕМКОСТЕЙ

Лубяный В.З., Голощапов С.С.

Селекторы каналов современных телевизионных приемников, радиоэлектронные системы с высокой степенью избирательности требуют комплектов варикапов с возможно более близкими вольтфарадными характеристиками (ВФХ). Поскольку современная полупроводниковая технология не может обеспечить изготовление варикапов с идентичными ВФХ, их необходимо комплектовать с тем, чтобы разброс ВФХ комплекта составлял бы не более нескольких процентов. Учитывая, что технология может обеспечить идентичность ВФХ лишь на уровне нескольких десятков процентов, а также массовость применения варикапов и то, что операция комплектования является одной из наиболее узких мест технологии их изготовления, методы и средства автоматического комплектования представляют практический интерес и эти вопросы являются весьма актуальными.

Методы комплектования можно разделить на неавтоматизированные (ручные) и автоматизированные (машинные).

Неавтоматизированные методы предусматривают чисто механический перебор варикапов партии по отношению к «опорному», при этом предусматривается только логическая обработка информации. Достоинство этих методов в относительной простоте реализации. Недостаток – относительно невысокий процент комплектуемости, поскольку не анализируются все возможные связи при комплектовании всей партии или хотя бы ее части.

Автоматизированные методы позволяют учесть все возможные комбинации варикапов в комплектах и выбрать из множества вариантов тот, который характеризуется наиболее высоким процентом комплектуемости.

Жесткие требования, предъявляемые к допустимому расхождению ВФХ комплекта (обычно не более 3-х процентов), диктуют необходимость разработки высокоскоростных измерителей емкости варикапов с очень высокой разрешающей способностью либо прямоотсчетных измерителей расхождений.

Первый вариант связан с большими техническими сложностями и к тому же он полностью не решает проблемы получения информации о степени идентичности ВФХ комплекта.

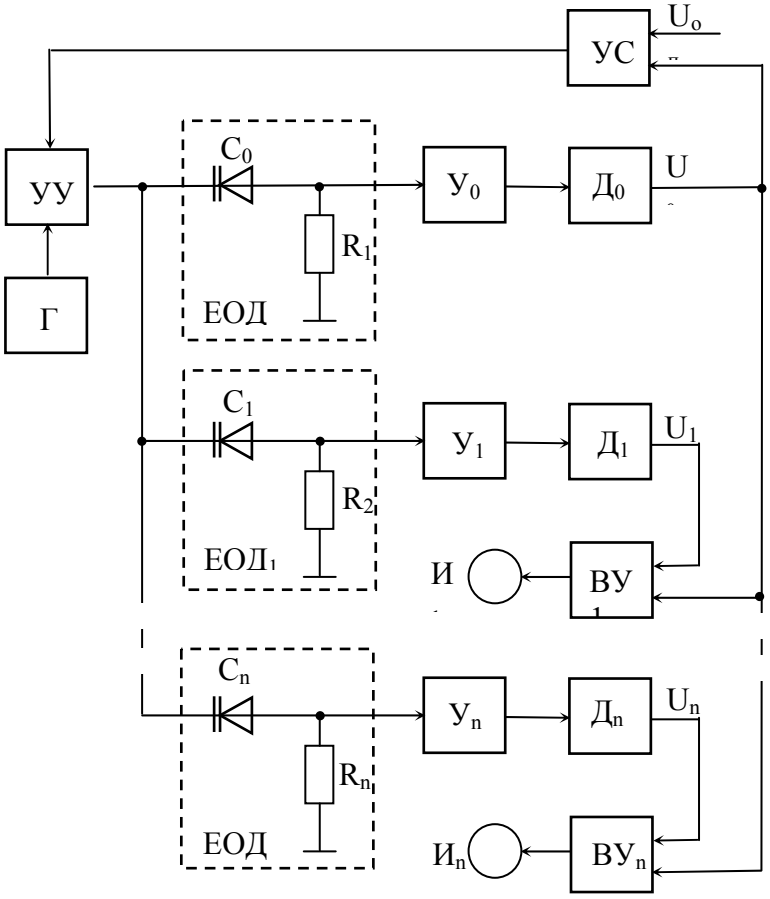
Разработка же прямоотсчетных измерителей расхождения по емкости задача более простая и вполне реализуема, к тому же проектирование подобных измерителей может базироваться на уже созданных структурах с временным и пространственным разделением каналов измерения, применяемых для регистрации степени идентичности двух варикапов.

Ниже представлены более совершенные схемы на основе емкостно-омического и емкостного делителей, реализующие операцию контроля степени идентичности ВФХ комплекта. При этом количество одновременно контролируемых варикапов принципиально не ограничено.

Схема на основе емкостно-омического делителя (рис.1) относится к схемам с пространственным разделением каналов измерения и предполагает одновременное получение информации о степени идентичности всех варикапов по отношению к «опорному».

Высокочастотное напряжение генератора Г через управляемый усилитель УУ поступает на входы всех емкостно-омических делителей ЕОД, выходные напряжения которых усиливаются усилителями У и детектируются амплитудными детекторами Д.

 ISBN 7-776-8361-7



Г – генератор высокой частоты; УУ – управляемый усилитель; Ус – устройство сравнения; ЕОД – емкостно-омические делители; У – усилители высокой частоты; Д - амплитудные детекторы; ВУ – вычитающие устройства; И- индикаторы

Рис. 1 Схема прямоотсчетного измерителя расхождений по емкости с пространственным разделением каналов

Усиленная разность между напряжением U_0 напряжением U_{on} воздействует на управляемый усилитель, изменяя его передаточный коэффициент так, чтобы амплитуда выходного напряжения емкостно-омического делителя с «опорным» варикапом C_0 в плече оставалась неизменной.

Усиленные и продетектированные напряжения всех емкостно-омических делителей $U_0 \ldots U_n$ подаются на входы вычитающих устройств, в которых происходит вычитание напряжения емкостно-омического делителя с «опорным» варикапом из напряжения емкостно-омического делителя с измеряемым варикапом.

Напряжение на выходе любого из детекторов $Д_1 \ldots Д_n$ определяется из выражения

$$U_i = \frac{U_{on} R_i C_i k_i}{R_0 C_0 k_0} \sqrt{\frac{1 + R_0^2 \omega^2 C_0^2}{1 + R_i^2 \omega 2 C_i^2}},$$

где U_{on} - напряжение опорного источника;

R_i, C_i - сопротивление резистора и емкость варикапа в плечах i-того делителя ($i=1,2,3\ldots,n$);

R_0, C_0 - сопротивление резистора емкостно-омического делителя с «опорным» варикапом и емкость «опорного» варикапа.

Если выполнить условия

$$R_0^2\omega^2C_0^2 << 1; \quad R_n^2\omega^2C_n^2 << 1; \tag{2}$$

$$R_0 = R_n; \qquad k_0 = k_n, \tag{3}$$

то разность между напряжениями каналов с измеряемым и «опорным» варикапами с учетом (1) определится из выражения

$$\Delta U_n = U_0 \frac{C_n - C_0}{C_0}. \tag{4}$$

Описанный измеритель позволяет измерять одновременно расхождение по емкости любого из n варикапов по отношению к «опорному». При этом варикапы последовательно друг за другом поступают к измерителю.

Один из возможных алгоритмов комплектования варикапов с использованием данного измерителя заключается в том, что первый варикап выбирается в качестве “опорного” и включается в плечо емкостно-омического делителя $ЕОД_n$. Следующий варикап включается в плечо делителя $ЕОД_0$, подается смещение и контролируется расхождение между указанными варикапами индикатором $И_n$. Если расхождение не превышает установленной нормы, то варикап из делителя $ЕОД_0$ перегружается в делитель $ЕОД_{n-1}$. Следующий варикап подается в делитель $ЕОД_0$ и контролируется расхождение между ним и варикапами в делителях $ЕОД_n$ и $ЕОД_{n-1}$. Далее описанные процессы повторяются.

Реализация данного измерителя требует несколько увеличенных аппаратных затрат, что является общим недостатком измерительных систем с пространственным разделением каналов. Однако в связи расширением номенклатуры и возможностей современной базы на интегральных микросхемах этот недостаток в значительной степени может быть скомпенсирован.

Повышение производительности измерителя при комплектовании варикапов, а также при контроле идентичности варикапов, подобранных в комплекты и варикапных матриц может быть достигнуто подачей напряжения смещения в виде импульса пилообразного напряжения (на рис.1 этот источник не показан). При этом время контроля зависит от постоянной времени детекторов и составляет не более 300 мс.

При необходимости изменения нормы на расхождение в фиксированных точках ВФХ целесообразно использовать импульсный режим смещения в виде импульса ступенчатого напряжения, переключая порог срабатывания синхронно с переключением ступеней напряжения смещения. При этом время контроля будет минимально возможным, так как для проведения операции контроля требуется однократная подача импульса ступенчатого напряжения.

Вторым существенным недостатком схемы является трудность выполнения условия (3), особенно в части равенства коэффициентов усиления «опорного» и *i*-того каналов измерения.

В этой части от схем с пространственным разделением каналов выгодно отличаются схемы с временным разделением каналов, не требующие построения идентичных каналов измерения. В таких схемах при определении степени идентичности величина выходного сигнала не зависит от параметров высокочастотного тракта (напряжения высокочастотного генератора и коэффициента передачи усилителя и детектора), что свидетельствует об их более высоких метрологических характеристиках. Схемы с временным разделением каналов описаны в [1].

Общим существенным недостатком схем на основе емкостно-омического делителя, как с пространственным, так и с временным разделением каналов является малое напряжение, снимаемое с токосъемного резистора.

Поскольку варикап – нелинейный объект, величина высокочастотного напряжения на нем ограничивается десятками милливольт. Сопротивление токосъемного резистора с целью ограничения методической погрешности также должно быть небольшим. В итоге

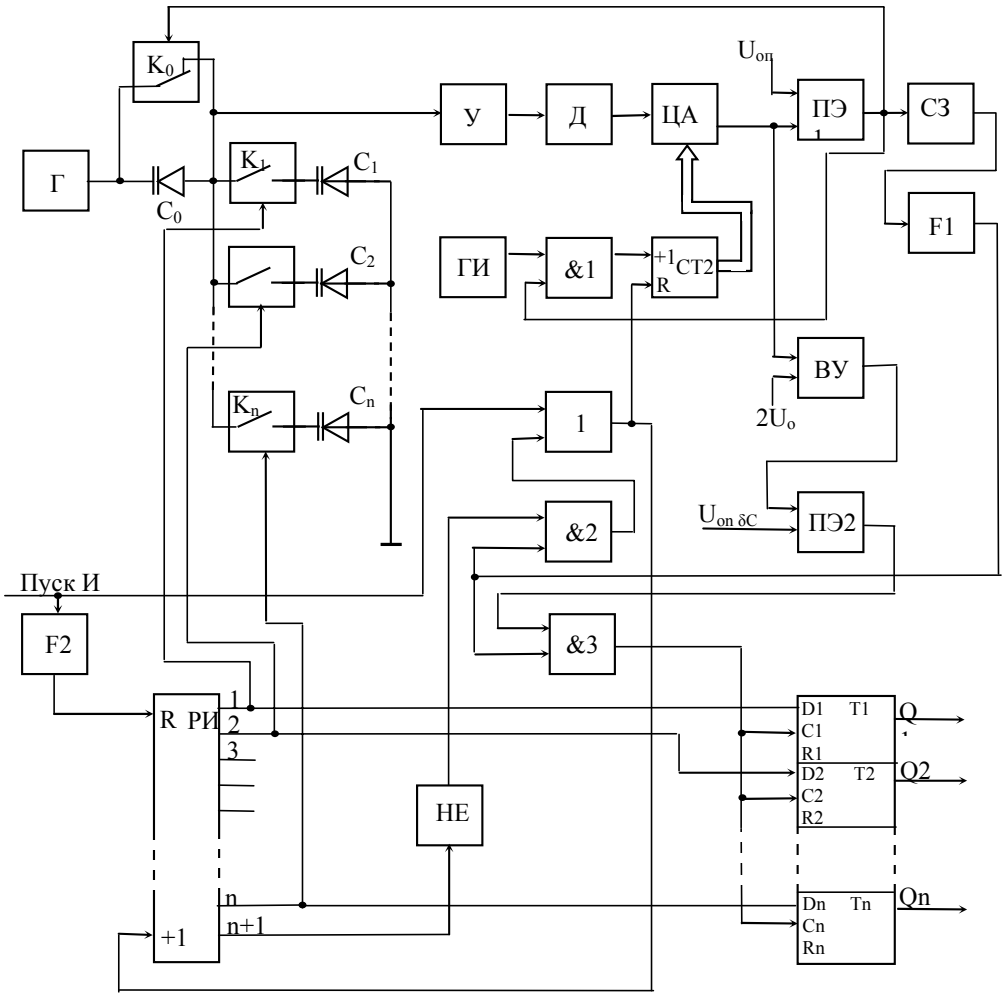
 ISBN 7-776-8361-7

величина падения напряжения на резисторе емкостно-омического делителя составляет не более нескольких милливольт. Следовательно, снимаемый с делителя сигнал нуждается в значительном (около 1000 раз) усилении, что сопровождается довольно ощутимым временным и температурным дрейфом коэффициента усиления высокочастотного тракта и появлением в сигнале значительной шумовой составляющей. Кроме того, метод емкостно-омического делителя обладает методической погрешностью. Поэтому приведенная схема может применяться для контроля комплектов варикапов с относительно большими уровнем емкости и допустимым процентом расхождения.

Для существенного увеличения сигнала, снимаемого с измерительной схемы, следует перейти к емкостному делителю, состоящему из двух последовательно соединенных емкостей.

Схемы с пространственным и временным разделением каналов для двух емкостей в приведенном решении не обладают методической погрешностью и описаны в [2].

Схема с временным разделением каналов для произвольного количества варикапов в комплекте на основе емкостного делителя, обладающая более высокими характеристиками в части стабильности, представлена на рис.2.



Г – генератор высокой частоты; $C_0 \ldots C_n$ – измеряемые варикапы; $K_0 \ldots K_n$ – ключи; У – усилитель высокой частоты; Д – амплитудный детектор; ЦАП – цифроаналоговый преобразователь; СТ2 – двоичный счетчик; & - схемы совпадения; ГИ - генератор импульсов; ПЭ – пороговые элементы; СЗ – схема задержки; F – формирователи импульсов; ВУ – вычитающее устройство; 1 – схема «ИЛИ»; РИ – распределитель импульсов; НЕ – инвертор; T1..Tn – триггера.

Рис. 2 Схема прямоотсчетного измерителя расхождений по емкости с временным разделением каналов

В исходном состоянии схемы ключ $К_0$ находится в замкнутом состоянии, как показано на рисунке, в счетчике СТ2 хранится такой код, что напряжение на выходе ЦАП превышает порог срабатывания порогового элемента ПЭ1, который выдает потенциал, запрещающий прохождение тактовых импульсов от генератора ГИ на вход счетчика СТ2. Генератор Г высокой частоты вырабатывает синусоидальное напряжение частоты, при которой производится измерение емкостных параметров варикапов $C_0 \ldots C_n$, которое усиливается и детектируется соответственно усилителем У и детектором Д и поступает на аналоговый вход ЦАП.

Передним фронтом импульса «Пуск И» через формирователь F2 обнуляется распределитель импульсов РИ, одновременно этим же импульсом обнуляется счетчик СТ2, напряжение на выходе ЦАП становится равным нулю, пороговый элемент ПЭ1 выдает потенциал, устанавливающий ключ $К_0$ в разомкнутое состояние, и разрешает прохождение тактовых импульсов от генератора ГИ через схему &1 на вход счетчика СТ2. Одновременно в распределитель импульсов РИ добавляется единица, на его выходе 1 устанавливается потенциал, включающий ключ $К_1$, подключающий варикап C_1, который с варикапом C_0 образуют емкостной делитель. Одновременно на вход D1 триггера T1 поступает разрешающий потенциал.

Сигнал $U_д$ на выходе детектора равен:

$$U_{д1} = \frac{U_г \cdot k_y}{\dfrac{1}{\omega C_0} + \dfrac{1}{\omega C_1}} \cdot \frac{1}{\omega C_1} = U_г \cdot k_y \cdot \frac{C_0}{C_0 + C_1}, \qquad (1)$$

где $U_{д1}$ – напряжение на выходе детектора при подключении варикапа C_1.;

$U_г$ – напряжение генератора,

k_{y1} – общий коэффициент усиления усилителя У и детектора Д при подключении варикапа C_1;

ω – круговая частота измерения.

По мере заполнения счетчика СТ2 растет напряжение на выходе ЦАП. При достижении им значения, определяемого порогом срабатывания элемента ПЭ1, на выходе ЦАП формируется потенциал, запрещающий прохождение тактовых импульсов на вход счетчика. На выходе ЦАП получаем:

$$U_{д1} \cdot k_1 = U_{оп}, \qquad (2)$$

где k_1 – коэффициент передачи ЦАП при подключении варикапа C_1,

$U_{оп}$ – порог срабатывания элемента ПЭ1.

Значение k_1 в виде кода хранится в счетчике СТ2.

С появлением запрещающего потенциала на выходе ПЭ1 ключ $К_0$ переходит в замкнутое состояние. В этом случае сигнал на выходе ЦАП равен:

$$U_{2-1} = U_г \cdot k_y \cdot k_1 , \qquad (3)$$

Или с учетом (1) и (2):

$$U_{2-1} = U_г \cdot k_y \frac{U_{оп}}{U_г \cdot k_y} \cdot \frac{C_o + C_1}{C_0} = U_{оп} + U_{оп} \frac{C_1}{C_0} .$$

Тогда на выходе вычитающего устройства ВУ получим

 ISBN 7-776-8361-7

$$U_{вых1} = U_{оп}\frac{C_1}{C_0} - U_{оп} = U_{оп}\frac{\Delta C_1}{C_0} = U_{оп}\delta C_1,$$

где $\delta C_1 = \frac{\Delta C_1}{C_0} = \frac{C_0 - C_1}{C_0}$ - относительная величина степени расхождения емкостей C_0 и C_1.

Полученный сигнал сравнивается с предельно допустимым $U_{оп\&C}$ на пороговом элементе ПЭ2 и в виде сигнала «годен-брак» поступает на вход схемы совпадения &3, на второй вход которой приходит задержанный и сформированный сигнал срабатывания ПЭ1. Время задержки схемы С3 определяется временем срабатывания реле $К_0$ и установления переходных процессов, возникших в результате закорачивания варикапа $С_0$. В результате в триггере Т1 запоминается информация о степени идентичности пары варикапов $С_0$-$С_1$.

Этот же задержанный импульс через блок совпадения &2и схему «ИЛИ» добавляет единицу в распределитель РИ, подключая варикап $С_2$, и обнуляет счетчик СТ2, цикл повторяется.

На выходе ВУ в конце цикла появляется сигнал

$$U_{вых2} = U_{оп}\frac{C_2}{C_0} - U_{оп} = U_{оп}\frac{\Delta C_2}{C_0} = U_{оп}\delta C_2,$$

где $\delta C_2 = \frac{\Delta C_2}{C_0} = \frac{C_0 - C_2}{C_0}$ - относительная величина степени расхождения емкостей C_0 и C_2.

Затем подключается третий варикап и т. д. В результате на выходе ВУ в момент замкнутого состояния ключа $К_0$ периодически возникает сигнал, пропорциональный степени расхождения емкостей варикапов $С_2 \ldots С_п$ по отношению к варикапу $С_0$. Эта информация в виде сигнала «годен-брак» запоминается в триггерах Т1…Tn.

На последнем цикле в распределителе РИ активизируется выход n+1, на схему &2 приходит запрещающий потенциал, счетчик СТ2 не обнуляется, схема переходит в исходное состояние.

Следует отметить, что выходной сигнал устройства (рис.2) не зависит от параметров генератора и усилителя высокой частоты, что выгодно отличает приведенную схему в части ее стабильности. Следовательно, эту схему можно рекомендовать для варикапов с минимальной емкостью, т. е. наиболее распространенных типа КВ122, используемых в селекторах телевизионных приемников.

При необходимости контролировать степень идентичности по всей ВФХ испытуемых варикапов устройство следует дополнить памятью, где будут храниться в цифровом виде значения коэффициентов k_i.

Схема эта относится к схемам с временным разделением каналов. Естественно, эта схема требует больше времени на формирование измерительного сигнала δC_i, однако при современной элементной базе это время относительно невелико. В частности, применение герконовых реле позволяет уменьшить время срабатывания ключей до нескольких (около 5) миллисекунд. Формирование кода k_i в приведенном варианте (последовательном счете) занимает примерно такое же время, а при использовании метода поразрядного уравновешивания (реализуемого на базе интегральной микросхемы типа К155ИР17) не более 1 миллисекунды. В результате суммарное время контроля параметров комплекта из 20 варикапов в 8-ми точках ВФХ с учетом переходных процессов, возникающих в результате коммутации, занимает не более 300 мс, что вполне приемлемо.

По сравнению со схемами на основе емкостно-омического делителя приведенная схема не имеет методической погрешности.

Существенным недостатком, ограничивающим применение схемы, приведенной на рис.2 является то, что схема может котролировать степень расхождения варикапов С1…Сn только по отношению к варикапу С0. При необходимости проконтролировать степень расхождения других пар емкостей, например, С1 и С2 или С2 и С4, необходимо либо воспользоваться алгоритмом комплектования, описанном для схемы рис.1, либо изменить схему коммутатора.

В случае применения приведенного алгоритма трудность состоит в реализации перемещений варикапов с одной измерительной позиции на другую. При использовании же специализированного коммутатора загрузка всей партии приборов на измерительные позиции осуществляется один раз, а при обработке результатов измерений возможно получение полной картины о всех всевозможных «парах» варикапов и при анализе получение максимального числа комплектов из данной партии.

Один из вариантов коммутатора, который позволяет в качестве «опорного» использовать любой из варикапов С1…Сn и по отношению к нему проверять все остальные варикапы, представлен на рис.3.

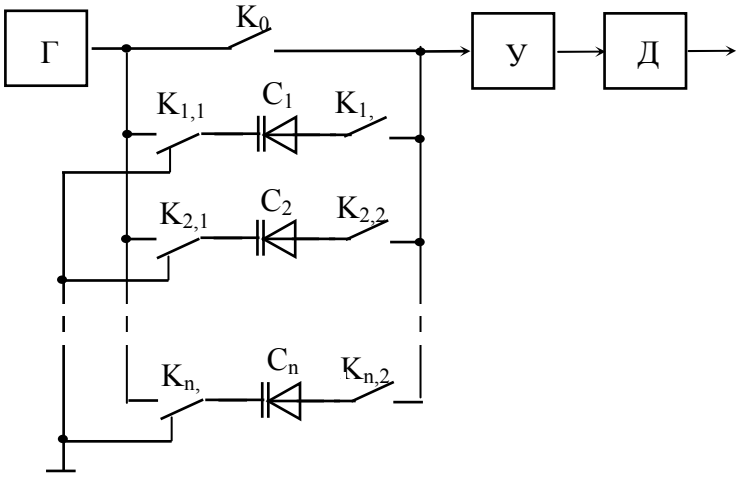


Рис. 3 Схема коммутатора

Если в качестве «опорного» берется варикап C_1, замыкаются контакты $K_{1,1}$ и $K_{1,2}$, варикап, который проверяется на идентичность по отношению к «опорному», допустим C_2 , подключается путем срабатывания $K_{2,2}$, образуя с C_1 емкостной делитель Информация об идентичности контролируемой пары возникает при срабатывании K_0.

Естественно, схема управления коммутатором изменится, как и схема регистрации степени годности контролируемых пар. В приведенном варианте коммутатора можно контролировать любую пару измеряемого комплекта.

Следует также отметить, что любую пару варикапов, допустим C_1-C_2 можно контролировать, взяв в качестве «опорного» или C_1 или C_2, при этом одна из указанных емкостей будет больше, другая меньше, Соответственно, если при определении степени расхождения делить на большее из указанных значений, получим заниженное значение δC, на меньшее – завышенное. Такой же эффект можно получить, если информацию с триггеров, в которых хранится результат, направить на схему & или на схему «ИЛИ». При этом срабатывание схемы & даст эффект деления на меньшее из значений C_1 и C_2, схемы «ИЛИ» – на большее. При допустимом расхождении 3% эта разница составляет примерно 0,1%, однако при больших допустимых расхождениях она может достигать ощутимой величины и существенно влиять на процент комплектования варикапов в партии. Так, при

 ISBN 7-776-8361-7

допустимом отклонении 6% эта разница составляет уже 0,34%, что существенно корректирует зону комплектования, так как зона сокращается на 0,34/6= 5,67%.

Выводы:

Прямоотсчетные измерители расхождений с пространственным разделением каналов требуют идентичных с высокой точностью каналов измерения, что практически трудно реализуемо. В измерителях расхождений с временным разделением каналов это требование отсутствует, поэтому они более пригодны для измерений комплектов варикапов с малыми емкостями.

Измерители на основе емкостно-омического делителя обладают низкой разрешающей способностью из-за наличия в измерительном сигнале значительной шумовой составляющей. Существенно повысить соотношение сигнал-шум возможно с применением емкостного делителя.

Structures of measuring instruments of capacitance - voltage characteristics divergences of varycaps in the complete set on the basis of schemes of capacitance-ohmic and capacitor dividers with spatial and time division of measurement channels are considered. Schemes of measuring instruments and algorithm of varycaps acquisition are developed. Analysis of their accuracy characteristics is made and scopes of the considered measuring instruments are defined.

1. Голощапов С.С. Автоматизация измерений и контроля высокочастотных параметров в микроэлектронике. Херсон.: ХГТУ, 2001-176с.
2. Голощапов С.С. Измерение емкости методом емкостного делителя. // Електричний журнал. – 2000. - №2. – С. 23 – 26.

УДК 519.71

КОМПЬЮТЕРНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ КЛАССИФИКАЦИИ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ИММУННЫХ АЛГОРИТМОВ

Литвиненко В.И., Дидык А.А., Захарченко Ю.А.

Введение. Искусственные иммунные системы (ИИС) являются новым направлением в исследованиях вычислительного интеллекта (ВИ). В настоящее время существует определенное число моделей ИИС, которые используются для решения задач распознавания образов, обнаружения отказов, компьютерной безопасности и многих других приложений [1]. Среди различных механизмов биологической иммунной системы при разработке ИИС наиболее часто используются модель иммунной сети и клональный отбор [2].

Целью работы является разработка компьютерной системы для решения задач распознавания и классификации с учителем, предназначенной для исследования свойств алгоритмов клонального отбора и искусственной иммунной сети.

Искусственные иммунные системы для решения задач распознавания. В настоящее время существует ряд компьютерных систем предназначенных для решения задач классификации на основе иммунных алгоритмов. К наиболее известным можно отнести WEKA (Waikato Environment for Knowledge Analysis) [5]. Система, основанная на использовании нейронной сети и искусственной иммунной сети для решения задач классификации (*http://wekaclassalgos.sourceforge.net/*), также включает реализованный на данной платформе Джейсоном Браунли [6] алгоритм клонального отбора. Система реализована на языке Java.

В предлагаемой авторами системе реализована способность иммунной системы распознавать и обучаться для решения задач классификации и распознавания.

Постановка задачи классификации. Для формальной постановки задачи классификации вектор признаков $x \in X \subseteq R^n$ является описанием объектов, которое является модулем преобразования. Классом называется некоторое подмножество $K_y = \{x \in X | y^*(x) = y\}$ множества X. Обучающей выборкой называется набор $T = (x_1, y_1),...,(x_l, y_l)$, для которых $y^*(x_i) = y_i, i = \overline{1,l}$, то есть это известная информация об отображении $X \xrightarrow{y^*} Y$. Задача классификации заключается в построении функции классификации $F(x)$, приближающей отображение y^*, основываясь на обучающей выборке $(x_1, y_1),...,(x_l, y_l)$.

В ИИС антитела (детекторы) и антигены (данные) имеют формальное представление в виде векторов координат (атрибутов): $Ab = (Ab_1, Ab_2, ..., Ab_l)$ для антитела и $Ag = (Ag_1, Ag_2, ..., Ag_l)$ для антигена. Без потери общности допустим, что данные вектора имеют одинаковый размер. В этом случае под аффинностью связей антител друг с другом или антител с антигенами понимается расстояние между соответствующими векторами атрибутов, которое выражается в виде скалярного неотрицательного значения: $P^l \times P^l \to \Re^+$, определяющего степень соответствия между молекулами (векторами атрибутов). Причем, при использовании оговоренной выше степени подобия форм, получается, что чем меньше расстояние между индивидуумами, тем выше их аффинность друг к другу. Значение расстояния может быть вычислено при помощи любой из приведенных ниже метрик:

- евклидово расстояние D_E (используется при вещественном или целочисленном кодировании атрибутов)

 ISBN 7-776-8361-7

$$D_E = \sqrt{\sum_{i=1}^{l} \left(Ab_i - Ag_i\right)^2} \; ; \qquad (1)$$

- манхэттенское расстояние D_M (также используется при вещественном или целочисленном кодировании)

$$D_M = \sum_{i=1}^{l} \left|Ab_i - Ag_i\right| . \qquad (2)$$

Более детально теория клонального отбора и искусственной иммунной сети, их формальное представление и алгоритмы описаны в работах [2,3,4].

Модифицированный алгоритм клонального отбора. Пошаговая реализация алгоритма клонального отбора представлена на рис.1. Основным отличием данной реализации алгоритма от классической для решения задач классификации есть оператор мутации. В связи с большим объемом данных при решении задач распознавания мы столкнулись с проблемой быстроты работы алгоритма.

1.Создание первоначальной популяции Ab
2.Вычисление аффинности каждого Ab:
3. Клонирование пропорционально аффинности
(чем выше аффинность, тем больше клонирование)
4. Гипермутация:
  4.1. Вычисление весов каждого гена антитела
  4.2. Сопоставление веса гена с заданным
    весовым порогом
5.Модифицированная гипермутация получение матрицы M_C
6. Расчет аффинности между модифицированными клетками памяти M_C и каждым ag_i из Ag
7. Ранжирование антител из Ab по убыванию их аффинности.
8. Отбор n наилучших антител Ab' в результирующее множество M_R
9. Генерация n_C новых антител $Ab_{Ген}$
10. Получение новой популяции $Ab_M = M_R \cup Ab_{Ген}$
11. Проверка критерия останова

Рис. 1 Алгоритм клонального отбора для решения задач классификации

Для ускорения процесса мутации было предложено для каждого гена антитела устанавливать весовой коэффициент. Если весовой коэффициент данного гена ниже, чем выбрано в установках построения сети, то ген необходимо подвергать мутации, в противном случае, оставлять как есть. Для установления весового коэффициента используются следующие формулы:

$$VS[ab_i] = \frac{\sum_{k=1}^{L} \left(Ab_k - Ag_k\right)^2}{\sqrt{\sum_{j=1}^{L} \left(Ab_j - Ag_j\right)^2}}, \qquad k \neq i \qquad (3)$$

$$VS[ab_i] = \frac{\sum_{k=1}^{L} \left| Ab_k - Ag_k \right|}{\sum_{j=1}^{L} \left| Ab_j - Ag_j \right|}, \qquad k \neq i \tag{4}$$

Формула (3) используется в случае, если расстояние между антителом и антигеном вычисляется как Евклидово расстояние, формула (4) – если расстояние вычисляется как Манхеттеновское расстояние. Весовой коэффициент назначается гену на каждом шаге мутации: ab_i – ген антитела Ab_j, для которого определяется вес; ab_j – ген антитела Ab_j; ag_j – ген антигена Ag_j; ab_k – ген антитела Ab_j, который не соответствует гену ab_i (т.е. $ab_i \in \lfloor Ab_j \rfloor$; $[Ab_k] \subset \lfloor Ab_j \rfloor$; $ab_i \notin [Ab_k]$). С целью оптимизации процесса обучения иммунной сети и формирования клеток памяти, а также для ускорения работы алгоритма клонального отбора, для формирования пула клонов при выполнении операции клонирования использовался фактор умножения. В нашей реализации *n* антител с самой высокой афинностью перед процессом клонирования сортировались в порядке возрастания. Таким образом, общее количество клонов, сгенерированных для всех этих *n* выбранных антител, устанавливалась в соответствии с формулой (5):

$$N_c = \sum_{i=1}^{n} round\left(\frac{\beta * N}{i}\right), \tag{5}$$

где N_c – общая сумма клонов, произведенных для каждого из антигенов; β - фактор умножения; N – общая сумма антител; *round* – оператор, который округляет аргумент к самому близкому целому числу. Каждый слагаемый этой суммы соответствует размеру клона каждого отобранного антитела, например, для N=100 и β=1, антитело с самой высокой афинностью (i=1) производит 100 клонов, в то время как второе по афинности антитело производит 50 клонов и т.д.

Модифицированный алгоритм иммунной сети. Иммунная сеть математически может быть представлена в виде графа, причем необязательно полносвязного, который состоит из множества узлов - клеток сети (антител) и множества взвешенных ребер, означающих связи между клетками. Значение веса ребра соответствует аффинности связи клеток друг с другом. В иммунных сетях различают два вида аффинности:

- аффинность связи «антиген-антитело» (*Ag-Ab*) – степень различия;
- аффинность связи «антитело-антитело» (*Ab-Ab*) – степень подобия.

Структура компьютерной системы. Блок интерфейсов. Включает интерфейс оператора (системного программиста). Данный блок выполняет следующие основные функции:

- ввод данных;
- вывод информации о результатах тестирования;
- управление процессом тестирования;
- настройку параметров подсистемы обучения искусственной иммунной сети.

Блок формирования искусственной иммунной сети для решения задачи классификации. Данный блок получает на вход записи, содержащие значения индивидуумов для конкретной задачи классификации. В соответствии с заданными оператором настройками и выбранным алгоритмом обучения, осуществляет формирование пула памяти искусственной иммунной сети согласно входному пулу индивидуумов.

Блок обработки результатов обучения ИИС. Осуществляет формирование статистической отчетности по результатам обучения искусственной иммунной сети на всех его этапах и созданию пула клеток памяти. К такой отчетности относится статистика созревания аффинности на каждой итерации обучения сети, количество клеток памяти сети и т.д.

 ISBN 7-776-8361-7

1.Создание первоначальной популяции Ab
2.Вычисление аффинности каждого Ab:
3. Клонирование пропорционально аффинности
(чем выше аффинность, тем больше клонирование)
4. Гипермутация:
4.1. Вычисление весов каждого гена антитела
4.2. Сопоставление веса гена с заданным
весовым порогом
5.Модифицированная гипермутация получение матрицы M_C
6. Измененные клоны добавляются в популяцию антител
$Ab' \leftarrow Ab \cup M_C$, вычисляется аффинность аффиность
популяции антител Ab' с каждым ag_i из популяции Ag.
7. Метадинамика. Производится клональное удаление
нестимулированных детекторов в соответтвии с порогом σ_d т.е.
если $Affin \leq \sigma_d$, то детектор удаляется.
8. Вычисление аффинности между антителами, т.е. степени
подобия $(Ab\text{-}Ab)$.
9. Супрессия сети. Удаление тех антител Ab', чей порог
больше σ_s и переносим полученные антитела в матрицу M_R.
10. Проверка критерия останова. В случае невыполнения к матрице
Ab к добавляются детекторы из M_R и переход на шаг 2.

Рис. 2 Алгоритм искусственной иммунной сети для решения задач классификации.

База данных ИИС. База данных хранит следующие элементы:

- клетки памяти искусственной иммунной сети для соответствующей задачи классификации;
- статистические данные, полученные в процессе обучения искусственной иммунной сети.

Блок диспетчера тестирования ИИС. Блок имеет следующие функциональные характеристики:

- загрузка тестирующих записей из внешней базы данных;
- прогонка работы ИИС на загруженных данных;
- формирование отчетности по результатам решения задачи классификации.

Модульная структура системы. На рис. 4 показана модульная структура ИС для решения задачи классификации.

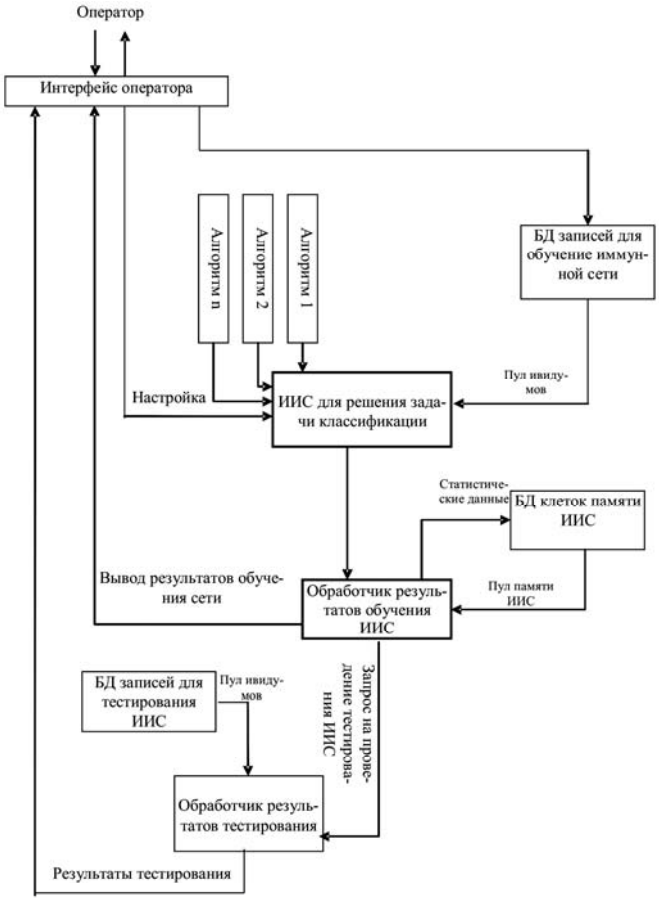


Рис. 3 Концептуальная структура компьютерной системы

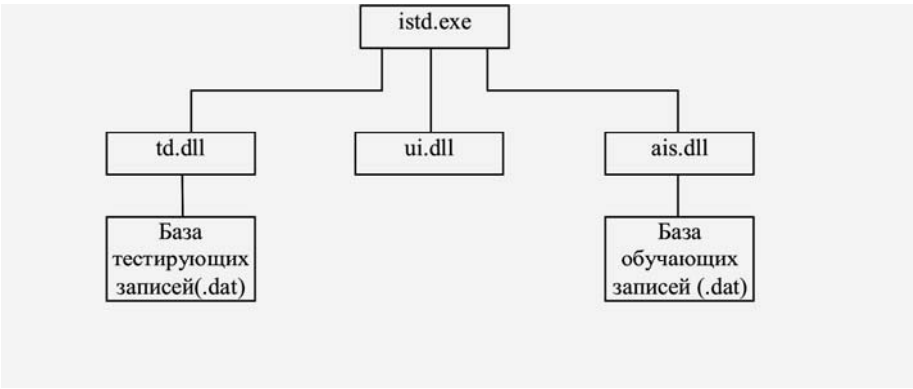


Рис. 4 Модульная структура системы

Модуль ais.dll содержит библиотеку классов ИИС. Каждый контролируемый параметр системы использует отдельный экземпляр ИИС. Модуль td.dll выполняет задачу проведения проверки работы ИИС на решение задачи классификации. В его функции входит получение и обработка записей для классификации из внешней базы данных и формирование результатов тестирования. Данные накапливаются в базе и выбираются оттуда по мере необходимости посредством запросов из модуля ais.dll. Модуль ui.dll является графическим интерфейсом ИС. Для хранения баз данных используются электронные таблицы в формате CSV.

Функционирование программы и параметры настройки. Используются следующие параметры для обучения :

 ISBN 7-776-8361-7

The size of population – размер популяции антител, формируемый на каждом шаге итерации для каждого индивидуума из обучающей выборки;

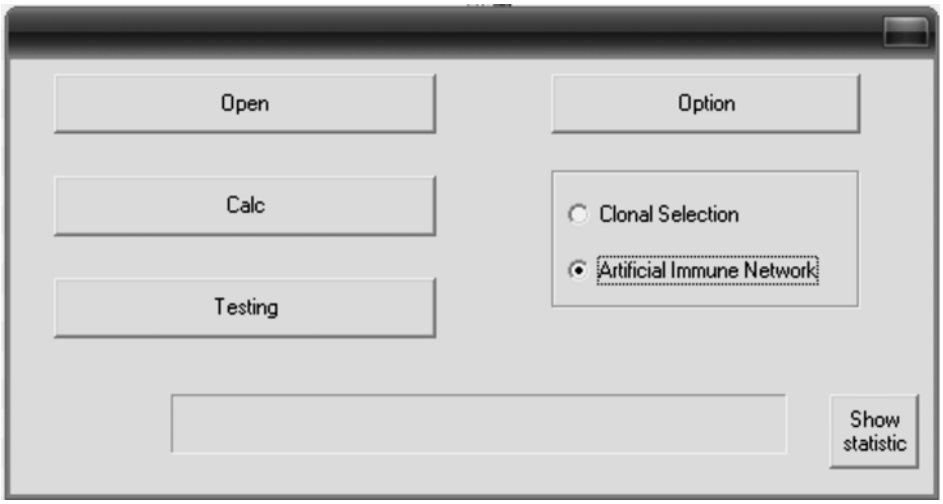


Рис.5 Общий вид интерфейса системы

Number of the best individums – число антител с наилучшей афинностью из популяции антител, которое не будет заменено на следующем шаге итерации случайными числами. Расачитывается как процентное соотношение от размера популяции антител.

Number of generations – число генераций для каждого антитела из обучающей выборки.

Mutation factor – фактор мутации антитела, который влияет на скорость приближения генерируемого антитела к обучающему. Допускается значение фактора в пределе 1-30. Чем больше значение фактора мутации, тем больше значение, на которое изменяется антитело на шаге мутации:

$$\alpha(D^*) = \exp(-\rho D^*) \qquad \textbf{(5)}$$

где ρ – параметр контролирующий сглаживание инверсии экспоненциала, D^* - норамлизированная афинность, расчитанная как $D^*=D/D_{max}$.

Input e – нормированный порог аффинности.

Mutation percent – параметр, задающий процент гипермутации антитела. Задается в процентном соотношении. Указывает число генов антитела, которые подлежат мутации. Количество изменяемых генов расчитывается следующим образом:

$$MG = round(MP/100) \qquad \textbf{(6)}$$

где MG – количество изменяемых генов, MP – заданный процент от общего количества генов антитела, *round* – оператор, который округляет аргумент к самому близкому целому числу.

Beta koef – фактор умножения для операции клонирования. Общее количество клонов, сгенерированных для всех n выбранных антител, устанавливалась в соответствии с формулой (5).

Mutation updating – включатель процедуры модифицированной мутации антител. Для ускорения процесса мутации было предложено для каждого гена антитела устанавливать весовой коэффициент формулы (3) и (4).

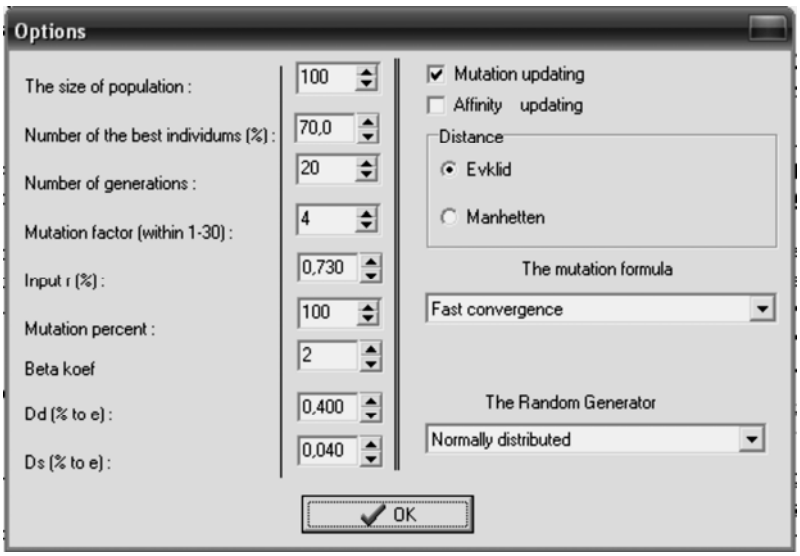


Рис.6 Интерфейс настройки основных параметров
клонального алгоритма и искусственной иммунной сети

Affinity updating – включатель процедуры модифицированного расчета афинности антител. Афинность расчитывается по следующей формуле:

$$Aff_{ij} = \begin{cases} \dfrac{Dist_{ij} + \dfrac{n_j}{N_j}}{2}, & n_{\bar{j}} = 0 \\ 0 & n_{\bar{j}} > 0 \end{cases} \qquad \textbf{(10)}$$

где Aff_{ij} - афинность между *i*-м антителом и *j*-им антигеном; $Dist_{ij}$ - расстояние между *i*-м антителом и *j*-им антигеном (нормированное от 0 до 1: 0 – максимально возможное расстояние, 1 – полное совпадение координат); n_j - количество антигенов, попавших в область охвата *i*-ого антитела, у которых ключевой класс совпадает с *j-ым* антигеном; N_j - общее количество антигенов, в которых ключевой класс совпадает с *j-ым* антигеном; $n_{\bar{j}}$ - количество антигенов, попавших в область охвата *i*-ого антитела, у которых ключевой класс не совпадает с *j-ым* антигеном.

Distance – вычисление расстояний между антителами:

Evklid – Эвклидово расстояние (1); Manhetten – Манхеттеновское расстояние (2).

The mutation formula – формула, по которой производится мутация антитела. Имеет следующие варианты выбора:

– *Fast convergence* : $c_j^* = c_j - \alpha(ab_i - c_j), \qquad j = 1,...,|C|$;

– *Affinity proportional mutation*: $c_j^* = c_j - \exp(-\alpha D^*), \qquad j = 1,...,|C|$;

– *Somatic mutation* : $c_j^* = c_j + \exp(-\alpha D) * N(0,\alpha), \qquad j = 1,...,|C|$;

где c_j – мутируемый антиген, α – коэффициент мутации, *N(0, α)* – функция случайного распределения в диапазоне (0, α); Td (σ_d) – порог смертности для антител в клетках памяти иммунной сети; Ts (σ_s) – порог суппрессии.

Выводы. Разработаны модифицированные алгоритмы и компьютерная система, предназначенные для решения задач классификации и исследования свойств алгоритмов для решения задач классификации на основе клонального отбора и искусственной иммунной сети. Система позволяет исследовать влияние операторов замещения, суппрессии, гипермутации и их модификаций на скорость сходимости и качество классификации. При-

 ISBN 7-776-8361-7

менение и исследование разработанной иммунной системы позволит создавать и разрабатывать алгоритмы классификации и распознавания образов для решения различных прикладных задач.

In article the computer system for the decision of problems of classification on the basis of the modified algorithms of an immune network and algorithm clonal selection is described. The architecture of system, program modules and parametres of adjustment of algorithms of training is described.

1. De Castro, L. N. & Timmis, J. I. Artificial Immune Systems: A New Computational Intelligence Approach, , London: Springer-Verlag 200o), September, 357 p.
2. Бідюк П.І. Литвиненко В.І. Фефелов. А.О. Формалізація методів побудови штучних імунних мереж// Наукові вісті НТУУ “КПІ”. 2007 р.–С.29-41
3. Литвиненко В.И. Искусственные иммунные системы как средство индуктивного построения оптимальных моделей сложных объектов // Проблемы управления и информатики. –. 2008.– № 3.– с. 43-61.
4. Литвиненко В. И. Иммунный классификатор для решения задач бинарной классификации (теоретические основы) //Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. Випуск 1(42). –Дніпропетровськ, 2006. с.114-130.
5. http://sourceforge.net/projects/weak
6. Brownlee J. Clonal Selection Theory & CLONALG - The Clonal Selection Classification Algorithm (CSCA) // Victoria, Australia: Centre for Intelligent Systems and Complex Processes (CISCP), Faculty of Information and Communication Technologies (ICT), Swinburne University of Technology; 2005 Jan; Technical Report ID: 2-01.

УДК 620.179:534.6

ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПОЛОЖЕНИЯ СКВОЗНЫХ ДЕФЕКТОВ

Луцкий М.Г., Пономаренко А.В., Филоненко С.Ф.

Введение

Сквозные дефекты, возникающие в продуктопроводах, являются дефектами, которые могут не приводить к разрушению продуктопроводов. Однако они являются причиной утечки транспортируемых газовых и жидких сред. Для их обнаружения, как отмечено в работе [1], используются два основных метода - низкочастотный акустический метод и метод акустической эмиссии. Применение данных методов базируется на обработке временной задержки прихода сигналов на датчики, установленные на продуктопроводе. Временная задержка определяется по анализу взаимной корреляционной функции (ВКФ). Различие используемых методов (низкочастотный акустический метод и метод акустической эмиссии) заключается в различии частотных диапазонов анализируемых сигналов. При этом метод акустической эмиссии (АЭ) основан на том, что неровности сквозных дефектов, сложность их геометрии и другие факторы приводят к возникновению высокочастотного акустического излучения или излучения сигналов АЭ.

И все же наибольшее распространение имеет низкочастотный акустический метод [2, 3]. Это обусловлено простотой методик регистрации сигналов, распространяющихся по продуктопроводу и относительной помехозащищенностью. В тоже время, наличие различных влияющих факторов (неравномерность физико-механических характеристик материалов, дефекты структуры, дисперсия звука и т.д.) приводят к сложному, изрезанному характеру ВКФ, неустойчивости основного всплеска ВКФ и т.д. Для повышения достоверности определения места положения сквозных дефектов используются различные методы [4-8]. Например, частотная фильтрация, т.е. выбор полосы частот для обработки сигналов, поступающих с приемных датчиков. Используемые и разрабатываемые методы направлены на получение статистической устойчивости основного всплеска ВКФ. Однако из-за сложной формы ВКФ, даже при статистической устойчивости ее основного всплеска, временное положение пика основного всплеска может изменяться. Это, безусловно, будет приводить к ошибкам определения места положения сквозного дефекта.

Устранение или уменьшение данной ошибки, как показано в работе [1], возможно при условии обработки временного положения энергетического центра тяжести основного всплеска, который при цифровой обработке сигналов рассчитывается согласно выражения вида

$$\tau_{\text{ТЦ}} = [\sum_{k=0}^{n}(t_k U_k^2)]/(\sum_{k=0}^{n} U_k^2), \qquad (1)$$

где $U_k = \Delta U A_k$ - k-ый отсчет амплитуды принятого сигнала в момент времени аналого-цифрового преобразования $t_k = k\Delta t$; Δt - временной интервал дискретизации входного сигнала; ΔU -чувствительность аналого-цифрового преобразователя на единицу младшего разряда; A_k - цифровой код k-го отсчета амплитуды на выходе аналого-цифрового преобразователя; n – количество отсчетов амплитуды на интервале действия сигнала.

С учетом U_k и t_k выражение (1) будет иметь вид

$$\tau_{\text{ТЦ}} = [\sum_{k=0}^{n}(k\Delta t A_k^2)]/(\sum_{k=0}^{n} A_k^2). \qquad (2)$$

 ISBN 7-776-8361-7

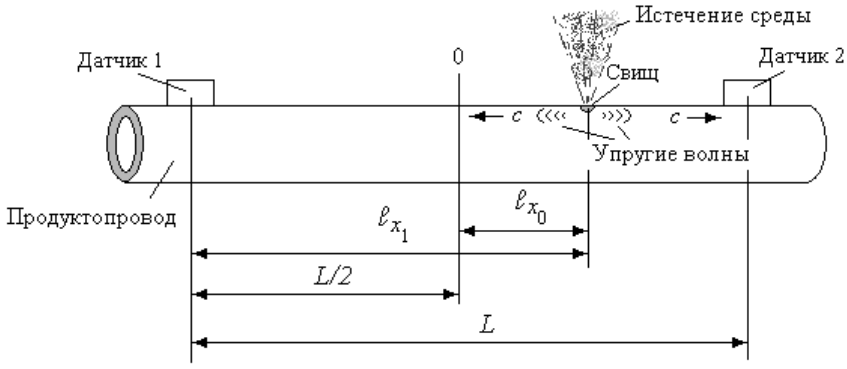
Использование временного положения энергетического центра тяжести пикового сигнала ВКФ, безусловно, повышает достоверность определения положения сквозного дефекта. Это обусловлено тем, что центр тяжести есть единственный и однозначно определяемый математически.

В тоже время, продуктопроводы имеют не только линейный размер (протяженность или длину), но и диаметр или, условно говоря, “толщину”. Образующиеся сквозные дефекты могут располагаться в любом месте по толщине продуктопровода по отношению к линии, соединяющей приемные датчики. Такое расположение сквозного дефекта, с учетом неоднородности физико-механических характеристик материалов продуктопроводов, различного рода дефектов, дисперсия скорости звука и других факторов приводит к возникновению фазовых сдвигов и трансформации ВКФ. Это будет влиять на достоверность и точность определения положения течей в продуктопроводах.

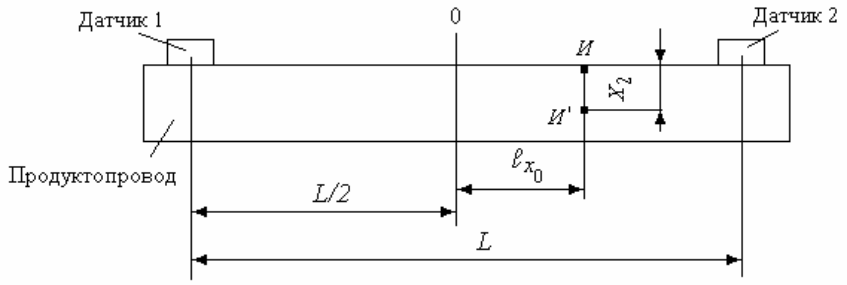
В работе будет показано, что расположение течей по толщине продуктопровода приводит к возникновению ошибок, которые могут быть учтены, как систематические ошибки. Так же будет показано, что смещение сквозного дефекта по толщине продуктопровода приводит к видоизменению и трансформации ВКФ, когда пиковый сигнал сдвигается в область отрицательных амплитуд. При этом инверсия отрицательных амплитуд ВКФ и обработка пикового сигнала позволяет уменьшить ошибки определения места положения сквозного дефекта в продуктопроводах при вытекании транспортируемых сред.

Результаты исследований

Допустим на продуктопроводе расположены два датчика, расстояние между которыми составляет L (рис.1, *а*).



а



б

Рис. 1 Схемы для расчета места положения сквозного дефекта по временной задержке прихода сигналов на датчики: а – при расположении источника акустического излучения (свища) на линии, соединяющей приемные датчики; б – при расположении источника акустического излучения (свища) по толщине (глубине) продуктопровода. И – источник излучения

В промежутке между ними существует сквозной дефект, который является источником акустического излучения. Место положение сквозного дефекта по часовой задержке прибытия сигналов на датчики, которая устанавливается по ВКФ, определяется двумя путями. При расчетах один из датчиков принимается как базовый для построения ВКФ, например, датчик номер два. Первый путь – относительно датчика 1 (рис.1, *а*), в соответствии с выражением

$$\ell_{x1} = \frac{L}{2} \pm \frac{\tau_z c}{2} \quad , \tag{2}$$

где ℓ_{x1} - расстояние от первого датчика до источника излучения (рис.1, *а*); L – расстояние между датчиками; τ_z - временная задержка прибытия сигналов, которая определяется по ВКФ при базовом датчике 2; c – скорость распространения звука в материале продуктопровода.

Второй путь – относительно начала координат “0”, который располагается в середине расстояния между датчиками (рис.1, *а*), в соответствии с выражением

$$\ell_{x0} = \pm \frac{\tau_z c}{2} \quad , \tag{3}$$

где ℓ_{x0} - расстояние от начала координат “0” до источника излучения (рис. 1, *а*).

При этом временная задержка τ_z определяется по ВКФ, которая рассчитывается по выражению вида

$$K_{xy} = \frac{1}{N-i} \sum_{i=0}^{N-i} x_i y_{i+p} \ , p=0 \div N \ , \tag{4}$$

где x_i, y_i - соответственно, сигналы, зарегистрированные базовым датчиком 2 и датчиком 1; N – длина выборки $N = T / \Delta t$; T – время регистрации сигналов, Δt - интервал дискретизации или цифрового преобразования сигналов.

Определение расстояния, согласно (2) и (3), осуществляется в линейной постановке при условии того, что источник акустического излучения находится на линии соединяющей приемные датчики (рис.1, *а*). Однако источник излучения ($И'$, рис.1, *б*) может находиться на некоторой глубине X_2 по толщине продуктопровода, по отношению к линии, соединяющей приемные датчики. В этом случае, за место положения источника излучения в линейной постановке задачи принимают точку проекции источника $И'$ на линию, соединяющую приемные датчики, т.е. точку *И* (рис.1, *б*). Однако расчеты координат, согласно (3) показывают существование методической ошибки. Данная ошибка не зависит от способа определения временной задержки – по пиковой амплитуде ВКФ, по временному положению центра тяжести площади пикового сигнала ВКФ или центра тяжести его энергии. Она определяется выражением вида

$$\Delta\ell_{x0} = \ell_{xo} - 0{,}5\left[\sqrt{(L/2+\ell_{x0})^2 + X_2^2} - \sqrt{(L/2-\ell_{x0})^2 + X_2^2}\right], \tag{5}$$

где X_2- глубина расположения источника акустического излучения относительно линии, соединяющей приемные датчики.

Из (5) следует, что ошибка $\Delta\ell_{x0}$ будет равна нулю при следующих условиях

$$\Delta\ell_{x0} = 0 \begin{cases} при \ X_1 = 0 & \text{и любом значении } X_2, \\ при \ X_2 = 0 & . \end{cases}$$

При этом, если возрастают значения ℓ_{x0} и X_2, то ошибка определения положения источника излучения возрастает. Для уменьшения значения ошибки необходимо вводить поправку. Другими словами, действительная координата источника излучения определя-

 ISBN 7-776-8361-7

ется как приблизительное значение координаты до источника относительно начала координат “0”, с учетом поправки на координату, т.е.

$$\ell_x = \ell_{x0} + \Delta\ell_{x0}, \qquad (6)$$

где ℓ_{x0}, $\Delta\ell_{x0}$ - соответственно, приблизительное значение координаты и поправка на координату, которая обусловлена методической ошибкой.

Для фиксированной схемы размещения датчиков значение $\Delta\ell_{x0}$ может быть рассчитано для каждого значения ℓ_{x0} и описано необходимой функцией. Другими словами, можно учитывать максимальную ошибку, которая определяется габаритами продуктопровода и расстоянием между датчиками. Для этого необходимо использовать выражение (5) при известном максимальном значении координаты X_2, которая соответствует размеру продуктопровода по толщине.

На рис. 2 показаны результаты расчетов абсолютного значения ошибки определения координат при базовом расстоянии между датчиками, равном *L*/2=25 м, и толщине продуктопровода, равной *h* =1 м. Из рис.2 видно, что при уменьшении координаты ℓ_{x0} абсолютное значение ошибки, в зависимости от глубины размещения источника излучения, уменьшается. Следует отметить, что потенциально источник излучения не может быть расположен на линии базового размера по вертикали, т.е. на линии расположения датчиков по вертикали, так как, в этом случае, расстояние расположения источника излучения до начала координат будет превышать базовый размер. Это означает, что кривая 1 на рис. 2 не будет существовать. Расчеты показывают, что при базе в десятки метров и значении ($2X_2/L$)<0,25 ошибка определения координаты по абсолютному значению не превышает единиц сантиметров. При возрастании отношения ($2X_2/L$)>0,25 ошибка определения координаты возрастает. Для уменьшения ошибки необходимо проводить построение номограмм абсолютного значения ошибки по толщине продуктопровода (рис. 2) при определенном расстоянии до источника излучения сигналов АЭ.

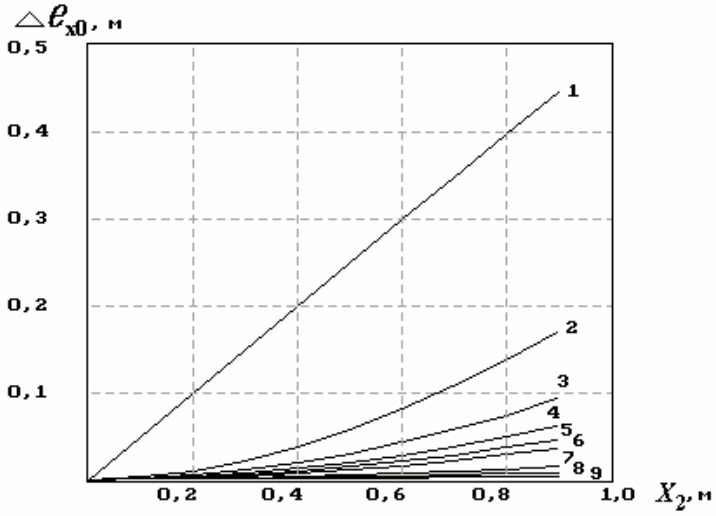


Рис. 2 Зависимости изменения абсолютного значения ошибки определения координаты ℓ_{x0} при размещении источника излучения по толщине продуктопровода. Базовый размер L/2= 25 м, толщина продуктопровода h= 1 м. Расстояние до источника излучения ℓ_{x0}; 1 – 25 м; 2- 24 м, 3 – 23 м; 4 – 22 м; 5 – 21 м; 6 – 20 м; 7- 15 м; 8 – 10 м; 9 – 5 м

Рассмотренная ошибка является систематической и обусловлена геометрией продуктопровода и самим методом определения места положения источника акустического излу-

чения. Вместе с тем, отклонение места положения источника от прямой линии, соединяющей приемные датчики, приводит и к изменению направления приема. С учетом дисперсии скорости звука, неравномерности физико-механических характеристик материала продуктопровода, наличия разнообразных дефектов это может приводить к возникновению фазовых сдвигов, видоизменению и трансформации ВКФ. Как показывают эксперимен-тальные исследования при перемещении источника акустического излучения по толщине продуктопровода наблюдается неустойчивость ВКФ, которая заключается в следующем. Фиксируется изменение периода ВКФ (наличие временного сдвига), а так же появление пикового сигнала с максимальной амплитудой в области отрицательных значений ВКФ.

На рис. 3 показаны схемы расположения источника акустического излучения и типичные результаты обработки ВКФ. На рис. 3, *а, б* показаны, соответственно, схема размещения датчиков на продуктопроводе и источника акустического излучения, который расположен на линии соединяющей приемные датчики, а так же ВКФ, полученная по результатам обработки регистрируемых сигналов, согласно (4). На рис. 3, *в, г* показаны, соответственно, схема размещения датчиков на продуктопроводе и источника акустического излучения, который расположен на противоположной стороне продуктопровода, по отношению к линии соединяющей приемные датчики, а так же ВКФ, полученная по результатам обработки регистрируемых сигналов, согласно (4). ВКФ на рис.3, *б, г* нормированы, т.е. приведены к максимальному значению амплитуды пикового сигнала ($K_{xy}/|K_{\max}|$).

Проведенные исследования заключались в следующем. Осуществлялось определение места положения свища в продуктопроводе. Свищ представлял собой сквозной дефект в виде трещины неправильной формы с максимальным размером ~ 2 мм, который образовался в трубе. Труба была изготовлена из стали 0Х18Н10Т. Ее диаметр составлял 500 мм, толщина стенки – 10 мм. Скорость звука в материале трубы составляет 5120 м/с. Труба была заполнена воздухом под давлением.

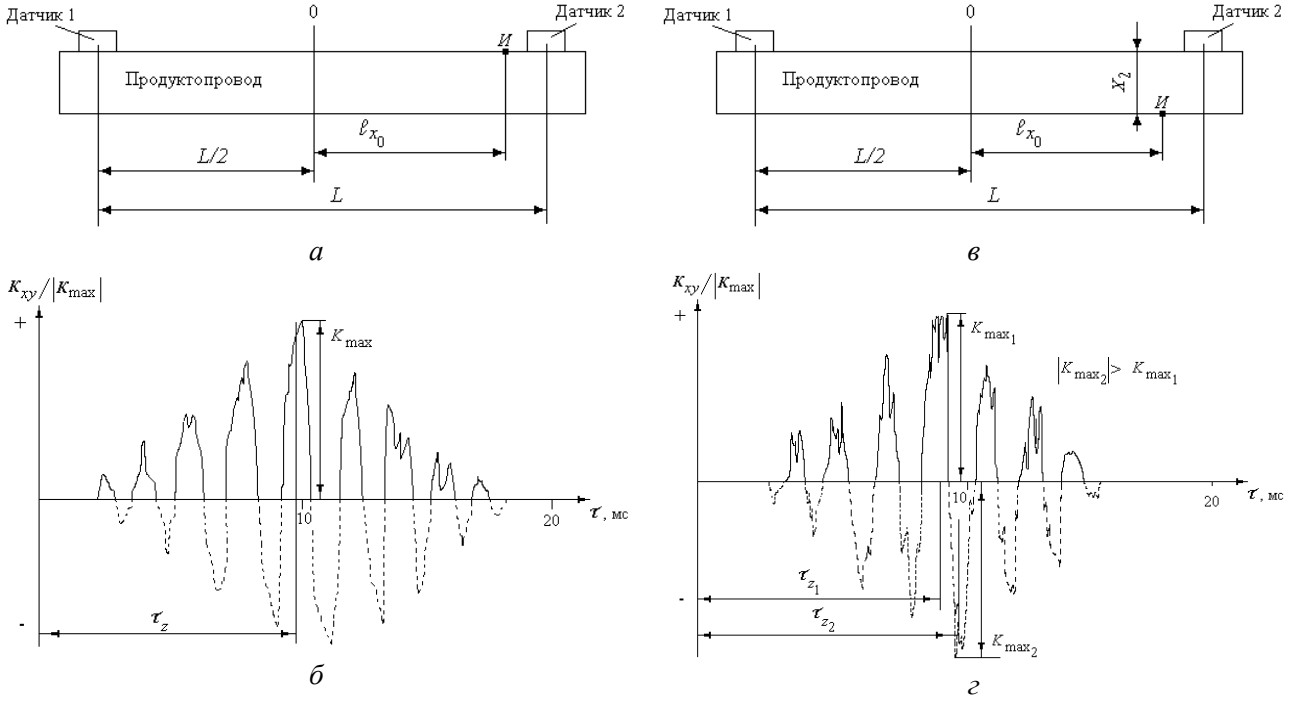


Рис. 3 Схемы расположения источника акустического излучения (*а, в*) и нормированные ВКФ (*б, г*), полученные по результатам обработки сигналов АЭ, в соответствии с (4): *И* – источник акустического излучения

 ISBN 7-776-8361-7

На трубе были установлены два датчика, согласно рис.3, между которыми находился сквозной дефект. Датчики размещались следующим образом. Сначала так, что сквозной дефект находился на линии, соединяющей датчики (рис. 3, *а*), а затем с противоположной стороны линии, соединяющей датчики (рис. 3, *в*). Расстояние L между датчиками составляло 50 м. Расстояние ℓ_{x0} от начала координат “0” до сквозного дефекта составляло 24 м (рис. 3, *а, в*). Во втором случае, датчик размещался на расстоянии X_2, равном 500 мм по толщине трубы от линии, которая соединяет датчики. При истечении воздуха из трубы проводилась регистрация и обработка сигналов АЭ с определением задержки прибытия сигналов на датчики по временному положению энергетического центра тяжести пикового сигнала ВКФ.

Результаты проведенных исследований показали, что при расположении источника излучения на линии, соединяющей приемные датчики, ВКФ имеет сложный, изрезанный характер изменения (рис.3, *б*). Однако, как показала статистическая обработка данных результатов 100 измерений, пиковый сигнал, в большинстве случаев, находится в области положительных значений ВКФ (рис. 3, *б*). При этом определено, что место положение свища относительно начала координат “0” в принятой схеме расположения датчиков (рис. 3, *а*) составляет ℓ_{x0}= 23,79 ± 0,053 м. Из полученного результата видно, что максимальная ошибка определения места положения сквозного дефекта составляет порядка 1,1 %.

При расположении источника излучения на противоположной стороне трубы, в соответствии со схемой, показанной на рис.3, *в*, ВКФ имеет более сложный характер изменения (рис. 3, *г*). При этом, как показала статистическая обработка данных результатов 100 измерений, в большинстве случаев, на ВКФ наблюдается сдвиг в область меньших времен, а пиковый сигнал находится в области отрицательных значений ВКФ (рис. 3, *б*). Фактически наблюдается временной сдвиг и перераспределение пикового сигнала из положительной в отрицательную область значений ВКФ. Речь идет об абсолютном значении амплитуды пикового сигнала ВКФ. Из полученных результатов (рис. 3, *б, г*) видно, что в первом случае - $|K_{\max 2}| < K_{\max 1}$ (рис.3, *б*), а во втором случае - $|K_{\max 2}| > K_{\max 1}$.

Обработка временного положения энергетического центра тяжести положительного пикового сигнала ВКФ, при расположении источника излучения на противоположной стороне трубы, показала, что в принятой схеме расположения датчиков абсолютная ошибка определения места положения источника излучения может исчисляться единицами метров, т.е. превышать 20%. Это обусловлено тем, что при учете только положительного пикового сигнала ВКФ возникает дополнительная ошибка $\Delta\ell_{x0\tau}$, за счет разности временных положений энергетических центров тяжести положительного и отрицательного пиковых сигналов, т.е. $\Delta\tau_Z = |\Delta\tau_{Z2} - \Delta\tau_{Z1}|$ (рис. 3, *г*). В этом случае расчетная координата положения источника излучения будет иметь значение $\ell_{x0} \pm \Delta\ell_{x0} \pm \Delta\ell_{x0\tau}$. В тоже время, статистическая обработка данных по временному положению энергетического центра тяжести пикового сигнала, с учетом положительной и отрицательной составляющей ВКФ, показала, что место положение свища относительно начала координат “0”, в принятой схеме расположения датчиков (рис. 3, *в*), составляет ℓ_{x0}= 23,72 ± 0,047 м. Систематическая ошибка определения его места положения, согласно (5), составляет ± 0,06 м. С учетом этого ℓ_{x0}=23,72 ± 0,041 м. Из полученного результата видно, что максимальная ошибка определения места положения сквозного дефекта составляет порядка 1,34 %. Ошибка выше, чем в первом случае, т.е. при расположении источника излучения на линии, соединяющей приемные датчики. Однако она на порядок ниже, чем в случае обработки только положительного пикового сигнала ВКФ.

Заключение

Таким образом, результаты проведенных исследований показали, что при регистрации и обработки сигналов акустической эмиссии для определения места положения источника излучения необходим учет систематической погрешности. Она обусловлена линейной постановкой задачи при определении места положения источника акустического излучения для продуктопровода с заданной геометрией. Систематическая ошибка возникает в случае, если источник излучения находится не на линии, соединяющей приемные датчики, а располагается на некоторой глубине по толщине продуктопровода. Данная ошибка может быть учтена для продуктопровода определенной геометрии и схемы расположения приемных датчиков, размещаемых на продуктопроводе. Для этого необходимо построение расчетных номограмм изменения систематической ошибки при известной толщине продуктопровода и определенном расстоянии до источника излучения. В тоже время, расположение источника акустического излучения по толщине изделия, с учетом дисперсии звука, неравномерности физико-механических характеристик материалов продуктопроводов, их дефектности и других факторов, приводит к видоизменению и трансформации ВКФ. При этом может происходить перераспределение пикового сигнала ВКФ из положительной в отрицательную область значений. Как показали полученные результаты, для уменьшения ошибки определения места положения источника акустического излучения, пиковый сигнал необходимо определять с учетом положительных и отрицательных значений амплитуд ВКФ.

The results of researches to determination a position of through defects in constructions, that working under pressure, using of acoustic emission are adduced. Is shown that arrangement a source of acoustic radiation on construction depth results in originating a bias. For its count the plotting of nomograms a change of bias is necessary at known construction depth and definite spacing interval up to a radiation source. The results of processing a mutual correlation function are reviewed at arrangement of acoustic radiation source on a line, which one connects sensors, and as on the counter party construction. Is shown, that for decreasing an error of a fix position of radiation source, the peak signal is necessary for determining with allowance of positive and negative amplitudes of a mutual correlation function.

1. Бабак В.П., Пономаренко П.В. Локализация места положения сквозных дефектов по сигналам акустической эмиссии//Автоматика, автоматизация, электротехнические комплексы и системы.-2007.-№ 1.-С.39-46.
2. Каллакот Р. Диагностика повреждений.-М.: Мир,1989.-512 с.
3. Владимирський А.А., Владимирський И.А. Методика комплексного использования течеискателей К-10 и А-10 при порске утечек трубопроводов теплових сетей// Зб. наук. праць. ІПМЕ НАНУ.-2000.-Вип. 9.-С. 3-11.
4. Безпрозванный А.А., Владимирский А.А., Владимирский И.А., Ненюк А.Т. Повышение достоверности поиска утечек трубопроводов тепловых сетей// Энергетика и электрофикация.-2000.-№2 (199).-С.29-32.
5. Владимирский А.А., Владимирский И.А. Оценка некоторых погрешностей корреляционного течеискателя// Зб.накових праць ІПМЕ НАНУ.- 1999.-Вип.2.-С.118-126.
6. Владимирский А.А., Владимирский И.А. К формированию модели диагностируемого участка трубопроводной системы для решения задач течеискания // Зб.накових праць ІПМЕ НАНУ.- 2001.-Вип.7.-С.66-69.
7. Лапшин Б.М., Овчинников А.Л. Взаимоспектральный метод обнаружения утечек на трубопроводах с односторонним доступом //Дефектоскопия.- 2004.- № 9.- С. 19-26.
8. Владимирський А.А., Владимирський И.А. Способ частотного анализа характеристик корреляционных функций вибросигналов // Зб. наук. праць. ІПМЕ НАНУ.- 2000.- С. 23-24.

 ISBN 7-776-8361-7

УДК 681.3.01:519.67

СЕГМЕНТАЦІЯ ЗОБРАЖЕНЬ СТОХАСТИЧНИХ ТЕКСТУР АМПЛІТУДНО-ДЕТЕКТОРНИМ МЕТОДОМ У ПРОСТОРІ ВЕЙВЛЕТ-ПЕРЕТВОРЕННЯ

Полякова М.В., Волкова Н.П., Іванова О.В.

Постановка проблеми. Сегментація зображень є складовою частиною цифрової обробки зображень, яка передбачає виділення потрібної інформації на зображені за допомогою автоматизованих систем. Залежно від ознаки, з якої проводять сегментацію зображення, виділяють контурну, текстурну, кольорову сегментацію зображень, сегментацію форми та ін.

Текстурна сегментація зображення – це процес його розділення на однорідні області, відповідні певним текстурам. Об'єднання пікселів початкового зображення в окремі однорідні області здійснюється на основі деяких специфічних властивостей пікселів, що належать одній і тій же текстурі [1].

Аналіз останніх публикацій. Невирішені частини загальної проблеми. З аналізу літератури доцільно виділити дві групи методів сегментації. Методи першої групи [2] здійснюють перехід від значень ознаки сегментації до значень інтенсивності зображення і включають процедури оцінки ознаки сегментації; підкреслення границі між однорідними областями зображення; порогової і морфологічної обробки потенційних границь однорідних текстурних областей. Згідно другій групі методів текстурної сегментації зображень [3] проводиться оцінка ознаки сегментації, класифікація векторів ознаки, виділення граничних точок однорідних областей і обробка границь.

Процедури, що становлять зміст методів першої групи текстурної сегментації зображень (детекторних), дозволяють досягти високої швидкодії і прості в реалізації. Проте вони незавадостікі та дають високу похибку визначення координат точок границь текстурних областей. Методи текстурної сегментації, які використовують класифікацію векторів ознаки, складніші і не мають високої швидкодії. Ці методи завадостійкі і дозволяють отримати низьку похибку визначення координат точок границь текстурних областей.

Детекторний метод використовувався у [2] для сегментації текстур, що відрізняються амплітудами спектральних складових. При сегментації стохастичних текстур цей метод давав велику похибку визначення координат точок границь текстурних областей.

Метою даної роботи є зниження похибки визначення координат пікселів границь однорідних текстурних областей та підвищення завадостійкості сегментації стохастичних текстур шляхом використання амплітудного детектування зображення у просторі вейвлет-перетворення. Для досягнення поставленої мети необхідно розробити амплітудно-детекторний метод сегментації зображень стохастичних текстур у просторі вейвлет-перетворення та провести експериментальні дослідження цього методу на тестових зображеннях.

Моделювання стохастичних текстур. У [1] наведено декілька стохастичних моделей для представлення стохастичних текстур. У основі цих моделей лежить гіпотеза про те, що зразки текстур — це вибірка з деякого імовірнісного розподілення. Якщо, аналізуючи зразок, знайти цей розподіл, то з його допомогою можна генерувати текстуру будь-якого розміру. При цьому зразок і нова текстура повинні сприйматися як фрагменти одного і того ж об'єкту (оскільки мають однаковий розподіл).

Текстури, до котрих має відношення подібна гіпотеза, прийнято називати стохастичними (рис. 1).

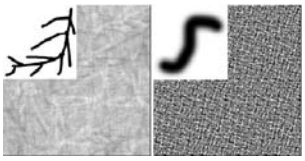


Рис. 1 Приклади текстур, отриманих за допомогою довільного обертання різних базових елементів

У стохастичній текстурі можна виділити дві компоненти — детерміновану і випадкову. Зразок текстури піддається ієрархічному аналізу, який по своїй структурі близький до вейвлет-аналізу. Вважається, що певні рівні отриманого уявлення відповідають випадковій компоненті, а інші — детермінованій.

Враховуючи приведене поняття стохастичної текстури приймемо наступну статистичну модель представлення зображення текстури. Хай x=1, …, N; y=1, …, M — просторові координати. Представимо значення інтенсивності m-го рядка зображення текстури з однорідним фоном у вигляді розбиття на послідовні непересічні сегменти [2]

$$I_0(x, y_m) = \bigcup_{i=1}^{k} \{h_i(x, y_m) = c_i(x, y_m) + N_i(x, y_m), x \in [q_{i-1}, q_i]\}, \quad (1)$$

де $c_i(x, y_m)$ — представлення фону на i-му сегменті m-го рядка зображення, $N_i(x, y_m)$ — біла гаусівська завада з нульовим середнім і дисперсією σ_i^2, $q = (q_0, ..., q_{k+1})$ — вектор границь текстурних областей m-го рядка зображення, причому q_0=1, q_{k+1}=N+1, N — кількість пікселів у рядку зображення.

У [2] передбачено, що на границях областей текстур значення фонової складової зображення та значення дисперсії завади стрибкоподібно змінюється, проте ця зміна обмежена:

$$|c_i(q_{i+1}, y_m) - c_{i+1}(q_{i+1}, y_m)| \geq c_{\min},$$

$$|\sigma_i - \sigma_{i+1}| \geq \sigma_{\min}, \; i = 1, ..., k-1; \; j = 1, ..., n;$$

де $c_{\min}$, $\sigma_{\min}$ — параметри моделі.

При формуванні зображень істотний вплив внутрішніх завад датчиків різної фізичної природи. Адекватною моделлю власних завад датчиків є адитивна гаусівська модель [4]:

$$I(x, y_m) = I_0(x, y_m) + N(x, y_m), \quad (2)$$

де $I(x, y_m)$ — m-й рядок зображення з завадою; $I_0(x, y_m)$ — m-й рядок зображення без завади; $N(x, y_m)$ — незалежні нормально розподілені спостереження з нульовим середнім і дисперсією σ^2.

При такій моделі представлення зображення текстури для побудови сегментації необхідно визначити границі областей текстур для кожного рядка і стовпця зображення, а потім виконати їх об'єднання. В результаті отримаємо границі областей текстур зображення, що дозволяють побудувати сегментацію.

Амплітудно-детекторний метод сегментації стохастичних текстур у просторі вейвлет-перетворення. Методологія текстурної сегментації зображень із застосуванням детектування включає слідуючи етапи:

— виділяється область просторових частот, в якій локалізована амплітудно-частотна моделююча складова зображення;

— до результату локалізації зображення в області просторових частот застосовується детектування, яке зміну ознаки текстури перетворює у зміну інтенсивності;

— після детектування проводиться контурна сегментація зображення;

— обробка проводиться по рядках і стовпцях зображення, до результату обробки застосовується логічне складання по схемі «АБО».

 ISBN 7-776-8361-7

При застосуванні цієї методології до сегментації зображень стохастичних текстур необхідно мати на увазі, що для текстур, які описуються моделлю (1) частота несучого коливання близька за значенням до частоти огинаючої амплітудно-модульованого сигналу. Тому для контурної сегментації зображення, отриманого в результаті детектування, слід використовувати метод з високою завадостійкістю.

На основі методології текстурної сегментації зображень із застосуванням детектування запропоновано амплітудно-детекторний метод у просторі вейвлет-перетворення (рис. 2), який передбачає квадратичне детектування зображення, низькочастотну фільтрацію, контурну сегментацію корреляційно-екстремальним методом у просторі вейвлет-перетворення та заключну морфологічну обробку.

Рис. 2 Функціональна схема запропонованого методу сегментації зображень стохастичних текстур

Квадратичне амплітудне детектування зображень стохастичних текстур. Амплітудний детектор складається з нелінійного перетворення і низькочастотного фільтру. Якщо на детектор подається модульований сигнал, то квадратичне детектування [5] здійснюється при малій амплітуді сигналу, що повністю вкладається на нижній квадратичній ділянці амплітудно-частотної характеристики.

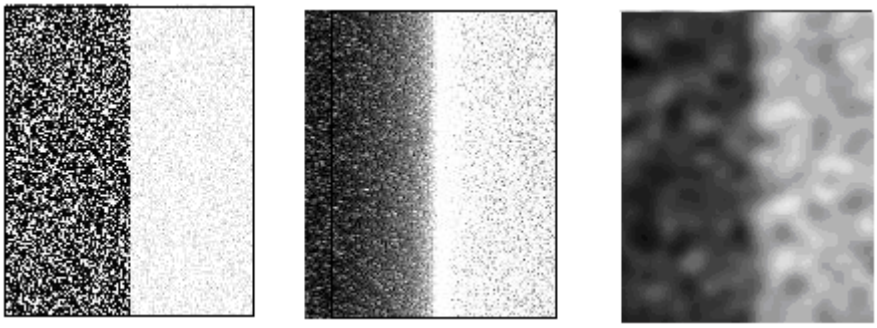
У роботі реалізація квадратичного амплітудного детектування полягала в застосуванні до кожного рядка матриці зображення перетворення Гілберта:

$$\tilde{I}(x, y_m) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{I(x, y_m)}{x - \tau} d\tau .$$

Квадратичне детектування зображення (рис. 3, б) виконувалося по формулі:

$$I_{амп}(x, y_m) = \sqrt{(I(x, y_m))^2 + (\widetilde{I}(x, y_m))^2}\ .$$

Далі виконувалася низькочастотна фільтрація результату детектування зображення за допомогою низькочастотного гаусівського фільтру [6] (рис. 3, в).



а) б) в)

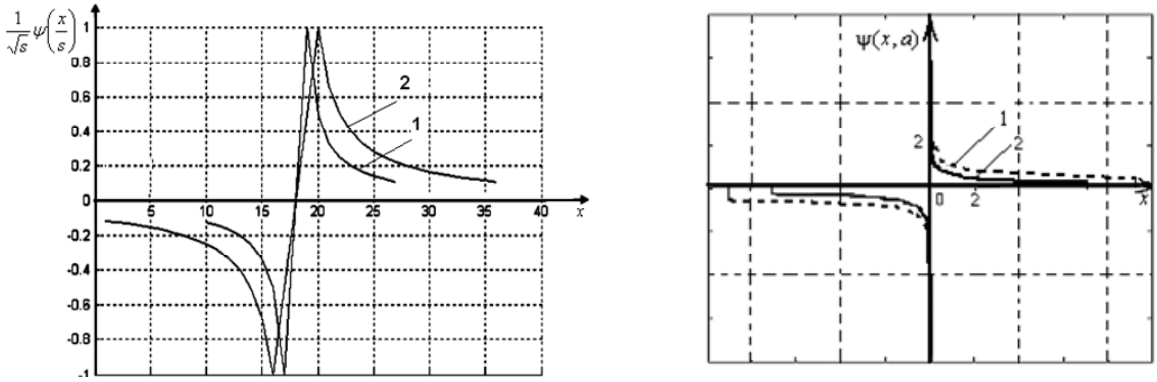
Рис. 3 Початкове зображення (а), результат застосування квадратичного амплітудного детектування (б), результат низькочастотної фільтрації зображення, отриманого після амплітудного детектування (в).

Використання вейвлет-перетворення для підкреслення контурів зображення, отриманого в результаті детектування. Останнім часом при рішенні задачі контурної сегментації зображень для підкреслення перепадів інтенсивності використовується вейвлет-перетворення. Воно забезпечує просторово-частотну локалізацію значень інтенсивності зображення та може бути представлене оператором згортки з сімейством функцій, отриманих шляхом застосування перетворень подібності і зсуву до єдиної функції — материнського вейвлета.

У роботі використовувалося модифіковане гіперболічне вейвлет-перетворення (ГВП), яке в [7] визначено як вейвлет-перетворення з функцією

$$\psi(x) = \frac{1}{\pi\alpha x} G(x)\ ,$$

де ε, γ — константи, α — масштабуючий коефіцієнт, $G(x) = \begin{cases} 1, \varepsilon < |x| \le \gamma, \\ x^2/\varepsilon, \quad |x| \le \varepsilon \end{cases}$ (рис. 4, а).



а) б)

Рис. 4 Функції $\left(1/\sqrt{s}\right)\psi\left(x/s\right)$ при s=1 (1); s=2 (2) (а) та функції $\psi(x,a)$ при a=0,5 (1); 0,25 (2)

Також виконувалося репагулярне вейвлет-перетворення (РВП), що визначається у [8] для будь-якої функції $f(x) \in L_2(R)$ як згортка з функцією $\psi(x,a) = \begin{cases} |x|^{-a}\ \mathrm{sgn}\, x, |x| \le \varepsilon, \\ 0, |x| > \varepsilon; \end{cases}$,

де $\varepsilon > 0$ — фіксоване число, a — параметр, що характеризує регулярність функції, на відміну від масштабу звичайного вейвлет-перетворення, b — параметр зсуву (рис. 4, б).

 ISBN 7-776-8361-7

Кореляційно-екстремальна обробка зображення з підкресленими контурами. Після підкреслення перепадів інтенсивності зображення за допомогою ГВП проводиться послідовна порогова обробка з отриманим на основі теорії статистичних рішень по критерію максимальної правдоподібності вирішальним правилом вигляду [8]

$$Z > a_1 E_s / 2 + \ln \frac{1 - P_0}{P_0}, \qquad (3)$$

де a_1 — оцінка амплітуди еталонного сигналу $S(x, y_m)$, який визначався як $S(x, y_m) = \{0, 0, 0, 0, 1, 1, 1, 1\}$, E_s — енергія $S(x, y_m)$ в просторі ГВП, Z — кореляційна функція фрагмента *m*-го рядка $I(x, y_m)$ зображення і $S(x, y_m)$, для яких також виконувалося ГВП.

Фрагмент $I(x, y_m)$ *m*-го рядка зображення передбачався таким, що складається з l пікселів, де l — ширина ковзаючого вікна послідовної обробки, (x, y_m) — координати першого пікселя фрагмента.

Оцінка максимальної правдоподібності невідомої амплітуди детермінованого сигналу a_1 $S(x, y_m)$ на фоні адитивної гаусівської завади має вигляд $a_1 = Z / E_s$.

У [8] застосування вирішального правила (3) вимагає завдання інтенсівності мінімального перепаду, що виявляється, $a_{1\min}$, і апріорної вірогідності появи перепаду інтенсивності в рядку і стовпці зображення P_0: $P_0 = P\{a_1 > a_{1\min}\}$, $1 - P_0 = P\{a_1 \le a_{1\min}\}$, які оцінювалися експериментально шляхом налаштування.

Приведемо послідовність дій кореляційно-екстремального методу контурної сегментації зображень у просторі ГВП. Початкове зображення піддається ГВП, значення параметрів якого обираються на підставі апріорної інформації про зображення. Далі проводиться послідовна кореляційно-екстремальна обробка результату ГВП узгодженими фільтрами, що містять моделі перепадів інтенсивності. В результаті цієї обробки виділяється область перепаду інтенсивності шляхом порівняння з порогом, який обирається на підставі апріорної інформації про мінімальний перепад інтенсивності, що виявляється. Вирішення про наявність перепаду інтенсивності в поточному фрагменті рядка або стовпця зображення проводиться в пристрої вибору рішення за допомогою теорії статистичних рішень. Результатом є виділена область контура (рис. 5). Обробка зображення проводиться по рядках і по стовпцях. Результати обробки об'єднуються по схемі логічного складання «АБО».

а) б) в)

Рис. 5 Кореляційно-екстремальна обробка зображення, отриманого в результаті застосування ГВП з масштабом *s* = 1 (а) і РВП із значенням параметра *a* = 1 (б); застосування морфологічної обробки до рис. 5, а.

Морфологічна обробка бінарного зображення контурного препарату. Група кореляційно-екстремальних методів контурної сегментації зображень має високу завадостійкість, проте в умовах перешкод за допомогою цих методів можна виявити швидше область, в якій знаходиться перепад, чим його точну координату.

Контур, отриманий в результаті кореляційно-екстремальної обробки, має товщину, що перевищує 1 піксель. Для утоньшення контуру використовувалася наступна схема:

— сканування кожного рядка (стовбця) контурного препарату зображення і заміна кожній серії з n>0 одиниць на послідовність {0, …, 0, 1, 0, …, 0} з n елементів з одиницею в позиції $[n/2]+1$;

— результати порядкової і постовцової обробки об'єднуються шляхом логічного складання по схемі «АБО».

Використання методу Канні контурної сегментації для обробки зображення, отриманого в результаті детектування. Одним з найбільш завадостійких методів контурної сегментації зображень є заснований на математичній морфології метод Канні [6]. У даній роботі цей метод використовувався для контурної сегментації зображень стохастичних текстур після амплитудного детектування.

Перевагами методу Канні контурної сегментації зображень є нелінійне контрастування, що поліпшує завадостійкість методу. Для ліквідації розривів контура у складі методу використовується морфологічна операція дилатації нарощування точок контура. Використання морфологічної операції дилатації у поєднанні з немаксимальним приглушенням сприяють поліпшенню завадостійкості методу і візуальної якості контурного препарату. Недоліками методу Канні є низька точність виділення контурів, що впливає на завадостійкість.

Експеріментальні дослідження та висновки. При проведенні експериментальних досліджень запропонованого амплітудно-детекторного методу сегментації зображень стохастичних текстур оцінювалася його завадостійкість, похибка визначення координат точок границь сегментів, ефективність. При оцінці завадостійкості методу порівнювалися ідеально і реально сегментовані зображення по критерію Прета [4].

Показником якості сегментації текстури зображення обирався показник близькості між границями тестового ідеально сегментованого зображення $I^{эт}$ і сегментованого запропонованим методом обробки I^t [9]:

$$F = \frac{1}{P}\sqrt{\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M}\left(I_{i,j}^{t} - I_{i,j}^{эт}\right)^2}\ , \tag{4}$$

де P — довжина границь виділених сегментів в пікселах, M, N — розміри зображення.

Для оцінки ефективності сегментації використовувався показник з [9]

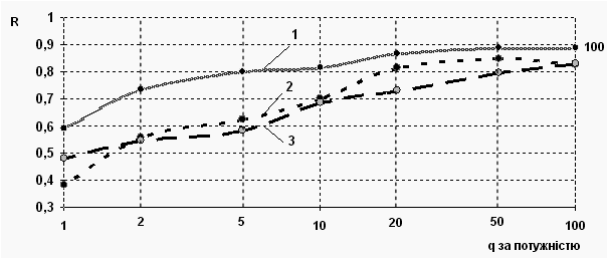
$$E = \frac{n\log_2 q}{k+1}, \tag{5}$$

де n — кількість пікселів в оброблюваному півтоновому зображенні, q — кількість градацій інтенсивності, k — кількість значущих пікселів результату сегментації.

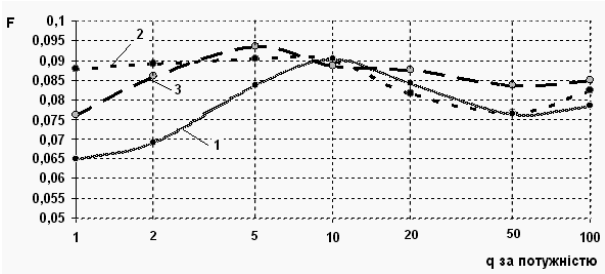
Отримано графіки залежності критерію Прета, а також показників (4), (5) від відношення сигнал/завада по потужності (рис. 6). При оцінці цих показників використовувалося тестове півтонове зображення однорідної інтенсивності, на яке була накладена стохастична текстура у вигляді незалежної гаусовської завади з дисперсіями $\sigma_1^2 = 0{,}1$ і $\sigma_2^2 = 0{,}01$ (рис. 7, а).

На тестове зображення текстури була накладена незалежна гаусівська завада з дисперсією $\sigma_{вх}^2$. Потім значення інтенсивності цього зображення перекладалися на інтервал [0,1]. Відношення сигнал/завада за потужністю визначалося як $q = \dfrac{\left|\sigma_1^2 - \sigma_2^2\right|}{\sigma_{вх}^2}$.

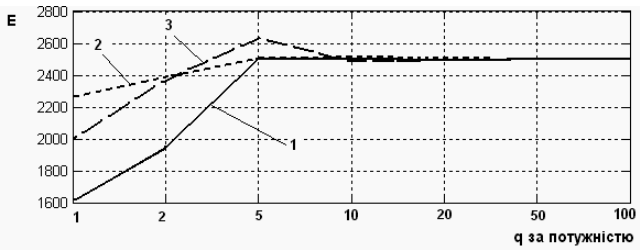
 ISBN 7-776-8361-7



а)



б)



в)

Рис. 6 Залежність критерію Прета (а), показника якості (б) і ефективності (в) сегментації від відношення сигнал/завада для методу на основі ГВП (1), методу з використанням контурної сегментації Канні (2) і методу на основі РВП текстурної сегментації (3)

Аналізуючи отримані результати, слід зауважити, що метод на основі ГВП текстурної сегментації зображень перевершує метод з використанням контурної сегментації Канні до 1,5 разів. Найбільший виграш по завадостійкості отриманий при значеннях відношення сигнал/завада 1 — 10 за потужністю. При високих відношеннях сигнал/завада отримані схожі по завадостійкості результати. Всі три методи схожі по ефективності. Проте, при відношенні сигнал/завада 2 і менш по потужності ефективність методу на основі ГВП по відношенню до ефективності методу з використанням контурної сегментації Канні падає до 0,7 — 0,8 разів, що пов'язано із збільшенням кількості розривів границь сегментів (рис. 7).

а) б) в) г)

Рис. 7 Тестове зображення при відношенні сигнал/завада 5 за потужністю (а) і результати його сегментації методом на основі ГВП (б), методом з використанням контурної сегментації Канні (в) і методом на основі РВП (г)

Порівняльна оцінка похибки визначення координат точок границь областей текстур показала, що метод на основі ГВП краще ніж метод з використанням контурної сегментації Канні в 1,1 — 1,35 разів при відношеннях сигнал/завада 5 і нижче по потужності, при інших значеннях сигнал/завада спостерігаються схожі результати. Метод на основі РВП за усіма показниками показав сходні або гірші результати ніж метод з використанням контурної сегментації Канні.

Таким чином, амплітудно-детекторний метод текстурної сегментації у просторі гиперболічного вейвлет-перетворення можна рекомендувати для сегментації стохастичних текстур при відношенні сигнал/завади 10 і менш по потужності в задачах, де потрібні методи сегментації з низькою похибкою визначення координат точок границь однорідних текстурних областей.

The method of the stochastic texture images segmentation based on the amplitude detecting and the correlation-extreme method of contour segmentation in hyperbolical wavelet transform space is proposed.

1. Харалик Р. Статистический и структурный походы к описанию текстур // ТИИЭР. — 1979. — Т. 67, № 5. — С. 98 — 120.
2. Chaudhuri B.B., Sarkar N. Texture segmentation using fractal dimension // IEEE Trans. on PAMI. — 1995. — Vol.17, № 1. — P. 72 — 77.
3. Крылов В.Н., Полякова М.В., Волкова Н.П. Метод текстурной сегментации изображений с применением детектирования // Вестник ХНТУ. – Херсон: ХНТУ, 2006. – Вып. 2 (25). – С. 266 - 270.
4. Крылов В.Н., Максимов М.В. Вторичные преобразователи сигналов изображений. — Одесса: Астропринт, 1997. — 176 с.
5. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы. — М.: Высш. шк., 1988. — 488 с.
6. Форсайт Д.А., Понс Ж. Компьютерное зрение. Современный подход.: Пер. с англ. — М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. — 928 с.
7. Крылов В.Н., Полякова М.В., Волкова Н.П. Контурная сегментация в пространстве гиперболического вейвлет-преобразования с использованием математической морфологии // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. Межвузовский журнал. – Херсон, 2006. - № 2 (18). – С. 57 - 63.
8. Полякова М.В., Крылов В.Н. Контурная сегментация изображений корреляционно-экстремальным методом в пространстве репагулярного вейвлет-преобразования // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – Винница, 2006. - № 1 (11). – С. 25 - 35.
9. Абакумов В.Г., Крылов В.Н., Антощук С.Г. Повышение эффективности обработки образной информации в автоматизированных системах // Электроника и связь. Тематический выпуск «Проблемы электроники». — 2005. — Ч. 1. — С. 100 — 105.

 ISBN 7-776-8361-7

УДК 371.3

ДЕЯКІ АСПЕКТИ СИСТЕЗУ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОЇ АДАПТИВНОЇ СИСТЕМИ НАВЧАННЯ

Соколов А.Є.

Вступ. Сучасний період розвитку цивілізованого суспільства характеризує процес інформатизації. Інформатизація суспільства - це глобальний соціальний процес, особливість якого полягає у тому, що домінуючим видом діяльності в сфері суспільного виробництва є збір, накопичення, продуціювання, обробка, зберігання, передача й використання інформації, що здійснюються на основі сучасних засобів мікропроцесорної й обчислювальної техніки, а також на базі різноманітних засобів інформаційного обміну. Інформатизація суспільства забезпечує:

- активне використання інтелектуального потенціалу суспільства, що постійно розширюється і сконцентрований в друкованому вигляді, у науковому, виробничому й інших видах діяльності його членів;
- інтеграцію інформаційних технологій з науковими і виробничими технологіями, що ініціює розвиток всіх сфер суспільного виробництва та інтелектуалізацію трудової діяльності;
- високий рівень інформаційного обслуговування, доступність будь-якого члена суспільства до джерел достовірної інформації, візуалізацію інформації, що представляється, вірогідність використовуваних даних.

Застосування відкритих інформаційних систем, розрахованих на використання всього масиву інформації, доступної в цей момент суспільству в певній його сфері, дозволяє вдосконалити механізми керування суспільним устроєм, сприяє гуманізації й демократизації суспільства, підвищує рівень добробуту його членів. Процеси, що відбуваються у зв'язку з інформатизацією суспільства, сприяють не тільки прискоренню науково-технічного прогресу, інтелектуалізації всіх видів людської діяльності, але й створенню якісно нового інформаційного середовища соціуму, що забезпечує розвиток творчого потенціалу індивіда.

Одним із пріоритетних напрямків процесу інформатизації сучасного суспільства є інформатизація освіти - впровадження засобів нових інформаційних технологій у систему освіти. Це зробить можливим:

- удосконалювання механізмів управління системою освіти на основі використання автоматизованих банків даних науково–педагогічної інформації, інформаційно-методичних матеріалів, а також комунікаційних мереж;
- вдосконалювання методології й стратегії підбору змісту, методів і організаційних форм навчання, що відповідають завданням розвитку особистості людини, що навчається (ЛН), у сучасних умовах інформатизації суспільства;
- створення методичних систем навчання, орієнтованих на розвиток інтелектуального потенціалу ЛН, на формування вмінь самостійно здобувати знання, здійснювати інформаційно-навчальну, експериментально-дослідницьку діяльність, різноманітні види самостійної діяльності по обробці інформації;
- створення й використання комп'ютерних тестуючих, діагностуючих, контролюючих і оцінюваючих систем.

Постановка задачи. Метою написання статті є опис деяких аспектів комп'ютеризованої адаптованої навчальної системи з певної дисципліні на основі електронного підручника, такої, щоб вона була придатна для проведення ЛН самостійного контролю в ході навчання, виявлення власних помилок, для можливості перевірити свої знання. Однак, це не виключає можливості того, що дана система може бути використана викладачем для проведення комплексу тестів, спираючись на результати яких, він буде мати

право виставити студентам оцінки.

Основна частина. Програма має бути побудована таким чином, щоб користувачеві було цікаво працювати з нею. Для цього потрібно ввести кілька режимів роботи програми, і кілька рівнів складності тестів.

Також повинен бути режим у якому користувач, вивчаючи теоретичну частину, міг би після вивчення розділу або підрозділу перевірити свої знання, і якщо вони вже достатні, перейти до наступного розділу або підрозділу. Якщо користувач вже дещо знає про представлений матеріал, він може обрати режим, у якому тести будуть з'являтися тільки після вивчення розділа. Третій режим навчання передбачає, що користувач вже має знання за курсом і використовує електронний підручник для повторення й закріплення знань. У цьому режимі відразу доступні всі глави і є можливість відключати тести.

Тести також повинні заохочувати студента вчитися. Для цього передбачені три рівні складності проходження. Початковий рівень вважається обов'язковим, пройшовши цей рівень студент може бути впевненим, що він засвоїв необхідний мінімум. Рівні фахівець і гуру - необов'язкові, їх можна пройти лише за бажанням. Після проходження початкового рівня користувач може перейти до наступного розділу або підрозділу. Після проходження тесту будь-якого рівня складності програма видасть результат, і запропонує пройти тест більш складного рівня, або ж повторити пройдений матеріал, якщо знання студента не достатні. При проходженні тестів рівня „фахівець” й рівня „гуру” обмежень на результати немає, але студент має право їх пройти лише після успішного складання тесту „початкового” рівня. Всі результати тесту записуються у файл статистики, і при повторному проходженні тесту результати обновляють лише, якщо набрана більша кількість балів.

Для створення тестів до програми включений редактор тестів, що дозволяє створювати або редагувати тести, причому тести можуть мати різну кількість варіантів відповідей, і різну кількість правильних варіантів. Доступ до редактора тестів має лише адміністратор системи, що має відповідний пароль.

Для підсумкового оцінювання знань студент повинен пройти „екзамен”, що включає питання із всіх розділів курсу. Працює він у такий спосіб, що з кожного розділу береться по 25% питань, причому програма вибирає їх навмання. Тому щоразу це будуть інші питання.

Програма для організації статистики розрізняє користувачів за паролем й логіном, і пам'ятає останню сторінку, на якій зупинився користувач минулого разу.

Електронний підручник - це навчальна програмна система комплексного призначення, що забезпечує безперервність і повноту дидактичного циклу процесу навчання: представляюча теоретичний матеріал, що забезпечує тренувальну навчальну діяльність і контроль рівня знань, а також інформаційно-пошукову діяльність, математичне й імітаційне моделювання з комп'ютерною візуалізацією й сервісні функції за умови здійснення інтерактивного зворотного зв'язку, це програмно-методичний комплекс, що забезпечує можливість самостійно або за допомогою викладача освоїти навчальний курс або його великий розділ за допомогою комп'ютера. Електронний підручник або курс звичайно містить три складові: презентаційна частина, у якій викладається основна інформаційна частина курсу, вправи, за допомогою яких закріплюються отримані знання, і тести, що дозволяють проводити об'єктивну оцінку знань студента, тобто комп'ютерний підручник повинен поєднувати в собі властивості звичайного підручника, довідника, задачника й лабораторного практикуму. Із цього виходить, що електронний підручник повинен забезпечувати як безперервний режим навчання, так і покроковий. Кожний виділений заздалегідь істотний фрагмент курсу повинен закінчуватися практичними (вправи) і контрольними заняттями (тестування), кожний великий розділ курсу - тестовим заняттям або заліком. Зрозуміло, ключову роль у мультимедійному підручнику грає методика.

Варто розрізняти поняття "підручник" і "навчальний посібник". Більшість навчальних програм (тестуючі програми, комп'ютерні задачники, гіпертекстові методичні вказівки,

 ISBN 7-776-8361-7

довідники, і т.п.) є навчальними посібниками, тобто лише допоміжними інструментами навчання, принципово не здатними замінити традиційний підручник (не говорячи вже про заміну вчителя). Серед численних стадій розробки повноцінної навчальної мультимедіа-системи для використання в сфері освіти й професійної підготовки надзвичайно важливе місце займає створення педагогічного сценарію - проекту комп'ютерного курсу, що визначає його структуру й зміст, а також форми подання дидактичних матеріалів. Педагогічний сценарій є не тільки формою вираження змісту навчального матеріалу (пред'явлення інформації), він повинен містити опис способів управління й контролю за ходом процесу навчання. Від його якості багато в чому залежить ефективність і свідомість розробки комп'ютерного курсу, тому вже на стадії розробки педагогічного сценарію повинен ураховуватися ряд вимог, серед яких особливе місце займають дидактичні вимоги, що ґрунтуються на принципах навчання. До їхнього числа відносяться: науковість і сучасність змісту; відповідність представленого навчального матеріалу раніше придбаним знанням, умінням і навичкам; систематичність і послідовність; гнучкість, пристосовність до індивідуальних особливостей ЛН; наочність, свідомість і активність.

Педагогічний сценарій повинен бути результатом творчої роботи колективу педагогів, методистів, художників-дизайнерів, програмістів, хоча не виключається можливість розробки сценарію однією людиною. Остаточний варіант сценарію створюється, як правило, після пророблення всіх деталей із програмістом, відповідальним за підготовку робочого проекту. Зовсім очевидно, що добре розроблений і оформлений педагогічний сценарій більше нагадує опорний конспект, ніж великий підручник.

Стосовно класичної теорії тестів, обчислюваний бал складається із двох компонентів – об`єктивного й хибного:

$$X = T + E, \tag{1}$$

де X - індивідуальний бал ЛН;

T – об`єктивний індивідуальний бал ЛН;

E - хибний компонент індивідуального бала.

Випадкові помилки походять від вгадування, неправильного розуміння змісту завдань, моментальних варіацій уваги учня й т.і.

Дисперсія обчислених тестових балів S_x^2 складається з дисперсії об`єктивного компонента S_t^2 й дисперсії хибного компонента S_e^2:

$$S_x^2 = S_t^2 + S_e^2 \tag{2}$$

Коефіцієнт надійності тесту K визначається як відношення:

$$K = \frac{S_t^2}{S_x^2} \tag{3}$$

Або, з огляду на вираз (2):

$$K = 1 - \frac{S_e^2}{S_x^2} \tag{4}$$

Коефіцієнт надійності повинен інтерпретуватися не тільки як характеристика самого тесту, але і як характеристика вибірки атестуємих, тобто він залежить від рівня знань, отриманих у конкретному навчальному закладі.

Знаючи оцінку надійності тесту, можна розрахувати стандартне відхилення індивідуального бала студента по формулі:

$$S_e = S_x \cdot \sqrt{1 - K} \tag{5}$$

У розрахунках надійності часто застосовується формула Кудера-Ричардсона (Kuder Richardson, 20 Kr) [4], що є часткою випадку альфа Кронбаха [5] для дихотомічної оцінки

(«вірно»-«невірно»):

$$Kr_{20} = \frac{m}{m-1} \cdot \left(1 - \frac{\sum p_j \cdot q_j}{S_x^2} \right) \qquad (6)$$

де m - число завдань тесту;

p_j - складність j -го завдання;

$q_j = 1 - p_j$.

На думку дослідників, існує кілька факторів, що впливають на надійність:

1. Довжина тестового набору. Чим більше завдань входить у тест, тим вище його надійність.

2. Зміст тестового набору. Чим більша різноманітна тематика, випробовувана в рамках одного тесту, тим нижче надійність.

3. Кореляція між результатами виконання завдань. Чим більше позитивних кореляцій визначається між результатами виконання завдань, тим вище надійність тесту.

4. Гетерогенність групи. Ніж більше гетерогена група (чим більше до неї входить погано й добре встигаючих студентів), тим вище значення надійності.

5. Характеристики завдань. Якщо тестовий набір включає велику кількість завдань із високим коефіцієнтом дискримінації й середнім рівнем складності, то надійність такого набору підвищується.

Важливим завданням, що виникає в процесі створення тесту, є розрахунок оптимальної довжини тесту. Насамперед, дамо ряд визначень. Об`єктивним балом тестування називається відсоток завдань, на які учень може відповісти правильно, якщо йому будуть задані весь питання тестової бази. Об`єктивний бал тестування являє собою ймовірність правильної відповіді на завдання тесту (складність тесту).

Довжиною (розміром) тесту, побудованого із завдань тестової бази, називається кількість тестових завдань, що входять до нього. Учневі задається лише частина питань всієї тестової бази, і, отже, довжина тесту не перевищує розмір тестової бази.

Атестація ЛН проводиться шляхом порівняння індивідуального бала, набраного учнем при відповіді на завдання тесту, з деяким еталонним балом, називаним критеріальним.

Оскільки ЛН задається лише деяке число завдань тестової бази, то виникають питання, наскільки вірогідно оцінюються знання учня на підставі лише обмеженої вибірки завдань і яка повинна бути довжина тесту, щоб звести до мінімуму помилки при атестації. Помилкою атестації називається неатестація ЛН із об`єктивним балом меншим або рівним критеріальному.

Таким чином, завдання полягає в правильному виборі розміру тесту, так щоб ймовірність помилки Р не перевищувала заздалегідь заданого рівня значимості α (наприклад, 0,05). Тоді з довірчою ймовірністю Рдов=1-α можна затверджувати, що атестація буде проведена без помилок.

У розрахунках часто використають біномінальну модель тесту (або метод Мілмана), що заснований на наступних припущеннях:

1. Тест складається з випадкової вибірки дихотомічності оцінюваних тестових завдань.

2. Ймовірність правильної відповіді - постійна величина для всіх тестових завдань для даного випробуваного.

3. Тестові завдання незалежні одне від одного (відповідь на деяке завдання не впливає на відповіді на інші завдання).

4. Помилки розподілені за біноміальною моделлю.

Нехай об`єктивний бал ЛН дорівнює p , число питань тесту дорівнює n , тоді ймовірність правильної відповіді на k питань тесту *Pn(k)* обчислюється по формулі Бернуллі:

 ISBN 7-776-8361-7

$$P_n(k) = \frac{n!}{k!\cdot(n-k)!} \cdot p^k (1-p)^{n-k} \qquad (7)$$

Нехай критеріальний бал дорівнює m, тоді ймовірність перевищити критеріальний бал можна розрахувати в такий спосіб:

$$\begin{gathered} P_n(k > m) = P_n(m+1) + ... + P_n(n) \\ P_n(k > m) = 1 - P_n(k \le m) = 1 - F_n(m) \end{gathered} \qquad (8)$$

де $F_n(m)$ - функція розподілу Бернуллі.

Якщо учень має об`єктивний бал менше критеріального, то ймовірність його хибної атестації можна розрахувати по формулі (8) і підібрати розмір тесту n у відповідності зі значенням довірчої ймовірності $P_{дов}$:

$$P_n(k > m) = 1 - P_{дов} \qquad (9)$$

Необхідно відзначити (це видно з формул 7, 8 і 9), що потрібний розмір тесту буде залежити від об`єктивного бала випробуваного, котрий заздалегідь невідомий, тому пропонується визначати об`єктивний бал не для конкретного випробуваного, а для груп з високим і низьким рівнями підготовки випробуваних, аналогічних групах, які використовувалися при обчисленні різної спроможності. У цьому випадку середній бал цих груп буде непоганою оцінкою об`єктивних балів добре й погано підготовлених студентів, оскільки кожної із цих груп задається практично весь набір завдань тестової бази, у той час як конкретний ЛН кожної із цих груп відповідає тільки на обмежене число завдань. У результаті визначаємо розмір тесту так, щоб ймовірність помилки при атестації ЛН із цих груп дорівнювала рівню значимості α.

Очевидно, що вибір критериального бала повинен залежати від величини об`єктивних балів розглянутих груп. Недоцільно задавати критеріальний бал поза інтервалом, межами якого є об`єктивні бали груп учнів. Аналіз формул і розрахунки показали, що у випадку, якщо значення критеріального бала наближається до кращого бала, шуканий розмір тесту істотно зростає й може бути зіставлений із розміром тестової бази. При оптимальному виборі критеріального балу в середині інтервалу (що приблизно відповідає значенню складності всього тесту) розрахункові розміри тестів груп з високим і низьким рівнями підготовки ЛН наближаються один до одного й істотно менше розміру тестової бази.

Висновки. Вивчення динаміки процесу тестування є одним з найважливіших моментів аналізу тестів. Звичайно будується залежність відсотка ЛН, що закінчили тестування, від часу тестування. Ця накопичувальна залежність відповідно до термінології теорії ймовірностей по суті є функцією розподілу ймовірності F(t).

Some aspects of construction of the computerized teaching system with the elements of adaptation to the requirements of the trainee are considered . Basic parts of electronic textbook, which can be utillized as the taught system and the basic requirements to testing in such system are described.

1. Аванесов В.С. Теоретические основы разработки заданий в тестовой форме. - М., Наука, 1995.
2. Агранович Б.Л. Системное проектирование процесса и структуризация целей обучения по учебному предмету// Кибернетика и вуз. Томск, 1985. С. 22-32.
3. Адаптивное обучение и адаптивный тестовый контроль // http://athena.vvsu.ru/carina/test/lec8.htm
4. Майоров А.Н. Теория и практика создания тестов для системы образования. М., 2000.
5. Мельникова М.Б. Теория и практика конструирования педагогических тестов. М., 2002.

УДК 681.03

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ АВТОМАТИЗОВАНИЙ КОНТРОЛЬ ЗНАНЬ В СИСТЕМАХ ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ

Сосюк А.В.

Вступ

За останні роки в усьому світі в системах освіти відбулися істотні структурні зміни, зумовлені розвитком Інтернет та його зростаючим впливом на всі сторони діяльності суспільства. Основну роль в удосконаленні системи освіти, без сумніву, будуть мати нові інформаційні технології і, в першу чергу, дистанційні засоби навчання. На сьогодні у світі накопичено значний досвід реалізації систем дистанційного навчання. Вони використовують комп'ютерні мережі, системи безпосереднього телевізійного мовлення та сучасні телекомунікаційні технології.

Але системи дистанційного навчання ще не знайшли достатнього поширення в Україні. Отже, важливо забезпечити постійну освіту і, що найголовніше, - ефективний контроль знань. Тому в останні роки підвищена увага приділяється методикам дистанційного навчання й контролю знань. Комп'ютерні системи контролю знань достатньо ефективні і дозволяють не тільки забезпечити державну перевірку якості знань, але й забезпечити основу самовдосконалення. Тому ретельне вивчення принципів, логіки, технологій і валідності дистанційного навчання і контролю знань, дослідження ефективності систем дистанційного навчання і контролю знань є актуальною і важливою проблемою, яка потребує свого вирішення [1].

Постановка завдання

Метою даної роботи є виконання короткого огляду проблем контролю знань в системах дистанційного навчання. Особлива увага була приділена розгляду методів і моделей інтелектуальних систем автоматизованого контролю знань.

1. Загальний огляд проблем контролю знань в системах дистанційного навчання

Основні переваги контролю знань в системах дистанційного навчання можна сформулювати таким чином:

- *Об'єктивність*. Виключається чинник суб'єктивного підходу з боку екзаменатора. Обробка результатів проводиться через комп'ютер;
- *Демократичність.* Всі студенти знаходяться в рівних умовах;
- *Масовість і короткочасність.* Можливість за певний проміжок часу перевірити знання у більшої кількості тих, що іспитуються.

Із застосуванням контролю знань в системі дистанційного навчання, як і в традиційній формі навчання, зв'язана безліч питань. Першим з них є питання: що контролювати?

Першим підходом є контроль активності студентів. При використанні такої системи студентові необхідно відвідати якесь певне число лекцій і практичних занять, або відпрацювати лабораторні роботи. Подібний підхід був би найпростішим в реалізації. Але недолік такого підходу очевидний: ця відсутність гарантії того, що студент дійсно одержує від занять, які він відвідує, необхідні йому знання.

Інший підхід заснований на виявленні компетентності студента в предметі, що вивчається. Тобто важливо не те, скільки занять відвідав студент, а саме те, наскільки добре він розбирається в матеріалі і уміє його використовувати. Саме такий підхід до контролю знань найчастіше використовується в системі дистанційної освіти [2].

Можна стверджувати, що процедури “класичного” тестування, засновані на парадигмі “одна абсолютно правильна відповідь — N абсолютно неправильних відповідей” і виведення підсумкової оцінки із співвідношення кількості правильних відповідей і поставлених питань, неадекватні уявленням більшості викладачів про процес оцінювання знань. Для багатьох дисциплін, знання в яких носять принципово нечіткий характер і не можуть

 ISBN 7-776-8361-7

бути зведені до однозначних формулювань (наприклад, дисципліни гуманітарного або суспільного циклів), вони взагалі виявляються непридатними.

Саме неформальність знань як таких, і процесу перевірки знань зокрема, породило безліч проблем у області комп'ютерного тестування, таких як необ'єктивність оцінювання, трудність розуміння студентами підготовлених питань, повільна робота комп'ютерних систем, і т.п. [3]. На наш погляд, інженерія знань і методи теорії штучного інтелекту можуть допомогти створити систему контролю знань, що дозволить побудувати моделі знань викладача і тестованого і об'єктивно оцінювати знання і уміння останнього.

Отже, сформулюємо основні вимоги до автоматизованих систем контролю знань (АСКЗ) в системах дистанційного навчання. АСКЗ повинна:

а) містити інформаційну модель предметної області, релевантну знанням організатора тестування в період проведення контролю;

б) володіти можливістю враховувати неповні або не зовсім точні відповіді;

г) містити адаптивну і керовану викладачем процедуру виявлення знань, аналізу їх глибини і якості з подальшою реконструкцією на цій основі інформаційної моделі учня;

д) виводити підсумкову оцінку знань учня на основі порівняння еталонної моделі, що міститься в АСКЗ, з реконструйованою моделлю, побудованою по відповідях учня.

2. Принципи побудови автоматизованих систем контролю знань

Сформулюємо основні принципи побудови АСКЗ нового покоління, засновані на методах і моделях, що розвиваються в рамках теорії інтелектуальних обчислень та інженерії знань. Ці принципи визначають концепцію інтелектуального тестування, що є найбільш адекватною уявленням викладача про необхідну організацію процесу контролю і оцінювання знань і що дозволяє реалізувати неформалізовані раніше педагогічні прийоми і методики [4]:

1. Перехід від завдання істинності пропонованих варіантів відповідей в категоріях двійкової логіки (“вірно - невірно”) до більш загальної і універсальної схеми оцінювання відповідей функціями переваги, що визначені в категоріях нечіткої логіки. Звернемо увагу, що такий перехід не заперечує традиційного підходу, оскільки відповідно до сучасних уявлень двійкова логіка може вважатися окремим (точніше, виродженим) випадком нечіткої логіки.

2. Перехід від індивідуального організації тесту до колегіальної експертної підготовки всіх його етапів, що збільшить довіру кінцевих користувачів до АСКЗ і підвищить валідність результатів тестування [5].

3. Кількісне визначення складності і важливості кожного тестового завдання за пропорційною цифровою шкалою, що дасть можливість підвищити об'єктивність оцінювання демонстрованих знань.

4. Розподіл безлічі тестових завдань на тематичні підмножини, елементи яких семантично корелюють один з одним, з обов'язковим ранжируванням як тестових завдань усередині кожної підмножини, так і виділених підмножин між собою. Реалізація цього принципу створить об'єктивну основу для формалізації ряду вживаних в даний час “ручних” методик контролю знань - таких, наприклад, як оцінювання широти або глибини знань, тести підвищеної або зниженої складності та інші.

5. Перехід від характерного для сучасних АСКЗ використання програмно реалізованих алгоритмів прямого тестування (при якому вибір чергового завдання практично не залежить від відповідей на попередні питання) до їх модульного конструювання при підготовці тесту, а також до побудови алгоритмів адаптивного тестування, що обумовлюють вибір чергового і-го завдання відповідями на попередніх (і-1)-м, (і-2) -м, ... кроках тесту. Реалізація цього принципу дозволить формалізувати широко вживані в педагогічній практиці методики додаткових, навідних і уточнюючих питань.

6. Побудова, уніфікований опис і однотипна реалізація в рамках однієї і тієї ж АСКЗ набору алгоритмів тестування, що реалізують різні методики контролю знань, і надання організатору тестування можливості вибирати в конкретній ситуації ті з них, засто-

сування яких або відповідає нормативними документами, або визначається його власними перевагами.

7. Створення інструментарію для побудови, настройки і модифікації різних шкал підсумкового оцінювання знань, включаючи як можливість зміни кількості і ширини оціночних інтервалів, так і визначення і варіювання зон невизначеності оцінок. Це дає можливість організувати параметричний аналіз валідности проміжних і підсумкових результатів тестування.

8. Автоматизація найбільш трудомісткого етапу підготовчої стадії тестування, пов'язаного з формуванням безлічі тестових завдань і варіантів відповідей на них. Базис цієї процедури можуть скласти, зокрема, формалізована модель знань по дисципліні, що вивчається, представлена у вигляді структурованої семантичної мережі, і відомі з інженерії знань фрейм-технології.

Практичне здійснення пропонованих принципів дозволяє говорити про створення нового класу систем тестування - Інтелектуальних автоматизованих систем контролю знань (ІАСКЗ).

3. Концептуальна модель адаптивного тестування

Інтелектуальне тестування припускає наявність моделі знань, моделі самого процесу тестування і оцінювання. Так можна охарактеризувати взагалі всі розробки в цієї області. Розглянемо деякі з них детальніше.

Як вже було зазначено, адаптивним тестуванням знань вважається спосіб екзаменаційного контролю рівня підготовки учня, при якому процедура вибору і пред'явлення йому чергового тестового завдання на кожному кроці тестування визначається відповідями учня на попередніх t кроках тесту. Математичну основу такого обліку складає запропонована в [6] модель об'єднання тестових завдань в тематичні послідовності із зваженим ранжируванням як окремих завдань, так і цілих послідовностей і виведенням підсумкової оцінки за тест з урахуванням нормованої суми балів, що накопичується за вибрані учнем варіанти відповідей.

Концептуальна модель адаптивного тестування знань повинна складатися з наступних блоків.

1. Блок цілей навчання.

Цілі навчання визначають успішність процесу навчання. Тому їх зміст, конкретне формулювання є найважливішим кроком в технологічному конструюванні учбового процесу. При формуванні цілей навчання в рамках учбового предмету основне завдання викладача полягає в наступному: по кожному розділу і темі учбової програми він повинен визначити ступінь успішності освоєння учнем необхідних знань, умінь, і навиків, врахувати відношення, що проявляється, до предмету і на підставі цього визначити комплекс учбових цілей.

2. Блок змісту.

Створена модель змісту курсу може бути представлена у вигляді освітніх модулів і дозволяє розробити план тесту і його специфікацію по кожному модулю з урахуванням вимог освітнього стандарту. Для оцінки об'єму знань пропонується скласти тезаурус – тематичний словник понять.

3. Блок вимірювання.

1) Таксономічна модель адаптивного контролю знань визначає таксономію учбових цілей в когнітивній області. Один з підходів до опису цілей навчання полягає у вказівці рівнів, ступенів, яких досягає учень у міру оволодіння знаннями. Виділяються шість ієрархічних ступенів: пізнавання, розуміння, застосування, аналіз, синтез, оцінка. Формулювання цілей навчання можна проводити за допомогою системи вимог до якості знань.

Найпоширеніший спосіб опису цілей навчання полягає у визначенні якостей знань, якими повинні оволодіти учні в результаті навчання [7]. Повнота знань визначається кількістю знань про об'єкт, що вивчається, глибина - сукупністю усвідомлених знань про об'єкт. Повнота і глибина знань - зв'язані, але не тотожні якості. Повнота допускає ізольова-

 ISBN 7-776-8361-7

ність знань один від одного, глибина ж, навпаки, припускає наявність усвідомлених істотних зв'язків, різною мірою опосередкованих.

2) Математична модель адаптивного контролю знань визначає рівень знань в залежності від складності завдання. Теоретичною основою адаптивного контролю є теорія Item Response Theory (IRT) в поєднанні з дидактичним принципом індивідуалізації навчання. Цілям диференціації учнів служить побудова індивідуальних кривих випробовуваних по двохпараметричній моделі [7].

В рамках класичної теорії тестів рівень знань випробовуваних оцінюється за допомогою їх індивідуальних балів, перетворених в ті або інші похідні показники. Це дозволяє визначити відносне положення кожного випробовуваного в нормативній вибірці.

До найбільш значущих переваг IRT відносять вимірювання значень параметрів випробовуваних і завдань тесту в одній і тій же шкалі, що дозволяє співвіднести рівень знань будь-якого випробовуваного з мірою трудності кожного завдання тесту. Саме на цій властивості оцінок параметрів випробовуваних і завдань заснована організація сучасного адаптивного контролю знань.

4. Блок системи моніторингу.

Під моніторингом в системі “вчитель-учень” або “викладач-студент” ми розуміємо сукупність контролюючих і діагностуючих заходів, що передбачають можливість дослідження в динаміці рівня засвоєння матеріалу і його коректування. Інакше кажучи, моніторинг - це безперервні контролюючі дії в системі, що дозволяють спостерігати (і коректувати в міру необхідності) просування учня від незнання до знання. Моніторинг відрізняється від звичайної оцінки знань тим, що забезпечує вчителя оперативним зворотним зв'язком про рівень засвоєння обов'язкового учбового матеріалу. Система моніторингу включає створення безпосередньо інструментів контролю знань і умінь і методику, що здатна скоректувати процес навчання.

Для того, щоб проаналізувати учбовий процес потрібно мати, по-перше, критерій якості навчання, а, по-друге, прослідкувати його зміну в часі. Як найбільш інформативний критерій якості навчання слід використовувати ступінь засвоєння знань (СЗЗ). Цей критерій заснований на статистиці одержаних учнями оцінок за виконання окремих завдань або контрольних робіт. Оцінки входять в СЗЗ з «вагою» рівною інтегралу вірогідності отримання даної оцінки для деякого «типового» розподілу оцінок.

В якості «типового» розподілу використовується стандартний розподіл Гауса з параметрами: середнє значення оцінки — 4 і стандартне відхилення — 1,39 [7]. Такий розподіл володіє однією особливою властивістю: для цього розподілу значення СЗЗ і якісної успішності співпадають і складають 0,64. Ця властивість виділяє «типовий» розподіл серед інших розподілів з середньою оцінкою 4.

Розрахунки для «типового» розподілу показують, що якщо СЗЗ більше 0,76, то ступінь засвоєння знань «відмінна», якщо СЗЗ від 0,5 до 0,76, - «добра», якщо СЗЗ від 0,24 до 0,5, - «задовільна», якщо менше 0,24, то «незадовільна».

Для оцінки зміни СЗЗ в часі використовується відома в математичній статистиці методика, пов'язана з критерієм «3s». Згідно цій методиці, якщо будь-який процес йде нормально, то окремі значення повинні укладатися в інтервал «3s» щодо середнього значення (s — стандартне відхилення) з певною точністю. Ті значення, які не укладаються в заданий інтервал, є відхиленнями від стандартного розподілу. Чим менші такі відхилення, тим більше відповідність аналізованого розподілу стандартному. Що стосується застосування цієї методики для технологічних процесів, то її треба скоректувати - слід враховувати тільки ті значення, які виходять за нижню межу інтервалу.

Якщо узяти відношення числа значень тих, що потрапляють в інтервал «3s» до загальної кількості значень, то таку величину можна назвати коефіцієнтом стандартності розподілу, а у разі розгляду учбового процесу — коефіцієнтом узгодженості учбового процесу (КУУП). Розрахунки показують, що якщо значення КУУП більше 0,94, то процес можна вважати «відмінно узгодженим», якщо КУУП від 0,84 до 0,94 — «добре узгодже-

ним», якщо КУУП від 0,69 до 0,84 — «майже узгодженим», якщо менше 0,69 — «не узгодженим».

Для загальної оцінки учбового процесу можна перемножити середнє значення СЗЗ по предмету за рік на КУУП. Одержану величину можна трактувати як чинник якості учбового процесу (ЧЯУП). Цей чинник має більше число градацій, чим СЗЗ і КУУП. «Відмінній» якості відповідає ЧЯУП більше 0,71, «дуже добрій» від 0,64 до 0,71, «добрій» від 0,41 до 0,64, «задовільній» від 0,17 до 0,41 і «незадовільній» 0,17.

Висновки

Наведений вище огляд доводить, що, не дивлячись на досягнуті теоретичні і практичні результати, проблема контролю знань в системах дистанційного навчання ще далека від вичерпного рішення.

Якщо розглядати дистанційну освіту як новий етап в розвитку системи освіти, який може принести абсолютно нові методи і принципи навчання, то саме зараз, коли дистанційна освіта знаходиться на шляху становлення, необхідно здійснювати пошук цих нових принципів.

У даній роботі частково були проаналізовані існуючі методи і моделі, що дозволяють побудувати так звану інтелектуальну автоматизовану систему контролю знань. Реалізація методів адаптивного тестування, використання нечіткої логіки і інженерії знань дозволить досягти великих результатів в цій області.

Conceptual and practical approached to the automated knowledge checking systems realization, that are needed for the distance teaching introduction into the educational process, are considered. The brief review of intellectual knowledge's control methods and models is given.

1. Федорук П.І. Технологія розробки навчального модуля в адаптивній системі дистанційного навчання та контролю знань // Математичні машини і системи. -2005р. - №3. - С.155-165.

2. Гребенюк В.А., Катасонов А.А. Учебный процесс и контроль знаний в системе виртуального образования // Открытое образование. №1, 2007.

3. Гагарін О.О.,Титенко С.В. Дослідження і аналіз методів та моделей інтелектуальних систем безперервного навчання // Наукові вісті НТУУ "КПІ". – 2007. – № 6(56). – С. 37-48.

4. Brusilovsky, P. and Miller, P., Web-based testing for distance education. In: P. De Bra and J. Leggett (eds.) Proceedings of WebNet'99, World Conference of the WWW and Internet, Honolulu, HI, Oct. 24-30, 1999, AACE, pp. 149-154

5. Казаринов А.С., Култышева А.Ю., Мирошниченко А.А. Технология адаптивной валидности тестовых заданий: Учебное пособие. Глазов: ГГПИ, 1999.

6. Моисеев В.Б., Пятирублевый Л.Г., Таранцева К.Р. «Информационный подход к выбору решений в системах адаптивного тестирования». Материалы конференции «Анализ качества образования и тестирование». 22.03.2005, Москва, МО РФ, МЭСИ

7. Попов Д.И. Способ оценки знаний в дистанционном обучении на основе нечетких отношений // Дистанционное образование. – 2003. – №6.

 ISBN 7-776-8361-7

УДК 681.325

ТЕХНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ УСТРОЙСТВА ДЛЯ РАЗБРАКОВКИ ВАРИКАПОВ ПО ЕМКОСТНЫМ ПАРАМЕТРАМ И ДОБРОТНОСТИ

Тверезовский В.С., Бараненко Р.В.

Введение и постановка проблемы

Постоянное развитие средств измерений и контроля различных параметров изделий и процессов является неотъемлемой частью научно-технического прогресса. Одной из основных задач при разработке измерительных систем является повышение точности, быстродействия и увеличение диапазона измеряемых величин [1].

Анализ последних исследований

В процессе использования варикапов осуществляются многократные измерения основных их параметров, таких как емкость, коэффициент перекрытия по емкости и добротность. Известен измеритель емкости и добротности полупроводниковых приборов [2], работа которого основана на компенсации вносимых потерь в измерительном контуре при его ударном возбуждении. К недостаткам данного устройства отноится невысокая точность измерения емкости варикапа и узкие функциональные возможности, так как оно не позволяет измерять коэффициент перекрытия по емкости. Измеритель [3] отличается повышенной точностью, но тоже не позволяет измерять коэффициент перекрытия по емкости. Наиболее функциональным является измеритель [4], однако в нем не предусмотрена стабилизация коэффициента передачи сигнала от генератора через усилитель и детектор-коммутатор к делительному устройству, вследствие чего он имеет низкую точность измерений.

Цель статьи

Целью работы является увеличение точности разбраковки варикапов по добротности и расширение функциональных возможностей устройства, которое может быть использовано при контроле параметров полупроводниковых приборов.

Основной материал

Для реализации целей статьи разработано устройство для разбраковки варикапов по емкостным параметрам и добротности содержит [5]: преобразователь емкости в напряжение 1, источник изменяющегося напряжения 2, усилитель высокочастотного сигнала 3, детектор 4, измерительный контур 5, блок (Б) 6 задания режима, Б 7 вычитания, множительно-делительный Б 8, пороговые Б 9,12-14, триггеры 10,15,16,26,27, генератор 11 ВЧ-сигнала, управляемые усилители 17,18, аналоговый сумматор 19, регистр 20 памяти, цифроаналоговый преобразователь 21, генератор 22 импульсов, счетчик 23 импульсов, элементы И 24,25, элементы 28,29 задержки.

На рис. 1 приведена структурная схема устройства для разбраковки варикапов по емкостным параметрам и добротности, которая содержит преобразователь емкости в напряжение 1, источник изменяющегося напряжения 2, усилитель высокочастотного сигнала 3, детектор 4, измерительный контур 5, блок .задания режимя 6, блок вычитания 7, множит ельно-делительный блок 8, первый пороговый блок 9, первый триггер 10, генератор высокочастотного сигнала 11, второй 12, третий 13 и четвертый 14 пороговые блоки, второй 15 и третий 16 триггеры, первый 17 и второй 18 управляемые усилители, аналоговый сумматор 19, регистр памяти 20, цифроаналоговый преобразователь 21, генератор импульсов 22, счетчик импульсов 23, первый 24 и второй 25 элементы И, четвертый 26 и пятый 27 триггеры, первый 28 и второй 29 элементы задержки.

Преобразователь 1 емкости в напряжение содержит генератор 30 высокой частоты, разделительный конденсатор 31, клеммы 32 для подключения исследуемого конденсатора, образцовый резистор 33, блок задания режима 34, усилитель 35, детектор 36. Измеритель-

ный контур 5 содержит разделительные конденсаторы 37,38, подстроечный варикап 39, катушку индуктивности 40, клеммы 41 для подключения испытуемого варикапа.

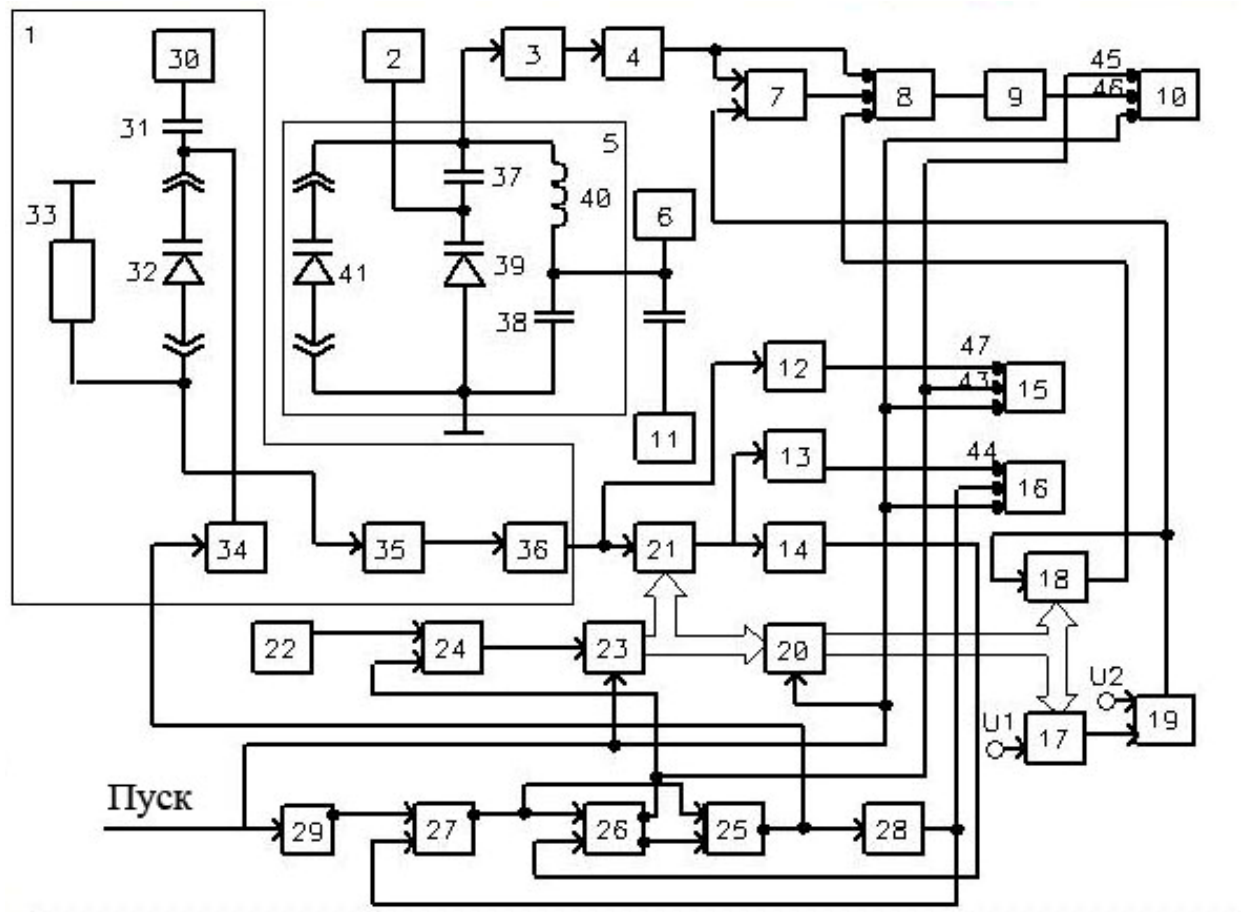


Рис. 1 Структурная схема устройства

Вход измерительного контура 5 соединен с выходами блока задания режима 6 и генератора высокочастотного сигнала 11, управляющий вход измерительного контура 5 соединен с выходом источника изменяющегося напряжения 2, выход измерительного контура 5 через последовательно соединенные усилитель 3 и детектор 4 соединен с первыми входами блока вычитания 7 и множительно-делительного блока 8, второй вход которого соединен с выходом блока вычитания 7, а выход через пороговый блок 9 соединен со счетным входом триггера 10, входы обнуления триггеров 10,15,16 и счетчика 23 через элемент задержки 28 соединены с обнуляющим входом триггера 27, инвертирующий выход которого соединен с обнуляющим входом триггера 26 и одним из входов элемента И 25, выход которого соединен с управляющим входом преобразователя 1 емкости в напряжение, выход которого через пороговый блок 12 соединен с информационным входом триггера 15, а через цифроаналоговый преобразователь 21 со входами пороговых блоков 13 и 14, выходы которых соединены с информационным входом триггера 16 и входом установки триггера 26 соответственно, инвертирующий выход триггера 26 соединен с информационным входом триггера 10, счетным входом триггера 15 и одним из входов элемента И 24, другой вход которого соединен с выходом генератора импульсов 22, а выход – со входом счетчика 23, выход которого соединен со входами цифроаналогового преобразователя 21 и и регистра памяти 20, выход которого соединен со входами управляемых усилителей 17,18, выход управляемого усилителя 17 через последовательно включенные сумматор 19, управляемый усилитель 18 соединен с третьим входом множительно-делительного блока 8, второй вход блока вычитания 7 соединен с выходом сумматора 19.

 ISBN 7-776-8361-7

Одна из клемм 32 для подключения исследуемого варикапа соединена через образцовый резистор с общей шиной устройства и через последовательно соединенные усилитель 35 и детектор 36 с выходом преобразователя 1 емкости в напряжение, а вторая клемма 32 через блок задания режима соединена с управляющим входом преобразователя 1 емкости в напряжение и кроме того, через разделительный конденсатор 31 с выходом генератора высокой частоты 30.

Одна из клемм 41 измерительного контура 5 соединена с общей шиной устройства и через последовательно соединенные подстроечный варикап 39 и разделительный конденсатор 37 с другой клеммой 41 и через последовательно соединенные разделительный конденсатор 38 и катушку индуктивности 40 с разделительным конденсатором 37 и выходом измерительного контура 5, вход которого соединен с катушкой индуктивности 40 и разделительным конденсатором 38, а управляющий вход соединен с подстроечным варикапом 39 и разделительным конденсатором 37.

Исходное состояние хаарктеризуется следующим состоянием элементов. На клеммах 32 находится испытуемый варикап. Блок задания режима 34 выдает напряжение смещения, соответствуещее первой точке вольт-фарадной характеристики испытуемого варикапа. Генератор высокочастотного сигнала 30 вырабатывает напряжения высокой частоты (частоты, на которой измеряется емкость варикапа). С емкостно-омического делителя, образованного исследуемым варикапом и образцовым резистором 33, напряжение, пропорциональное емкости варикапа, поступает на вход усилителя 35. Усиленное напряжение с выхода усилителя поступает на детектор 36. С выхода детектора выпрямленное напряжение поступает на входы цифро-аналогового преобразователя 21 и порогового блока 12. С генератора 11 напряжение высокой частоты (на которой измеряется добротность варикапов) поступает на измерительный контур 5. Также на измерительный контур 5 из источника 2 подается изменяющееся напряжение. Испытуемый варикап на клеймах 41 отсутствует. Из блока задания режима 6 напряжение смещения через катушку индуктивности 40 измерительного контура 5 поступает на клемму 41 для испытуемого варикапа. На входе усилителя 3 напряжение отсутствует, так как измерительный контур 5 без испытуемого варикапа не может настроиться в резонанс (из-за малой емкости в контуре).

Работа устройства для разбраковки варикапов по емкостным параметрам и добротности заключается в следующем.

Пороговый блок 12 в зависимости от значения входного напряжения вырабатывает сигнал, который поступает на вход 42 триггера 15. С приходом импульса «Пуск» обнуляются триггеры 10,15,16 и счетчик импульсов 23. С некоторой задержкой, обеспечиваемой элементом задержки 29, необходимой для обнкления указанных выше элементов, устанавливаются в нулевое состояние триггеры 27,26. Триггер 26 дает разрешение на прохождение импульсов от генератора импульсов 22 через логический элемент И 24 на вход счетчика импульсов 23, а также опрашивает состояние порогового блока 12 через вход 43 триггера 15. Этим самым триггером 15 фиксируется наличие «брака» по емкости в первой точке вольт-фарадной характеристики исследуемого варикапа. По мере поступления импульсов на вход счетчика 23 происходит уравновешивание схемы по цепи: выход цифроаналогового преобразователя 21, пороговый блок 14, триггер 26, элемент И 24, счетчик импульсов 23. В момент уравновешивания срабатывает пороговый блок 14 и фиксируется равенство:

$$U_{B.1} * \frac{N_X}{N_H} = U_0 , \qquad (1)$$

где N_H – номинальное значение кода счетчика 23;

N_X – код счетчика, соответствующий равновесию схемы;

$U_{B.1}$ – выходное напряжение детектора 36, пропорциональное максимальной емкости исследуемого варикапа, которое поступает на аналоговый вход цифроаналогового преобразователя 21;

U_0 – напряжение, при котором срабатывает пороговый блок 14.

Напряжение $U_{B.1}$ соответствует емкости варикапа в точке смещения, при которой измеряется добротность.

Пороговый блок 14 своим выходным сигналом устанавливает триггер 26, на входах элемента И 25 происходит совпадение сигналов. Выходной сигнал с элемента И 25 поступает на вход блока задания режима 34, который вырабатывает напряжение смещения, соответствующее второй точке вольт-фарадной характеристики испытуемого варикапа. С задержкой во времени, обеспечиваемой элементом задержки 28, необходимой для установления переходных процессов в детекторе 36 и цифроаналоговом преобразователе 21, опрашивается пороговый блок 13 путем подачи сигнала на вход триггера 16, вход 44 которого соединен с выходом порогового блока 13. Этим самым обеспечивается контроль коэффициента перекрытия (K_C) испытуемого варикапа, т.е. контроль выходного напряжения, которое обратно пропорционально K_C варикапа. В самом деле, с подачей второго напряжения смещения на варикап (максимального по значению, при котором емкость варикапа будет минимальной) на входе порогового блока 13 будет напряжение

$$U_{ВЫХ} = U_{B.2} * \frac{N_X}{N_H}, \tag{2}$$

где $U_{B.2}$ – напряжение на аналоговом входе ЦАП, пропорциональное емкости варикапа 39 при втором напряжении смещения.

Уравнение (2) можно переписать с учетом (1):

$$U_{ВЫХ} = \frac{U_{B.2}}{U_{B.1}} * U_0 = \frac{1}{K_C} * U_0, \tag{3}$$

Из уравнения (3) следует, что $U_{ВЫХ}$ обратно пропорционально K_C варикапа 39.

Выходной сигнал элемента задержки 28 также подается на вход регистра памяти 20 и на вход триггера 27, сбрасывая его. Схема измерения емкости приводится в исходное состояние.

В дальнейшем исследуемый варикап поступает на клеммы 41 для измерения добротности, а на клеммы 32 поступает новый испытуемый варикап. Подачу варикапов на клеммы можно обеспечить автоматически с помощью устройства подачи и выгрузки.

С поступлением варикапа на клеммы 41 измерительный контур 5 периодически, с частотой импульсов изменяющегося напряжения, поступающих из источника 2, настраивается в резонансе. В момент резонанса на выходе измерительного контура 5 будет максимальное напряжение высокой частоты. В зависимости от добротности контура амплитуда выходного напряжения будет изменяться. С выхода измерительного контура напряжение поступает на вход усилителя 3. Усиленный сигнал поступает на вход детектора 4, который выделяет огибающую напряжения колоколообразной формы.

Очередным импульсом «Пуск» триггер 10, регистрирующий выход уровня добротности испытуемого варикапа за пределы нормы, сбрасывается в «нулевое» состояние. На вход 45 триггера 10 с выхода триггера 26 поступает разрешающий потенциал.

Приходящий код с регистра памяти 20 связан с измеряемым напряжением, пропорциональным измеряемой емкости, соотношением:

$$N_X = \frac{1}{U_{B.1}} * N_H * U_0 = \frac{K_1}{U_{B.1}}, \tag{4}$$

где $K_1 = N_H * U_0$ – постоянная величина.

Код с регистра сдвига 20 поступает на управляющий вход управляемых усилителей 17 и 18. Выходное напряжение усилителя 17

$$U_y = U_1 * \frac{R_{OC}}{R}, \tag{5}$$

 ISBN 7-776-8361-7

где U_1 – опорное напряжение, постоянная величина;

R_{OC} – сопротивление обратной связи усилителя;

R – сопротивление на входе усилителя, постоянная величина.

Но управляющий код усилителя связан с проводимостью в цепи отрицательной

$$N_X = \frac{K_1}{U_{B.1}} = \frac{1}{R_{OC}}. \quad (6)$$

Тогда уравнение (5) можно переписать как

$$U_y = U_{B.1} * K_2 * \frac{U_1}{R} = U_{B.1} * K_3, \quad (7)$$

где K_2 – коэффициент пропорциональности;

$K_3 = K_2 * \frac{U_1}{R}$ – постоянная величина.

Из (7) следует, что выходное напряжение усилителя 17 прямо пропорционально напряжению на выходе детектора 36, которое пропорционально измеряемой емкости исследуемого варикапа в первой точке его вольт-фарадной характеристики, т.е. в точке с обратным смещением, при котором измеряется добротность.

Напряжение с выхода усилителя 17 поступает на вход аналогового сумматора 19. На выходе сумматора будет напряжение

$$U_K = U_y * U_2, \quad (8)$$

где U_2 – опорное напряжение, постоянная величина.

Напряжение U_K (8) поступает на вход второго управляемого усилителя 18. На выходе усилителя 18 формируется напряжение

$$U_{y2} = K_4 * U_K * U_{B.1}, \quad (9)$$

где K_4 – коэффициент пропорциональности, постоянная величина.

Напряжение U_{y2} (9) поступает на множительный вход множительно-делительного блока 8 (МДУ). На делительный вход МДУ поступает напряжение с выхода блока вычитания 7

$$U_B = U_K - U_Д, \quad (10)$$

где $U_Д$ – выходное напряжение детектора 4.

На другой множительный вход поступает напряжение с выхода детектора 4. В множительно-делительном блоке производится вычисление по формуле:

$$U_Q = \frac{U_Д}{U_B} * U_{y2} = \frac{U_Д}{U_K - U_Д} * K_4 * U_K * U_{B.1}. \quad (11)$$

Напряжение U_Q поступает на вход порогового блока 9, который вырабатывает выходной сигнал при превышении входным сигналом определенного граничного уровня, т.е. пороговое устройство определяет принадлежность испытуемого варикапа к той или иной группе по добротности. Выходной сигнал порогового устройства поступает на вход 46 триггера 10, устанавливая его в «единичное» состояние.

Из уравнения (11) следует, что выходное напряжение пропорционально добротности испытуемого варикапа.

Выводы

Разработанное устройство позволило увеличить точность разбраковки варикапов по добротности, что расширило функциональные возможности устройства, которое может быть использовано при контроле параметров полупроводниковых приборов.

The analysis of the devices for measurement of semiconductor instrument's capacities is made , on the grounds of which for eliminating defect of existing devices the device for varicap's choosing on capacitive parameters with extended functional possibilities is designed.

1. В.С. Тверезовський, Р.В. Бараненко Принцип здійснення гнучкого програмного керування елементами вимірювальних систем за аналізом їх експоненціальних параметрів //Вестник Херсонского государственного технического университета. – 2003. – №2 (18). – С.297-301.

2. Авторское свидетельство СССР №429375. Опубл.: 02.07.1975. – Кл. G01R27/26.

3. Авторское свидетельство СССР №512440. Опубл.: 30.04.1976. – Кл. G01R31/26.

4. Балахонов В.Д. и др. Измеритель емкости и коэффициента перекрытия по емкости варикапов //Электронная промышленность. – 1975. – №2. – С.72.

5. Авторское свидетельство СССР №1367700 «Устройство для разбраковки варикапов по емкостным параметрам и добротности». Авторы: В.С. Тверезовский, С.С. Голощапов. Опубл.: 19.11.1985. – Кл. G01R27/26.

 ISBN 7-776-8361-7

ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

УДК 62-843.6

ВПЛИВ СУБ'ЄКТИВНИХ ПЕРЕВАГ НА ПОКАЗНИКИ РОБОТИ СУДНОВОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ

Гончаренко А.В.

Вступ. Суднова енергетична установка (СЕУ) функціонуючи у складі суднового пропульсивного комплексу (СПК) є складним технічним об'єктом, який окрім автоматизованої складової керування експлуатацією містить «активний елемент» притаманний «людино-машинним комплексам – ергаматам».

Врахування суб'єктивних переваг особи, що приймає рішення (ОПР) це актуальна задача, тому що, здебільшого саме від цього залежатиме стан СЕУ та характер перебігу процесів, які відбуваються у системі забезпечення руху транспортного судна.

Метою роботи є розгляд можливості застосування методів суб'єктивного аналізу для розв'язання задач надання переваги стосовно ремонтних баз морських транспортних суден.

Викладення основного матеріалу. Аналізуючи стан останніх досліджень та публікацій за даною тематикою, знаходимо, що у роботах [1, 3] пропонується новий погляд на роль та методи відображення «людського фактора» у теорії активних систем. Вивчаються переваги та корисності, етичні імперативи та конфлікти переваг, безпека активних систем як об'єкт суб'єктивного аналізу, інтегральні та диференціальні рейтинги, ранги у групі суб'єктів, ентропія у ієрархічних системах. Вводиться суб'єктивна ентропія та суб'єктивна інформація, ентропійний принцип оптимальності предметних та рейтингових переваг. Наведено приклади моделювання мікро- та макроекономічної динаміки з урахуванням психічних факторів, динаміки конфліктів, процесів, пов'язаних з безпекою. Зокрема [1, с. 177, (4.37)] йдеться про змішану задачу суб'єктивно-імовірнісного аналізу. Функцію ефективності представлено у вигляді:

$$\varepsilon_{\xi}(\sigma_k)=\sum_{j=1}^{M}\xi^{+}(j|\sigma_k)\overline{p}_j(\sigma_k)=\sum_{j=1}^{M}\xi^{+}(j|\sigma_k)\frac{p_j(\sigma_k)}{1-p_j(\sigma_k)}, \tag{1}$$

де $\xi^{+}(j|\sigma_k)$ – рейтинг суб'єкта "j" стосовно альтернативи σ_k, $p_j(\sigma_k)$ – ймовірність розв'язання суб'єктом "j" проблеми $P:\sigma_0\to\sigma_k$ (отримання альтернативного стану σ_k знаходячись у стані σ_0).

Функція (1) генерує функціонал та відповідний канонічний розподіл [1, с. 180, (4.57)]:

$$\xi^{+}(j|\sigma_k)=\frac{\exp\left[\beta\overline{p}_j(\sigma_k)\right]}{\sum_{q=1}\exp\left[\beta\overline{p}_q(\sigma_k)\right]}, \tag{2}$$

де β – структурний параметр, може розглядатися у різних ситуаціях як коефіцієнт Лагранжа, ваговий коефіцієнт або ендогенний параметр, що відображає певні властивості психіки [1, с. 119].

Аналогічні побудови дозволяють отримати подібні канонічні розподіли переваг ієрарха групи [1, с. 182, (4.67, 4.68)].

У роботі [2] вивчається проблема керування в активних системах з урахуванням фактора небезпеки. У якості апарата суб'єктивного аналізу так само використовуються моделі функцій переваг суб'єктів.

У роботі [4] розглядаються питання прийняття рішень відповідно до ситуацій. Отримано результати, що мають стосунок до бінарних відношень та штучного інтелекту. Система підтримки прийняття рішень комбінується з такими на основі прецедентів.

Стаття [5] присвячена координації взаємодії підсистем. Складені цільові функції з використанням множників Лагранжа враховують ціни, постачання та виробництво.

Прикладна задача даного дослідження полягає у принциповому застосуванні та поєднанні вище наведених підходів. У цій роботі пропонується безпосередньо розглянути врахування впливу суб'єктивних переваг вибору судноремонтних баз на ймовірності знаходження суднової енергетичної установки у відповідному стані.

Постановка задачі. Для грубої стохастичної постановки задачі припустимо розглянути функціонування СЕУ проілюстроване розміченим графом станів та переходів показаним на рис.1.

Стан S_0 відповідає стану СЕУ на стоянці, S_1 – на ходу, S_2 – в ремонті. Інтенсивності переходів зі стану в стан відповідно позначені λ та μ. У даному випадку їх вважаємо величинами сталими у часі. Отримуємо систему диференційних рівнянь (рівняння Ерланга):

$$\left.\begin{aligned}
\frac{dp_0(t)}{dt} &= -(\lambda_{01}+\lambda_{02})\cdot p_0(t)+\mu_{10}\cdot p_1(t)+\mu_{20}\cdot p_2(t)\\
\frac{dp_1(t)}{dt} &= \lambda_{01}\cdot p_0(t)-(\lambda_{12}+\mu_{10})\cdot p_1(t)+\mu_{21}\cdot p_2(t)\\
\frac{dp_2(t)}{dt} &= \lambda_{02}\cdot p_0(t)+\lambda_{12}\cdot p_1(t)-(\mu_{20}+\mu_{21})\cdot p_2(t)
\end{aligned}\right\}, \qquad (3)$$

де $p_0(t)$ – ймовірність перебування СЕУ у стані на стоянці, як функція від часу; $p_1(t)$ – ймовірність того, що в момент t СЕУ працює у складі пропульсивного комплексу забезпечуючи хід судна; $p_2(t)$ – ймовірність того, що судно в момент t знаходиться на ремонті.

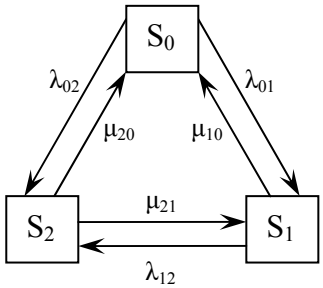


Рис. 1. Граф станів СЕУ

Інтегрування системи рівнянь (3) при початкових умовах: $p_0(0)=1;\ p_1(0)=0;\ p_2(0)=0$ (у початковий момент судно на стоянці), або $p_0(0)=0;\ p_1(0)=1;\ p_2(0)=0$ (у початковий момент судно на ходу), або інших, але з умовою нормування, сума ймовірностей: $\Sigma = p_0(t)+p_1(t)+p_2(t)=1$ – для кожного моменту часу, дає залежності $p_0(t)$, $p_1(t)$ та $p_2(t)$.

Розглядаючи функціонування СЕУ у складі СПК транспортного судна цілком природнім є прагнення якомога довше підтримувати стан S_1, адже на ходу, відбувається технічне використання за основним призначенням, що приносить з певною ймовірністю прибуток. Саме на це спрямовано прагнення збільшення інтенсивностей потоків подій, позна-

 ISBN 7-776-8361-7

чені на рис. 1, λ_{01} та μ_{21}, які переводять систему СЕУ у стан S_1, відповідно: $S_0 \to S_1$ та $S_2 \to S_1$. З тією ж метою намагаються зменшити усі інші інтенсивності відповідних переходів системи у менш бажаний стан S_0, або S_2.

Рейтинги підприємств судноремонтної галузі та переваги судновласників, враховані у явному вигляді через залежності подібні до (1, 2), впливають на вибір тих чи інших баз для проведення ремонту суден. Наступним, логічним кроком еволюції задачі, що ставиться наразі, є розгляд варіанту, який припускає наявність двох альтернативних судноремонтних баз, показано на графі, рис. 2. стани S_2, S_3.

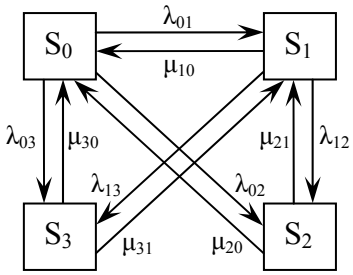


Рис. 2. Граф станів СЕУ при двох альтернативах ремонтних баз

При необхідності поставити судно на ремонт, для ОПР є можливість обирати стан S_2 чи S_3. Тому, у цьому випадку переходи системи: $S_0 \to S_2$ та $S_0 \to S_3$, а також $S_1 \to S_2$ та $S_1 \to S_3$ будуть суб'єктивно-ймовірносними. Відтак й інтенсивності потоків подій λ_{02} та λ_{03}, λ_{12} та λ_{13}, що переводять систему СЕУ в стан ремонту залежатимуть від переваг ієрарха.

Проблемно-ресурсний підхід започаткований у суб'єктивному аналізі дозволяє розрахувати ймовірнісні показники функціонування системи, вживаючи постульований принцип оптимальності ентропії переваг.

Одним із правдоподібних шляхів формування переваг у даному випадку буде оцінка ОПР вихідних інтенсивностей: μ_{20} та μ_{21}, μ_{30} та μ_{31}; ресурсів: наявних, потрібних, бажаних та отримуваних. У тому числі, як ресурс може розглядатися й тривалість та якість виконаних робіт, що зменшуватиме у подальшому потребу в частих ремонтах. Відбудеться зниження відповідно: λ_{02} та λ_{03}, λ_{12} та λ_{13}. Не остання роль належить виваженій стратегії з огляду на проблеми попиту та пропозиції, а також конкурентоспроможності в умовах ринкових відносин.

Відповідно до графу наведеного на рис. 2, отримуємо систему диференційних рівнянь:

$$\left.\begin{aligned}
\frac{dp_0(t)}{dt} &= -(\lambda_{01}+\lambda_{02}+\lambda_{03})\cdot p_0(t)+\mu_{10}\cdot p_1(t)+\mu_{20}\cdot p_2(t)+\mu_{30}\cdot p_3(t)\\
\frac{dp_1(t)}{dt} &= \lambda_{01}\cdot p_0(t)-(\lambda_{12}+\lambda_{13}+\mu_{10})\cdot p_1(t)+\mu_{21}\cdot p_2(t)+\mu_{31}\cdot p_3(t)\\
\frac{dp_2(t)}{dt} &= \lambda_{02}\cdot p_0(t)+\lambda_{12}\cdot p_1(t)-(\mu_{20}+\mu_{21})\cdot p_2(t)\\
\frac{dp_3(t)}{dt} &= \lambda_{03}\cdot p_0(t)+\lambda_{13}\cdot p_1(t)-(\mu_{30}+\mu_{31})\cdot p_3(t)
\end{aligned}\right\}, \qquad (4)$$

Розв'язання задачі. Проінтегруємо системи (3, 4). Для цього скористаємося інтегральними перетвореннями Лапласа. У випадку коли інтенсивності потоків λ та μ є постійними величинами у часі, для системи (3) перетворення Лапласа приводить до системи лінійних алгебраїчних рівнянь:

$$\left.\begin{aligned} p\cdot X(p) &= 1-(\lambda_{01}+\lambda_{02})\cdot X(p)+\mu_{10}\cdot Y(p)+\mu_{20}\cdot Z(p) \\ p\cdot Y(p) &= \lambda_{01}\cdot X(p)-(\lambda_{12}+\mu_{10})\cdot Y(p)+\mu_{21}\cdot Z(p) \\ p\cdot Z(p) &= \lambda_{02}\cdot X(p)+\lambda_{12}\cdot Y(p)-(\mu_{20}+\mu_{21})\cdot Z(p) \end{aligned}\right\}, \tag{5}$$

де p – комплексний параметр; $X(p)$, $Y(p)$ та $Z(p)$ – зображення (трансформанти) оригіналів (ймовірностей) $p_0(t)$, $p_1(t)$ та $p_2(t)$ відповідно. Звідки з системи (5) маємо матрицю коефіцієнтів M та вектор-стовбець вільних членів B:

$$M=\begin{pmatrix} p+\lambda_{01}+\lambda_{02} & -\mu_{10} & -\mu_{20} \\ -\lambda_{01} & p+\lambda_{12}+\mu_{10} & -\mu_{21} \\ -\lambda_{02} & -\lambda_{12} & p+\mu_{20}+\mu_{21} \end{pmatrix},\ B=\begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}. \tag{6}$$

Для трансформант, з (5, 6) отримуємо вирази:

$$X(p)=\frac{p^2+a\cdot p+b}{p\cdot\left(p^2+c\cdot p+d\right)}=\frac{p^2+a\cdot p+b}{p\cdot(p-p_1)\cdot(p-p_2)}, \tag{7}$$

$$Y(p)=\frac{\lambda_{01}\cdot p+ay}{p\cdot(p-p_1)\cdot(p-p_2)}, \tag{8}$$

$$Z(p)=\frac{\lambda_{02}\cdot p+az}{p\cdot(p-p_1)\cdot(p-p_2)}, \tag{9}$$

де $a=\mu_{20}+\mu_{10}+\mu_{21}+\lambda_{12}$, $b=\mu_{20}\cdot\lambda_{12}+\mu_{20}\cdot\mu_{10}+\mu_{21}\cdot\mu_{10}$, $c=\mu_{10}+\lambda_{01}+\lambda_{12}+\mu_{20}+\mu_{21}+\lambda_{02}$, $d=\mu_{21}\cdot\lambda_{02}+\lambda_{02}\cdot\lambda_{12}+\mu_{10}\cdot\mu_{20}+\lambda_{01}\cdot\lambda_{12}+\lambda_{12}\cdot\mu_{20}+\lambda_{01}\cdot\mu_{20}+\mu_{10}\cdot\mu_{21}+\lambda_{02}\cdot\mu_{10}+\lambda_{01}\cdot\mu_{21}$, $p_1=-\frac{1}{2}\cdot c+\frac{1}{2}\cdot\left(c^2-4\cdot d\right)^{\frac{1}{2}}$, $p_2=-\frac{1}{2}\cdot c-\frac{1}{2}\cdot\left(c^2-4\cdot d\right)^{\frac{1}{2}}$, $ay=\lambda_{01}\cdot\mu_{20}+\lambda_{01}\cdot\mu_{21}+\mu_{21}\cdot\lambda_{02}$, $az=\lambda_{01}\cdot\lambda_{12}+\lambda_{02}\cdot\lambda_{12}+\lambda_{02}\cdot\mu_{10}$.

Оригінали, відповідні до зображень (7-9):

$$p_0(t)=x(t)=\frac{b\cdot\left[p_1\cdot\left(e^{p_2\cdot t}-1\right)+p_2\cdot\left(1-e^{p_1\cdot t}\right)\right]+p_1\cdot p_2\cdot\left[e^{p_2\cdot t}\cdot(p_2+a)-e^{p_1\cdot t}\cdot(p_1+a)\right]}{p_1\cdot p_2\cdot(p_2-p_1)}, \tag{10}$$

$$p_1(t)=y(t)=\frac{ay\cdot\left[p_1\cdot\left(e^{p_2\cdot t}-1\right)+p_2\cdot\left(1-e^{p_1\cdot t}\right)\right]+\lambda_{01}\cdot p_1\cdot p_2\cdot\left(e^{p_2\cdot t}-e^{p_1\cdot t}\right)}{p_1\cdot p_2\cdot(p_2-p_1)}, \tag{11}$$

$$p_2(t)=z(t)=\frac{az\cdot\left[p_1\cdot\left(e^{p_2\cdot t}-1\right)+p_2\cdot\left(1-e^{p_1\cdot t}\right)\right]+\lambda_{02}\cdot p_1\cdot p_2\cdot\left(e^{p_2\cdot t}-e^{p_1\cdot t}\right)}{p_1\cdot p_2\cdot(p_2-p_1)}. \tag{12}$$

Аналогічно розв’язується і система рівнянь (4).

Практичне застосування розв’язку задачі. Для приклада розглянемо моделювання впливу суб’єктивних переваг. Оскільки у спрощеній постановці задачі досить простежити лише принципові зміни показників системи, тому для функцій переваг (2) застосуємо максимально прості залежності, що ілюструють характер зміни переваг ОПР стосовно станів ремонту, рис. 2. стани S_2, S_3. Залежно від ресурсу t, $y_2(t)$ та $y_3(t)$ – переваги станів S_2, S_3 відповідно:

 ISBN 7-776-8361-7

$$y_2(t)=\frac{c_1-c_2\cdot t}{c_1-c_2\cdot t+c_3},\ y_3(t)=\frac{c_3}{c_1-c_2\cdot t+c_3}. \tag{13}$$

Тоді, застосовуючи алгоритм прийняття рішення:

$$\lambda_{12}(t)=\left|\begin{matrix}k; & y_2(t)\geq y_3(t)\\ n; & y_2(t)<y_3(t)\end{matrix}\right., \qquad \lambda_{13}(t)=\left|\begin{matrix}n; & y_2(t)\geq y_3(t)\\ k; & y_2(t)<y_3(t)\end{matrix}\right., \tag{14}$$

де k, n – сталі величини, їхня сума $\lambda_{12}(t)+\lambda_{13}(t)$ відповідає інтенсивності переходу в ремонт λ_{12} для випадку проілюстрованого графом на рис.1; отримуємо залежності $\lambda_{12}(t)$, $\lambda_{13}(t)$, що входять до системи рівнянь (4) як функції від часу. Перерозподіл між ними відбувається стрибкоподібно.

Розрахунки проведені для графу на три стани (рис. 1) у двох сценаріях по три варіанти в кожному. Перший сценарій відображає ситуацію більш тривалого ремонту СЕУ, інтенсивність потоку подій, що переводить систему зі стану S_2 у стан S_1: $S_2 \rightarrow S_1$ нижча μ_{21}=0.03, тобто судна з ремонту виходять з меншою частотою. За другим сценарієм – інтенсивність потоку подій $S_2 \rightarrow S_1$ вища: μ_{21}=0.1, тобто виходи суден з ремонту відбуваються частіше.

В кожному з двох сценаріїв розглянуто по три варіанти які враховують ймовірність знаходження системи СЕУ в початковий момент часу в одному з трьох заданих дискретних станів. Розрахунки проведено за формулами (10-12). Результати показують зміну ймовірностей на рисунку 3.

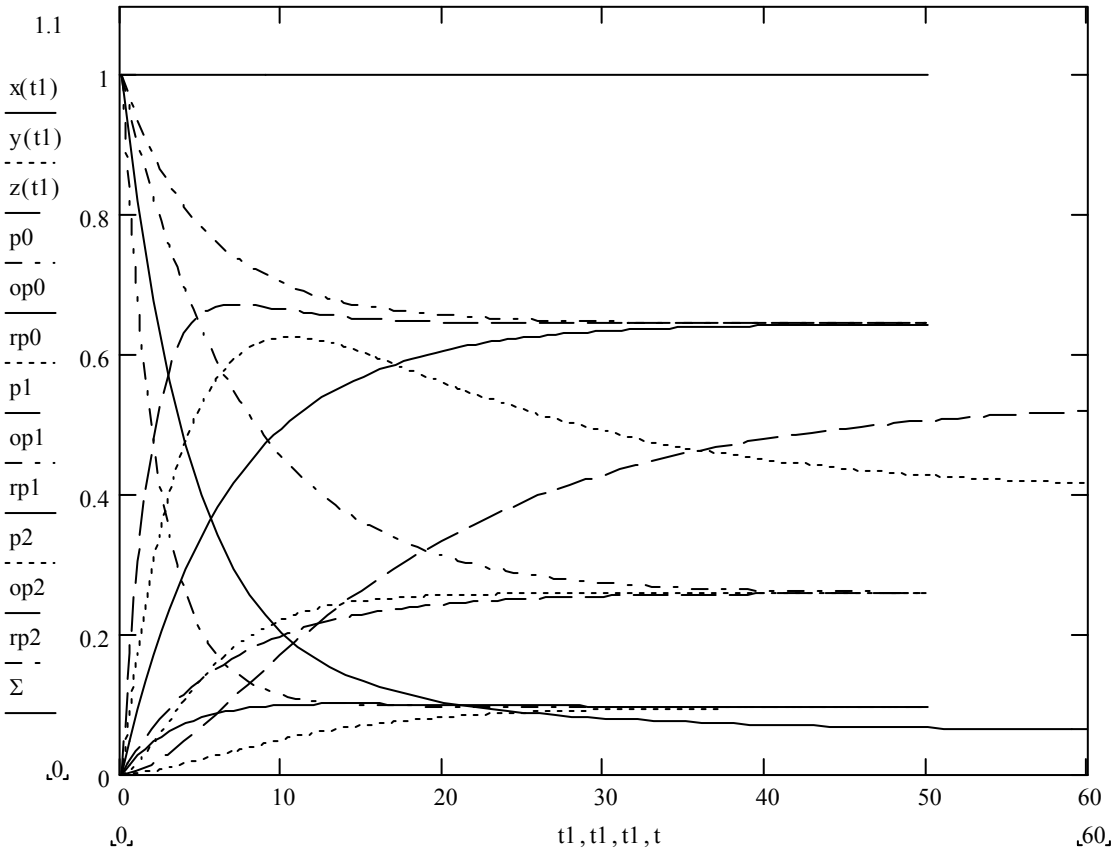


Рис. 3. Зміна показників роботи СЕУ при наданні переваги подіям за двома сценаріями

Перший сценарій. Варіант 1: при значеннях: λ_{01}=0.2, λ_{02}=0.002, λ_{12}=0.04, μ_{10}=0.03, μ_{20}=0.0003, μ_{21}=0.03, t=0 … 60; вектор початкових умов: $P_0=\{p_0(0)=1,\ p_1(0)=0,\ p_2(0)=0\}$, тобто судно в початковий момент часу t_0=0 знаходиться на стоянці. Варіант 2: розглянуто зміну початкових умов, $P_0=\{p_0(0)=0,\ p_1(0)=1,\ p_2(0)=0\}$, тобто судно в початковий момент часу t_0=0 знаходиться на ходу, СЕУ експлуатується за основним призначенням, за-

безпечуючи хід судна. Варіант 3: зміна початкових умов, $P_0 = \{p_0(0)=0,\ p_1(0)=0,\ p_2(0)=1\}$, судно при t_0=0 знаходиться на ремонті.

Другий сценарій. Варіанти 1, 2, 3: змінено лише інтенсивність потоку подій $S_2 \to S_1$, μ_{21}=0.1, , t=0 … 50.

На рисунку 3 позначено: x(t1) = p_0(t), y(t1) = p_1(t), z(t1) = p_2(t) – ймовірності станів S_0, S_1,S_2 рис. 1 відповідно, розраховані за першим сценарієм, варіантом один, тобто μ_{21}=0.03, $P_0 = \{p_0(0)=1,\ p_1(0)=0,\ p_2(0)=0\}$. В початковий момент судно на стоянці, тривалість ремонту відносно висока, тому з плином часу, $t \to \infty$, ймовірність опинитися у стані S_0: p_0(t) → 0.06; ймовірність експлуатаційного ходового режиму роботи СЕУ, тобто, опинитися у стані S_1: $p_1(t)$ → 0.4; а найбільш ймовірним є стан S_2: $p_2(t)$ → 0.54. Імовірності тих самих станів у інших двох варіантах за тим самим сценарієм сходяться до тих самих величин. Найбільш ймовірним є стан S_2, тому що тривалість ремонту відносно висока.

Позначення: p0, op0, rp0 – означають ймовірність того, що у певний момент часу судно знаходитиметься на стоянці, події відбуваються за сценарієм два, інтенсивність подій виходу з ремонту в експлуатацію $\mu_{21}=0.1$, у початковий момент: система на стоянці – p0, СЕУ забезпечує хід судна – op0, на ремонті – rp0. Подібним чином позначено: p1, op1, rp1 – ймовірності знаходження СЕУ в стані використання за призначенням, так само як і у попередньому випадку $\mu_{21}=0.1$, при трьох варіантах початкових умов для стану системи: на стоянці – p1, СЕУ забезпечує хід судна – op1, на ремонті – rp1. Для p2, op2, rp2 – ймовірності знаходження СЕУ в ремонті, $\mu_{21}=0.1$, початкові умови: судно на стоянці – p2, на ходу – op2, в ремонтні – rp2. Також на рис. 3 подано умову нормування – Σ.

Характер зміни станів системи при розвитку подій за другим сценарієм відображає відмінність від першого сценарію у тому, що, якщо активний елемент системи – ієрарх – ОПР надає перевагу сценарію два, то менша тривалість ремонту , $\mu_{21}=0.1$, порівняно з μ_{21}=0.03 за першим сценарієм, показує результат у вигляді p_1(t) → 0.645 за сценарієм два, проти p_1(t) → 0.4 при сценарії один. Ймовірність для СЕУ опинитися у стані ремонту відповідно: p_2(t) → 0.26 проти p_2(t) → 0.54. Та для стоянки: p_0(t) → 0.095 при p_0(t) → 0.06. Тобто виграш очевидний.

Процес, що відбувається у системі – стаціонарний Пуасонівський. Інтенсивності потоків подій – сталі величини. Тому ймовірності стабілізуються з плином часу на певному рівні. При сценарії два така стабілізація ймовірностей настає швидше.

Стрибкоподібність зміни характеристик функціонування СПК показано на рисунку 4. Розрахунки проведено за моделями функцій переваг (13). Алгоритм прийняття рішень у формі (14) набуває вигляду:

$$\lambda_{12}(t) = \left| \begin{array}{ll} 0.03; & y_2(t) \geq y_3(t) \\ 0.01; & y_2(t) < y_3(t) \end{array} \right., \qquad (15)$$

Для розгляду взято систему на три стани при попередніх значеннях окрім μ_{21}=0.03; коефіцієнти, що входять у (13): c_1 = 7, c_2 = 0.05, c_3 = 4; інтенсивність $\lambda_{12}(t)$ умови (15) входить в (3).

Висновки. У цій роботі, спираючись на творчій доробок попередників [1-5], здійснено спробу безпосереднього врахування впливу суб'єктивних переваг вибору судноремонтних баз на ймовірності знаходження суднової енергетичної установки у відповідному стані.

На підставі вказаних спрощуючих припущень проведено модельні розрахунки, які показують зміну показників надійності функціонування СЕУ у складі СПК. Стохастичність постановки задачі дозволяє розвинути науково обґрунтований підхід до удосконалення роботи СЕУ, як автоматизованого комплексу, керованого активним елементом системи, що формує свої суб'єктивні функції переваг на множині альтернатив з огляду на ймовірнісні показники надійності. Таким чином відбувається підвищення економічності, ефективності витрат ресурсів, прибутковості.

 ISBN 7-776-8361-7

У подальших дослідженнях представляє науковий інтерес вивчення кореляційних зв'язків між розподілами рейтингів та переваг.

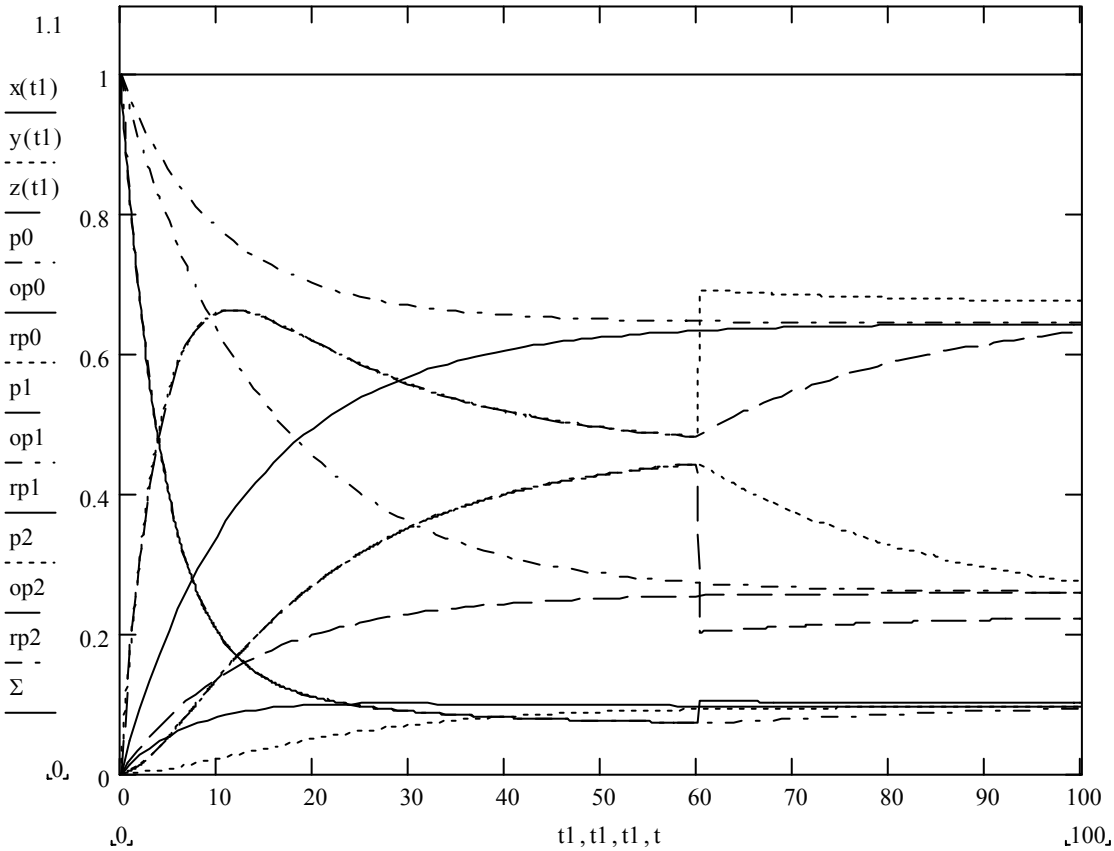


Рис. 4. Стрибкоподібна зміна показників роботи СЕУ при наданні переваги одній з двох ремонтних баз

Proposed to make allowance for the influence of optional subjective preferences for ship repair bases upon the probability of a ship's power plant to be in a corresponding state. The modelling is performed for a system with discrete states. Considered graphs of the system states and transitions for three and four states. Given examples of calculations. Achieved results of applicable researches. Plotted appropriate diagrams.

1. Касьянов В.А. Субъективный анализ: Монография. – К.: НАУ, 2007. – 512 с.
2. Касьянов В.А., Гончаренко А.В. Субъективный анализ и безопасность активных систем // Кибернетика и вычислительная техника. – 2004. – Вып. 142. – С. 41-56.
3. Касьянов В.А. Элементы субъективного анализа: Монография. – К.: НАУ, 2003. – 224 с.
4. Шерстюк В.Г. Формальная модель гибридной сценарно-прецедентной СППР // Автоматика, автоматизация, электротехнические комплексы и системы. – 2004. – №1(13). – С. 114-122.
5. Ходаков В.Е., Соколова Н.А. Координация взаимодействия подсистем в автоматизированных системах // Автоматика, автоматизация, электротехнические комплексы и системы. – 2004. – №1(13). – С. 39-48.

УДК 626.7.018.7:621.396.96

ОБРАБОТКА ИЗБЫТОЧНОЙ ТРАЕКТОРНОЙ ИНФОРМАЦИИ В ИЗМЕРИТЕЛЬНО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

Мотылев К.И., Михайлов М.В., Паслен В.В.

Развитие авиационной и космической техники ставит задачу разработки более совершенных методов обработки траекторной информации в наземных автоматизированных информационно-вычислительных системах. Это вызвано тем, что результаты траекторных измерений используются для [1]:

– оценки характеристик космической и авиационной техники;
– возможностей ее эффективного применения;
– точного прогнозирования движения объектов;
– анализа разных внештатных ситуаций при испытании и в процессе эксплуатации космического или авиационного аппарата.

При отсутствии точной траекторной информации о космическом аппарате (КА) в любой момент времени возрастает риск его гибели или ограничения возложенных на него функциональных возможностей.

Таким образом, повышение точности определения траекторных параметров любого летательного аппарата (ЛА) составляет актуальную научную задачу.

Данная работа посвящается повышению точности определения параметров положения и движения ЛА. Поставленная цель достигается путем последовательной реализации пространственной и временной избыточности траекторной информации наземных измерительных средств.

Исследование области применения данного метода доказало его пригодность для определения трехмерных координат любых объектов, расположенных в воздухе, на земной или водной поверхности.

Траектории движения различных объектов принято подразделять на два больших класса: детерминированные траектории (ДТ) и случайные (СТ) [2].

Для ДТ совокупность действующих на объект сил известна с достаточной степенью точности. Благодаря этому каждая ДТ может быть задана ограниченным и заранее известным числом траекторных параметров. Примерами ДТ являются эллиптические, параболические и гиперболические орбиты космических аппаратов. Применительно к ДТ задача в основном решена на базе статистической оценки параметров положения, им посвящена обширная литература [1, 2].

СТ – траектории, при расчете которых нет полной информации о силах, действующих на объект, или эти силы известны с существенными ошибками. Вследствие этого для СТ невозможно заранее установить количество траекторных параметров, необходимых для ее описания. Примерами СТ являются траектории маневрирующих ЛА. Для таких траекторий наиболее рациональной является модель, представленная в виде [5]:

$$x(t, A) = \sum_{k=0}^{m} a_k \varphi_k(t), \qquad (1)$$

где:

- $x(t, A)$ - координатная составляющая вектора действительного положения объекта;
- a_k - компонент вектора А – коэффициентов аппроксимирующего полинома;
- $\varphi(t)$ - система линейно независимых базисных функций.

Как известно, средства измерения имеют зоны повышенной и пониженной точности. Для повышения точности и достоверности результатов измерения многократно дублиру-

 ISBN 7-776-8361-7

ют, вследствие чего возникает временная и пространственная избыточность траекторной информации [3].

Временная избыточность (ВИ) связана с высоким темпом съема информации. Пространственная избыточность (ПИ) возникает в результате многократного дублирования измерений различными средствами.

При этом учет ПИ измерений осуществляется путем применения обобщенного метода, а учет ВИ – путем применения алгоритмов сглаживания траекторной информации.

Ранее вторичные координаты объектов исследования рассчитывались простыми методами, основанными на использовании минимально необходимого набора первичных координат [1]. Суть простых методов сводилась к аналитическому определению точки пересечения трех поверхностей положения.

Простые методы обладают рядом серьезных ограничений [1]:

- не учитывают корреляцию ошибок измерений;
- не могут автоматически приспосабливаться к изменяющейся форме СТ и метрологическому состоянию измерителей;
- не учитывают неравноточность измерений
- не являются общими для широкого диапазона условий эксплуатации;
- не удовлетворяют современным требованиям по точности;
- не реализуют избыточность данных измерений;
- не реализуют в полном объеме возможности современных ЭВМ.

Мы предлагаем следующий путь решения проблемы повышения точности обработки данных траекторных измерений:

- реализация пространственной избыточности данных измерений радиолокационных (РЛС) и кинотеодолитных станций (КТС) с помощью обобщенного метода;
- реализация временной избыточности траекторной информации при помощи алгоритма адаптивного линейного оптимального сглаживания данных.

Эти методы свободны от недостатков существующих простых методов обработки и способные обеспечить решение комплекса задач по повышению точности и достоверности оценки вторичных координат положение и движения ЛА и КА.

Рассмотрим применяемые в работе методы. Обобщенный метод [5] был разработан профессором Огороднийчуком Н. Д. в начале 60-х годов. Он предусматривает реализацию пространственной избыточности данных траекторных измерений. Суть метода заключается в отыскании точки, равноудаленной от поверхностей положения с учетом погрешности средств измерений.

При использовании обобщенного метода решением будет точка, равноудаленная от поверхностей положения с учетом неравноточности измерений. Эта точка называется статистической оценкой (СО) положения объекта и находится с помощью следующего рекуррентного соотношения [5]:

$$r_{\nu+1} = r_\nu + \Delta r_\nu = r_\nu + U_\nu^{-1} \sum_{j=1}^{m} \frac{b_{j\nu}}{\sigma_{j\nu}^2}, \qquad (2)$$

где $r_{\nu+1}$ - $(\nu+1)$-е приближение;

r_ν - ν-е приближение;

U_ν^{-1} - матрица, обратная симметричной, составленной на основе частных производных f_{jz}, f_{jy}, f_{jz}.

$b_{j\nu}$ - векторное отклонение j-й поверхности положения относительно ν-го приближения СО.

$\sigma_{j\nu}^2$ - дисперсия ошибки области искомой оценки.

Обобщенный метод и его модификации [5]:

- обеспечивает оптимальную (по точности) обработку избыточной информации;

- допускает обработку информации минимального объема измерительной информации с сохранением точности соответствующих простых методов;
- устойчив к сбоям;
- эффективен при любых флюктуациях случайных ошибок измерений;
- сочетается с любыми методами реализации временной избыточности (сглаживанием, фильтрацией) при последовательной обработке данных измерений;
- параллельно с обработкой осуществляет самоконтроль точности измерительных средств.

В полученных на данном этапе вторичных координатах остается неучтенной ВИ. Для ее учета производится дальнейшая обработка координат методом адаптивного линейного оптимального сглаживания.

В настоящее время применяются методы сглаживания к первичной и вторичной информации. Существует несколько видов сглаживания с использованием [5]:

- квадратичных степенных полиномов;
- тригонометрических родов Фурье;
- ортогональных полиномов Чебышева;
- сплайн-приближений.

Сглаживание позволяет:

- производить отбраковку грубых измерений;
- уменьшить влияние быстрофлуктуирующих ошибок измерений;
- оценить производные измеряемых или вычисляемых параметров;
- решать интерполяционные и экстраполяционные задачи;
- осуществлять сжатие данных измерений.

В основе алгоритма адаптивного оптимального сглаживания, используемого в данной работе, лежит метод наименьших квадратов (МНК). Суть его заключается в том, что в заданных точках допускается несовпадение, но сумма квадратов отклонений в этих точках должна быть наименьшей. Применение МНК в случае сглаживания случайных траекторий усложняется отсутствием априорной информации о степени и структуре сглаживающего полинома, а также непостоянством СКО полученных вторичных координат [6].

Если измерения неравноточные, то каждой точке приписывается определенный вес $\lambda_i = 1/\sigma_i^2$ и достигается выполнение следующего условия [6]:

$$\sum_{i=1}^{n} [\xi_u(t_i) - \xi_n(t_i, C_0 \ldots C_m)]^2 = \sum_{\min} \tag{3}$$

На результаты обработки влияет не абсолютное значение весов, а их соотношение в разных точках траектории. Чем больше относительное значение веса при точке, тем ближе траектория к ней приблизится. Как известно, чем точнее измерение в данной точке, тем меньше в ней дисперсия ошибки. Поэтому при обработке экспериментальных данных веса λi обычно применяются обратно пропорциональными дисперсиям ошибок измерений [6].

Для упрощения оценки степени и структуры сглаживающего полинома применяются Λ-ортогональные базисные функции, которые находятся по следующей трехчленной рекуррентной формуле [6]:

$$P_{k+1}(t) = (t - \alpha_k)P_k(t) - \alpha_{k-1}P_{k-1}(t). \tag{4}$$

Коэффициенты α_{k-1} и α_k находятся по формулам (5) и (6) [6]:

$$\alpha_{k-1} = \frac{P_{k-1}^T \Lambda t P_k}{P_{k-1}^T \Lambda P_{k-1}}, \tag{5}$$

$$\alpha_k = \frac{P_k^T \Lambda t P_k}{P_k^T \Lambda P_k}, \tag{6}$$

где Λ – диагональная матрица, на главной диагонали которой стоят веса точек.

 ISBN 7-776-8361-7

Оценка коэффициентов сглаживающего полинома и их дисперсия определяются по следующим формулам [6]:

$$\hat{a}_k = \frac{P_k^T \Lambda \xi_u}{P_K^T \Lambda P_K}, \tag{7}$$

$$\sigma^2_{\hat{a}_k} = \frac{\sigma^2_\xi}{P_K^T \Lambda P_K} \tag{8}$$

Вследствие применения Λ-ортогональных базисных функций значения коэффициентов получаются независимыми и структуру сглаживающего полинома можно легко определить по критерию Фишера.

В результате работы предложено решение задачи повышения точности определения вторичных параметров траекторий объектов. Поставленная цель достигнута методом последовательной реализации ПИ и ВИ данных траекторных измерений.

Обработка траекторной информации осуществляется в два этапа. На первом этапе реализуется пространственная избыточность данных траекторных измерений при помощи обобщенного метода. При этом обработке подвергаются несглаженые данные измерений, зарегистрированные в одни и те же моменты времени. На втором этапе осуществляется сглаживание вторичных координат полиномами невысокого порядка [4].

Для обработки информации данным методом разработана программа для ПЭВМ. В результате исследования разработанного метода на модельных траекториях получены качественные (улучшение конечных результатов с увеличением избыточности) и количественные (числовые значения выигрыша в точности при различном количестве, типе и расположении измерительных средств) оценки. Исследование модельных траекторий дало следующие результаты:

- 1 РЛС-КТС: повышение точности в 2,3..3 раза;
- 2 РЛС: повышение точности в 3,75..9 раз;
- 3 РЛС: повышение точности в 4,35..12,4 раза;
- 3 РЛС-КТС: повышение точности в 5,98..18,6 раза.

Current work is directed at the air- and spacecrafts' movement and location parameters accuracy enhancement. The developed method can be used in flight tests, control and analysis of the different contingencies. The aim is reached by accounting of the redundant trajectory information.

1. Агаджанов П. А., Дулевич В. Е., Коростелев А. А. и др. Космические траекторные измерения. - М.: Советское радио, 1969. – 488с.

2. Жданюк Б. Ф. Основы статистической обработки траекторных измерений. - М.: Советское радио, 1978. – 384с.

3. Мотылев К. И., Михайлов М. В., Гончаров Е. В., Паслен В. В. Обработка данных измерений, обладающих пространственной избыточностью // Материалы Международной научной конференции "Излучение и рассеяние ЭМВ – ИРЭМВ-2005". – Таганрог: изд. ТРТУ, 2005. – 438с.

4. Мотильов К. І., Михайлов М. В., Щербов І. Л. Пасльон В. В. Методи обробки даних вимірів, які володіють просторовою та часовою надмірністю // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 5 (46). – Дніпропетровськ, 2006, 150 с.

5. Огороднийчук Н. Д. Обработка траекторной информации. - К.: изд. КВВАИУ, ч.1, 1981. – 224с.

6. Огороднийчук Н. Д. Обработка траекторной информации. - К.: изд. КВВАИУ, ч.2, 1981. – 144с.

УДК 681.586

МНОГОКАНАЛЬНАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Биленко М.С., Серов А.В., Рожков С.А., Буглов О.А.

Введение. Одним из трудно поддающихся автоматизации текстильных процессов является проверка качества тканей. Только в последнее десятилетие развитие компьютерной технологии и технологий видеоконтроля позволило разработать практичные, дружественные системы. Большой интерес, проявляемый в последнее время к автоматизации процессов контроля качества сырья и готовой продукции текстильных производств, позволяет ставить вопрос о повышения эффективности текстильных производств за счет снижения доли выпуска недоброкачественной продукции и уменьшении непроизводственных затрат.

Постановка проблемы. Контроль качества тканей обычно проводится контролерами качества, которые способны обнаруживать 40–60% процентов дефектов. Со временем контролеры устают, что делает их результаты контроля противоречивыми. Также имеются различия между индивидуальными способностями инспекторов. Наконец, чтобы подготовить хорошего инспектора–человека требуются годы, а автоматизированные системы контроля могут быть установлены и использованы в пределах нескольких недель. Современные системы контроля позволяют обеспечить обнаружение дефектов тканей от 80 до 95 процентов.

Сложные, многостадийные технологические переходы и вариативность показателей продукции (смена ассортимента тканей, их сортности и т.п.) приводят к тому, что существенное влияние на качество продукции оказывают следующие факторы: 1) разное качество сырья; 2) изменение климатических условий при производстве тканей; 3) нарушение технологического процесса или его неправильный выбор; 4) отклонения, которые вызванные разрегулированностью или потерей настроек оборудования.

Для автоматического контроля качества рулонных материалов, таких как ткань, бумага, пленки и т.п., следует решить задачу создания автоматической системы обнаружения дефектов (системы автоматического контроля качества – САКК), которая бы являлась частью автоматической системы управления технологическим процессом [2]. Это позволит при своевременном анализе всего потока дефектов текстильных материалов и сырья значительно повысить эффективность всего текстильного комплекса.

Однако широкое использование в текстильной промышленности, да и в других отраслях народного хозяйства, таких систем автоматической обработки видеоинформации, сдерживается целым рядом факторов: значительные информационные потоки в системах обработки сигналов; необходимость разработки специальных методов и средств обнаружения сигналов дефектов, обладающих малым отношением сигнал–шум; высокая стоимость известных систем контроля качества [1, 10].

Постановка задачи. Целью данного исследования является создание системы контроля качества текстильных материалов (тканей) и товарного суровья с использованием контактных датчиков изображения (CIS, от англ. Contact Image Sensor). Система контроля должна обеспечивать разрешающую способность, позволяющую гарантированно обнаруживать пороки тканей (слеты по утку, подплетины, недосеки, дыры, утолщенные нити, шов, разный номер утка, бракат, проколы, пятна масла и грязи, плохая белизна, близны, засечки, недолеты.) различных артикулов, включая такие сложно определяемые дефекты, как пороки с малым соотношением сигнал/шум.

Ткани, выпускаемые текстильными производствами по современным технологиям, имеют ширину до 3 м и более, поэтому разрабатываемая система контроля должна обеспечивать контроль тканей по всей ширине.

 ISBN 7-776-8361-7

Анализ последних исследований. Развитие современных информационных технологий в автоматизированных интегрированных системах контроля качества, например, видеосистемы, позволяет реализовать непрерывный процесс контроля качества текстильных материалов, тканей. В практике неразрушающего контроля качества рулонных материалов, как правило, используются быстродействующие телевизионные системы с устройствами видеопреобразования, выполненных на многоэлементных фотоэлектрических преобразователях типа CCD (Charge–Coupled Device, или ПЗС – прибор с зарядовой связью). В последнее время на рынке современных систем для автоматического контроля качества текстильных материалов такие системы используются достаточно широко [2]. Наряду со своими несомненными преимуществами, применение таких технических средств контроля имеет и существенные недостатки: наличие аппертурных искажений, ограниченная область кадра, относительно высокая стоимость промышленных камер. Несмотря на достаточно высокое быстродействие таких систем технического зрения (СТЗ), реализованные технические решения и алгоритмы распознавания не всегда позволяют осуществлять в реальном масштабе времени обнаружение дефектов текстильных материалов [2, 3, 4**]**.

На рис. 1 показана система для обнаружения ткацких дефектов Fabriscan , выпущенная фирмой Zellweger Uster. Компания начинала разработку автоматической системы контроля тканей одной из первых в 1983 г. Разработанная система Uster Visotex была показана на выставке в ITMA–87 в Париже. Однако система была неудачной, главным образом из-за ограниченной мощности компьютеров при обработки данных того времени.

Новая система Fabriscan может проверять качество тканей шириной от 110 до 440 сантиметров со скоростью до 120 м/мин и может обнаруживать дефекты вплоть до разрешения 0,3 миллиметров. Система классифицирует дефекты в матрицу, названную Uster Fabriclass, которая подобна известной системе Uster Classimat для пряж. Fabriclass имеет две оси: на оси y указывается контраст дефекта, на оси x - длина дефекта. Это позволяет системе классифицировать различия между деформированными и недеформированными тканными дефектами. Данные о дефектах могут загружены в реляционную базу данных, которая позволяет формировать необходимые типы сообщений для пользователей. Для улучшения качества тканей первого сорта в программном обеспечении системы реализован алгоритм оптимизации разреза куска ткани.

Стоимость Fabriscan начинается от $200,000. По оценкам Zellweger Uster, срок окупаемости системы составляет от 12 до 24 месяцев, который основывается на экономии в трудовых расходах, оптимизацию разрезов тканей и улучшенную систему оценки качества для клиентов.

Рис. 1 Система Fabriscan (фирма Zellweger Uster) для обнаружения и классификации текстильных дефектов

Рис. 2 Автоматизированная система Cyclops (фирма Barco) для проверки ткани на ткацком станке

Для проверки качества ткани на текстильном *ткацком* оборудовании фирма Barco разработала систему Cyclops, которая конструктивно представляет собой движущуюся

цифровой телевизионную КМОП–камеру с возможностью установки непосредственно на текстильной машине (рис.2) [9]. В отличие от других систем, такое решение для системы автоматизированного контроля позволяет контролировать процесс производства ткани на промежуточных стадиях, а не в конце производственного цикла. Система Cyclops обнаруживает следующие основные дефекты: дефекты основы, высокая концентрация локальных дефектов, отдельные распространенные дефекты. Всякий раз, когда система останавливает ткацкий станок, извещается ткач, а специфический тип дефекта и его позиция отображаются на терминале ткацкого станка. После устранения причины дефекта и ввода декларации на терминале ткацкого станка, система Cyclops запускает ткацкий станок для дальнейшего производства. Реестр ткани, снимающийся с ткацкого станка вместе с результатами системы контроля качества формируют отчет качества, по которому ткани: оцениваются как первый сорт, могут быть переданы на дополнительную проверку или переданы на дальнейшую обработку.

Для тканей шириной до 260 сантиметров скорость контроля измеряющей видеокамеры составляет до 18 см/с. В зависимости от ширины контролируемого полотна ткани система оснащается одной или двумя видеокамерами, каждая из которых имеет систему подсветки и специальный привод, который перемещает камеру со скоростью до 54 см/с с разрешающей способностью до 10 пикселей/мм. Система контроля имеет интерфейс VDI с возможностью подключения к Ethernet. Основные характеристики программного обеспечения включают: калибровку камеры и освещения, настройку образа, обрабатывающего алгоритма для основы, утка, плотности ткани, обнаружение границ и кодирование в память управляющей ЭВМ образа ткани в формате JPEG.

Стоимость установки одной системы Cyclops – $5,000, стоимость лицензии на программное обеспечение – $25,000. Таким образом, инвестиции для установки на 100 ткацких станках около $525,000. Компания оценивает годовые расходы для типичного применения в $200,000 при сокращении ручной проверки после ткачества, сокращении расходов из-за уменьшения числа контролеров (инспекторов), улучшения качества ткани и сроке окупаемости приблизительно в 2,6 года.

Систему Elbit Vision Systems (EVS) фирмы I–Tex (рис.3) применяют для различных задач контроля текстильных материалов, например, контроля текстильных дефектов, контроля печатной продукции и т.п. В этой системе реализован режим автоматизированного обучения системы распознавания дефектов на основе нейронных алгоритмов. Цифровой образ дефекта ткани сохраняется в базе данных для дальнейшего использования, например, при обучении системы распознавания дефектов. Большая скорость контроля (до 300 м/мин) обеспечивается за счет использования быстродействующих видеокамер с интерфейсом IEEE–1394.

На рис.4 приведен пример интерфейса программы формирования контрольной карты в процессе контроля с примерами дефектов и их расположением на куске материала. Стоимость системы от $100,000 до $650,000. Согласно EVS, срок окупаемости для системы обычно составляет 0,6–2 года.

Рис.3 Система Elbit Vision Systems (EVS) фирмы I–Tex

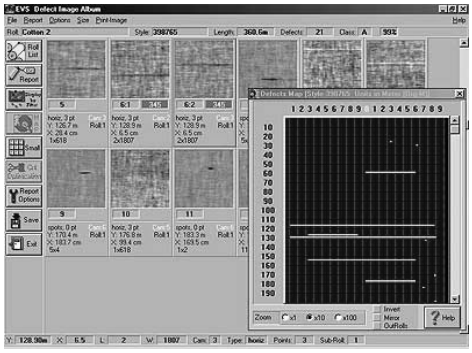


Рис. 4 Пример отчета системы EVS при контроле ткани

 ISBN 7-776-8361-7

Известны системы с высоким коэффициентом секционирования, где элементы линейки датчиков установлены неплотно, а просмотр всей ширины производится за счет движения сканирующей линейки [6]. Например, в системе Wilot WMR фирмы Mahlo использованы линейные датчики изображения, работающие в инфракрасном диапазоне. Основное назначение этой системы – это контроль ширины ткани, а особенность Wilot WMR – это шахматное расположение датчиков изображения, что позволяет определять ширину полотна ткани при помощи набора небольших линейных датчиков изображения CIS.

Анализ задачи. Контроль качества тканей простого переплетения является наиболее распространенной задачей для текстильных предприятий. Осуществление постоянного входного и выходного контроля качества тканей такого ассортимента позволяет для хлопчато–бумажных производств обеспечить повышение качества выпускаемой товарной продукции. Для того, чтобы получить достаточно простую схему устройства для контроля качества продукции текстильных производств, например, содержащую только линейку фотоприемников, к датчикам контроля следует предъявлять требования высокой разрешающей способности.

Основная часть. Структурная схема разрабатываемой автоматизированной системы контроля качества тканей показана на рис.5. Особенностью системы является использование двух микропроцессоров: один для формирования программных порогов, другой для обработки видеосигнала.

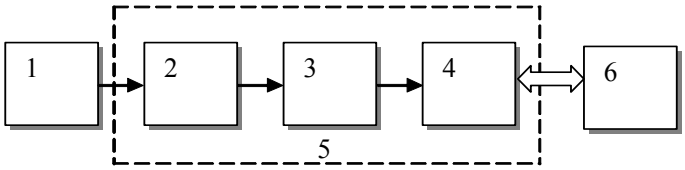


Рис.5 Обобщенная структурная схема системы контроля качества (один канал)
1 – контролируемый объект, 2 – блок восприятия информации, 3 – подсистема предварительной обработки изображения, 4 – подсистема классификации дефектов, 5 – система контроля качества, 6 – локальная сеть АСУ

Система состоит из блока восприятия изображения, системы предварительной обработки изображения и системы классификации дефектов. Для построения данной автоматизированной системы контроля качества в качестве видеодатчиков предлагается использовать линейные контактные датчики изображения. Конструктивное исполнение такого датчика позволяет обеспечить контроль полотна ткани по всей ширине за счет постоянного контакта ткани и датчика в зоне контроля. При этом CIS–датчики позволяют обеспечить контроль ткани при отсутствии значительных геометрических искажений изображения, а отсутствие движущихся частей, сложной оптической схемы, малая стоимость и высокая разрешающая способность датчиков позволяют ставить вопрос о перспективности использования этих датчиков в данной задаче.

Выходной сигнал CIS-преобразователя представляет собой аналоговый сигнал телевизионного стандарта с частотами от 1 до 20 МГц. Например, параметры CIS-модуля UB2B200AX [8]: эффективная ширина сканирования – 200 мм, время сканирования одной строки – 250 мкс, количество сканирующих пикселей в строке – 1575, глубина цвета – 256 градаций серого, цифровой параллельный выход при тактовой частоте 7 МГц. У высокоскоростных датчиков типичное время сканирования одной строки составляет не менее 85 мкс. Для обеспечения высокопроизводительной работы системы предлагается использовать распределенную обработку и передачу данных. При этом из–за нелинейности характеристики CIS-модуля необходимо обеспечить постоянную калибровку, при которой для каждого пикселя модуля устанавливается аддитивный и мультипликативный коэффициенты.

При выборе микропроцессоров, используемых в адаптивных фотопреобразователях, основными параметрами являются: программное обеспечение, набор команд, быстро-

действие, емкость оперативного запоминающего устройства (ОЗУ) и аппаратное обеспечение [2, 11].

Для определения координат объекта используется алгоритм

$$x = \frac{\sum_i a_i V_i}{\sum_i V_{ij}}, \; y = \frac{\sum_j a_j V_j}{\sum_j V_{ij}} \qquad (1)$$

где a_i, a_j – весовые коэффициенты элементов строки и столбца соответственно; $V_i = \sum_j V_{ij}$ – выходной сигнал строки; $V_j = \sum_i V_{ij}$ – выходной сигнал столбца; V_{ij} – сигнал с элементов приемника.

Для точной оценки необходим расчет длительности выполнения алгоритма, где общее время выполнения программы

$$T = \sum_{i=1}^{n_k} p_i \tau_i + \sum_{j=1}^{m_{nn}} r_j, \qquad (2)$$

где p_i – команда длительностью τ_i; n_k – количество команд; r_j –длительность стандартных подпрограмм; m_{nn} – количество стандартных подпрограмм.

При выборе емкости ОЗУ следует учитывать объем выходного сигнала, который рассчитывают

$$H_c = \sum_{n=1}^{N} \log_2 \left(\frac{V(t)}{V_0} \right), \qquad (3)$$

где V_0 – уровень квантования выходного сигнала: $V_0 = S_v \cdot \Phi_n$; Φ_n – пороговый поток преобразователя.

Для записи рабочей программы с числом команд n_k и количеством констант S требуется $C_{пр}=8(n_к+S)$ бит. Емкость ОЗУ микропроцессора для преобразователя определяется соотношением (4)

$$W = 2^{n_{сл}} G \geq 8(n_к + S) + \sum_{n=1}^{N} \log_2 \frac{V(t)}{V_0}, \qquad (4)$$

где G – количество слов запоминающего устройства; $n_{сл}$ – разрядность слова.

Скорость считывания изображения можно определить как $v_x = p / T_x$, где T_x – период импульсов считывания.

Используя выражение (4) можно определить выходной сигнал с CIS–преобразователя

$$V(t) = S_v \cdot a \cdot \sum_{n=1}^{N} E(v_x T_x n) R(v_x T_x n), \qquad (5)$$

где S_v – чувствительность преобразователя; a – длина элемента преобразователя; R_x – координатная характеристика.

Объем информации в сигнале сканирования можно значительно уменьшить, сократив число уровней квантования и обеспечив определенную организацию считывания выходного сигнала.

Следует так же учитывать и соответствие между скоростью ввода–вывода интерфейса $v_{вв}$ и скоростью передачи информации $v_и$ преобразователя. При построчном сканировании

 ISBN 7-776-8361-7

$$v_u = f_{сч}\left[\log_2 M + (\log_2 N)\cdot\sum_{i=1}^{N} x_i\right], \qquad (6)$$

где $f_{сч}$ – частота считывания строки.

Скорость ввода–вывода информации интерфейса $v_{вв}$ можно определить из соотношения

$$v_{вв} \geq f_{сч}\left[\log_2 M + (\log_2 N)\cdot\sum_{i=1}^{N} x_i\right]. \qquad (7)$$

Усовершенствованный алгоритм распознавания дефектов тканей для автоматической системы контроля качества, который описан в [7], позволяет реализовать такую систему разбраковки текстильных материалов, которая бы функционировала в реальном масштабе времени.

Обработка и фильтрация изображения. Особенностью разрабатываемой системы контроля качества тканей является большой объем обрабатываемой информации. Для обеспечения работы системы контроля и классификатора дефектов в режиме реального времени предлагается алгоритм предварительной обработки информации. Контролируемый объект (ткань), имеет периодическую структуру и поэтому целесообразна двумерная частотная фильтрация [4], т.к. можно производить контроль качества в разных диапазонах пространственных частот. Например, для контроля оттенков ткани при крашении выгодно производить фильтрацию в области низких частот, а контроль переплетений (структуры ткани) – в области высоких частот.

Известно [2], что при выделении естественных признаков изображений, которые можно устанавливать визуальным анализом, используют светлоту (яркость), текстуру различных областей изображений, форму контуров. Среднюю яркость окрестности точки *(j,k)* изображения размером $(2W+1)\cdot(2W+1)$ элементов определяют как

$$\overline{Y}(j,k) = \left[\frac{1}{(2W+1)^2}\right]\sum_{m=-W}^{W}\sum_{n=-W}^{W} Y(j+m,k+n). \qquad (9)$$

Для эффективного распознавания дефектов ткани по методике, рассмотренной в [7], необходима информация о геометрическом положении дефекта и о его отклонении от средней яркости ткани. Обозначим матрицу *A(i,j)* размером *m* строк на *n* столбцов. Каждое значение матрицы удовлетворяет соотношению $0 \leq A(i,j) \leq 1$.

Наиболее значимыми пороками являются пятна на ткани, которым при контроле качества присваивается большая балльная оценка [1, 5]. Следовательно, для системы автоматического контроля необходимо обеспечить высокую вероятность обнаружения пороков данного типа.

Данный тип изображений обладает достаточно малым соотношением сигнал/шум и в задаче обработки изображения следует выполнить дополнительно обработку [4].

Для устранения влияния высокочастотных составляющих сигнала, на первом этапе, проведем операцию линейного двумерного сглаживания

$$C(i,j) = \sum_{m=0}^{(Ma-1)}\sum_{n=0}^{(Na-1)} A(m,n) * B(i-m, j-n), \qquad (10)$$

где $0 \leq i \leq Ma + Mb - 1$ и $0 \leq j \leq Na + Nb - 1$.

Сформируем пороги яркости изображения $T_1, T_2, T_3, -T_1, -T_2, -T_3$:

$$B(i,j)=\begin{cases}-3, если\ 0\le A(i,j)<-T_3\\ -2, если\ -T_3\le A(i,j)<-T_2\\ -1, если\ -T_2\le A(i,j)<-T_1\\ 0, если\ -T_1\le A(i,j)<T_1\\ 1, если\ T_1\le A(i,j)<T_2\\ 2, если\ T_2\le A(i,j)<T_3\\ 3, если\ T_3\le A(i,j)<1\end{cases} \quad (11)$$

Начальные значения порогов выбирают в режиме обучения системы контроля на образцах тканей без дефектов, а в дальнейшем пороги обнаружения дефектов следует подстраивать с помощью адаптивной системы настройки.

Для повышения эффективности работы системы классификации дефектов, которая является составляющей системы контроля, прелагается использовать морфологическую обработку изображения.

Применение операции эрозии в морфологической обработке позволяет исключить на бинарных изображениях несущественные элементы [4]

$$(f \ominus b)(x,y)=\min\{f(x+x',y+y')\,|\,(x',y')\in D_b,\}. \quad (12)$$

где $f(x,y)$–изображение ткани, D_b – структурообразующий элемент.

Сглаживание участков контуров изображения и заполнение промежутков контуров изображения выполняется с помощью операции морфологического замыкания.

$$f\cdot b=(f\oplus b)\ominus b \quad (13)$$

Структурная схема модели системы контроля ткани в среде Matlab Simulink, которая реализует алгоритмы предварительной фильтрации изображения, показана на рис. 6.

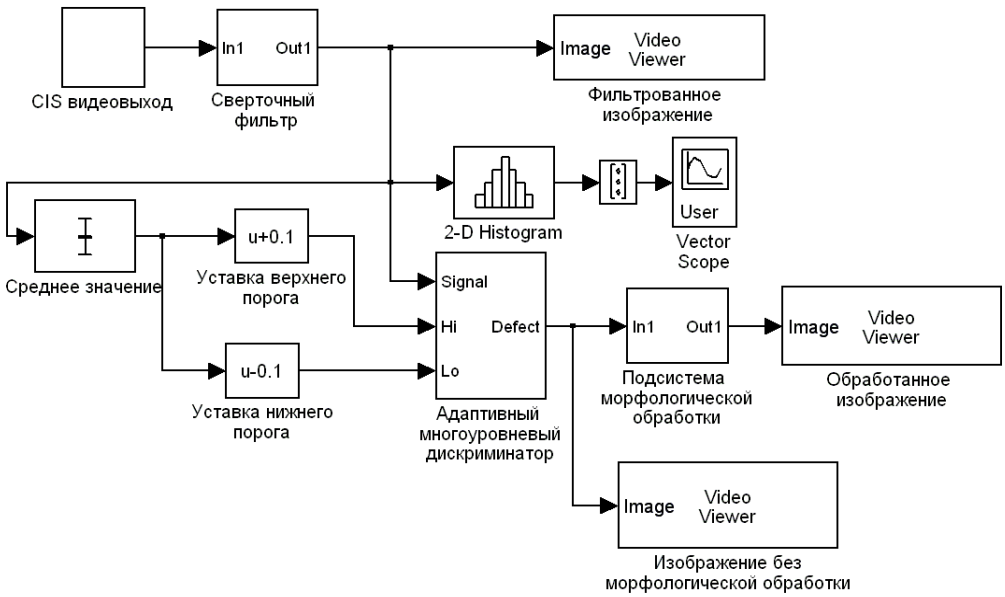


Рис. 6 Схема моделирования системы контроля ткани в среде MATLAB

Разрешающая способность CIS–преобразователя, использованного в микропроцессорной системе для исследования качества ткани, составляет 1575 пикселей. В эксперименте исследовалась хлопчатобумажная ткань простого переплетения, для которой было выбрано разрешение 768 пикселей на строку, обеспечивающее уверенное выделение сигнала структуры ткани. На рис. 7 показано изображение ткани с дефектами (пятна), которое использовалось в модели, а результаты моделирования показаны на рис. 8–10.

 ISBN 7-776-8361-7

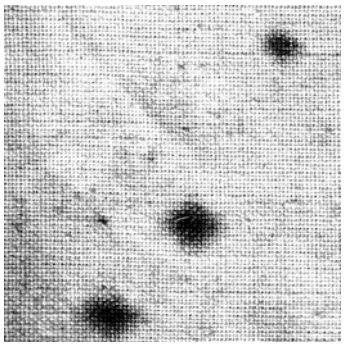


Рис. 7 Образец ткани с дефектами

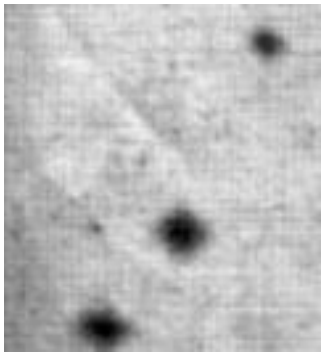


Рис.8 Изображение после применения фильтра низких частот

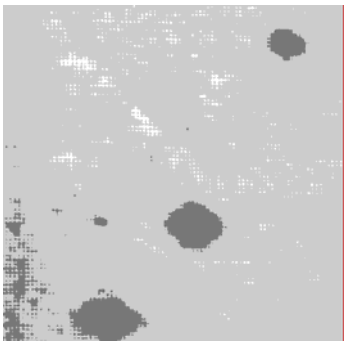


Рис. 9 Изображение ткани после пороговой обработки

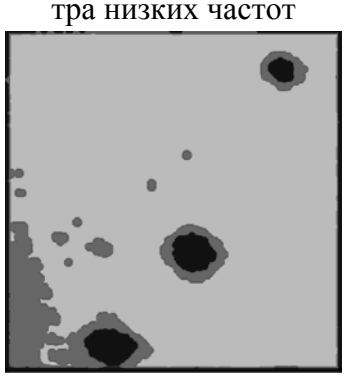


Рис.10 Изображение после морфологической обработки

На рис.11 изображена структурная схема разработанной системы контроля качества тканей [13].

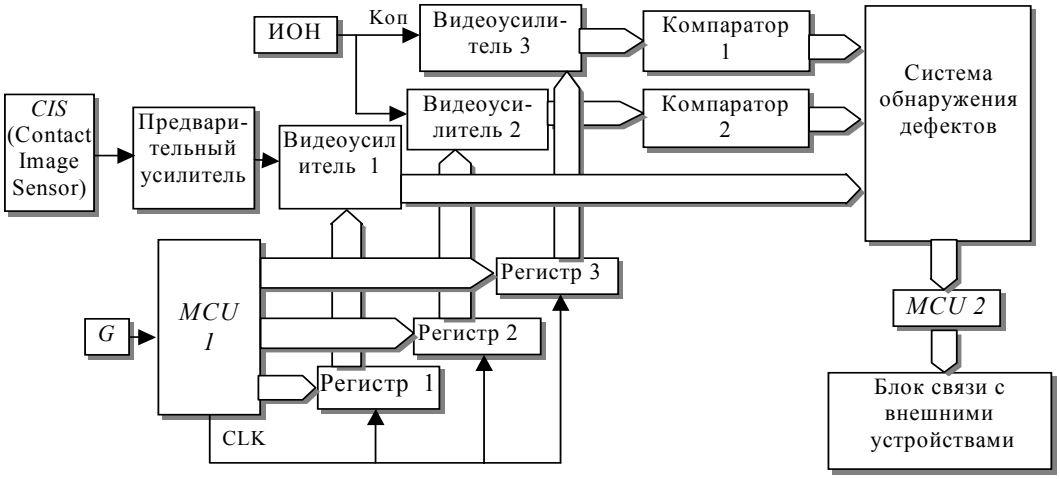


Рис.11 Схема системы контроля качества тканей с преобразователем CIS
G – тактовый генератор, ИОН – источник опорного напряжения, *MCU* –микропроцессор

Выходной сигнал с CIS–преобразователя (рис.11), усиливается с помощью предварительного усилителя и далее с помощью видеоусилителя 1 передается в систему обнаружения дефектов. Тактируемый генератором G микропроцессор MCU1 через сдвиговые регистры 1, 2 и 3 формирует управляющие сигналы для соответствующих видеоусилителей 1,2 и 3. Выходной сигнал с видеоусилителей 2 и 3 поступает на компараторы 1 и 2, которые формируют управляющие сигналы для микропроцессора MCU2. Такое решение позволяет адаптировать алгоритм управления системой при изменении характеристик или артикула (типа) контролируемого материала.

Однако, при достаточно высоком быстродействии, система контроля (рис.11) имеет некоторые недостатки, а именно: высокий уровень шумов, связанный с аналоговой обра-

боткой сигнала, низкая точность определения дефектов тканей из–за отсутствия калибровки датчика.

У многоканальной системы контроля качества тканей (рис.12) отсутствуют недостатки, перечисленные выше [12].

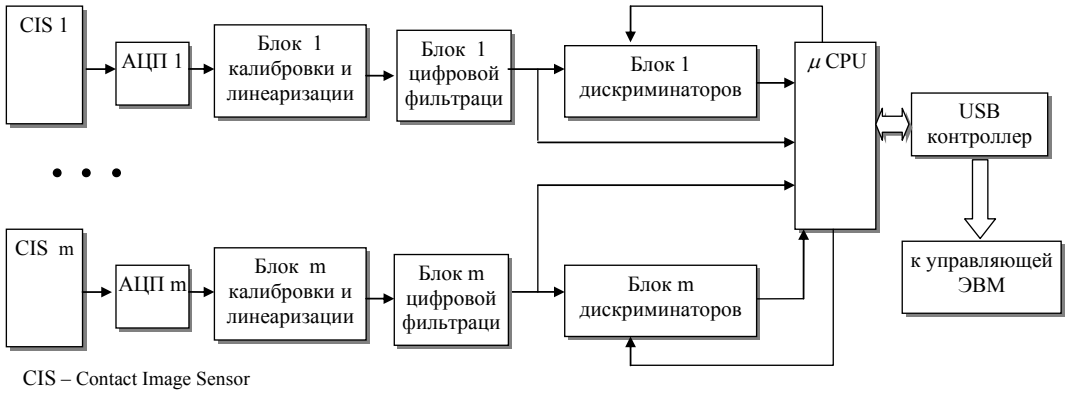


Рис. 12 Многоканальная система контроля качества дефектов с USB интерфейсом

Сигнал от каждого контактного датчика изображения (CIS) при помощи специализированного АЦП преобразуется в цифровое представление и обрабатывается в блоке калибровки и линеаризации. Блок цифровой фильтрации предназначен для сглаживания высокочастотной составляющей сигала и уменьшения уровня шумов. Микроконтроллер MCU формирует пороги яркости для блока дискриминаторов. Дискриминированный сигнал поступает в микроконтроллер и передается по шине USB на управляющий компьютер. Достоинством цифровой системы является ее чрезвычайная гибкость, возможность передачи изображения дефекта по высокоскоростному каналу на ЭВМ.

На рис. 13 показана возможная схема установки CIS-модулей, где для обеспечения контроля по всей ширине ткани используется шахматное расположение сканирующих элементов

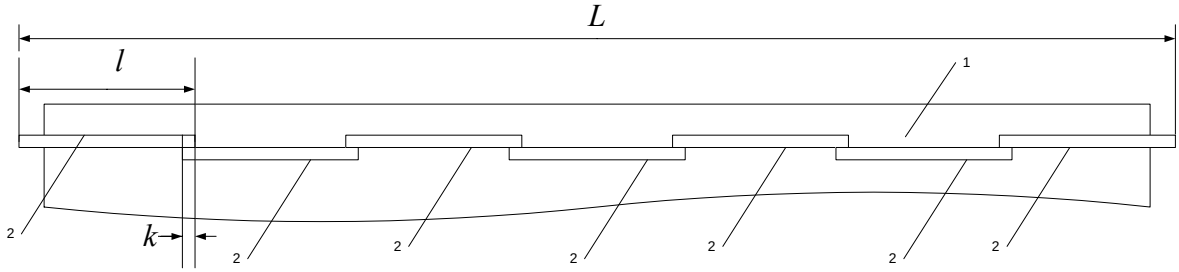


Рис. 13 Схема установки CIS-модулей
1 – контролируемый объект, 2 – датчик изображения

При данной схеме сканирующего устройства количество сканирующих элементов можно рассчитать как

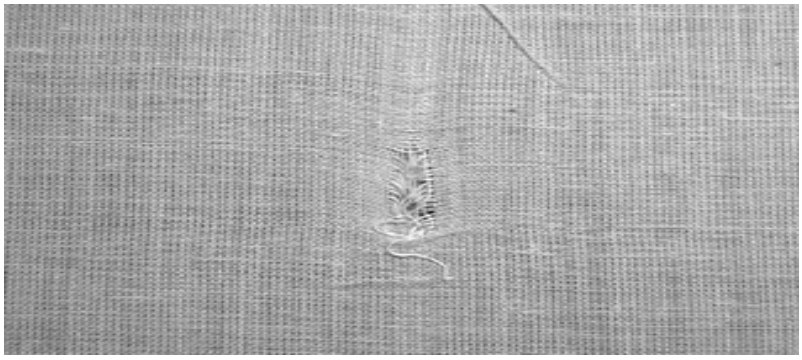
$$n = \frac{L - 2k}{l - 2k}, \qquad (14)$$

где n – число необходимых модулей CIS, L – длина полотна, l – длина сканирующего элемента, k – перекрытие между сканирующими элементами.

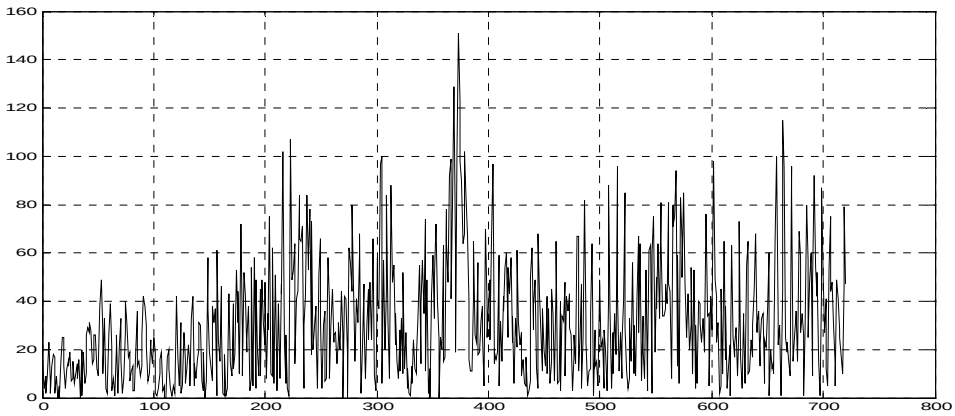
Выражение (14) справедливо для $n \geq 2$. Для контроля полотна ткани шириной до 1,8 м при длине сканирующего элемента 20 см и перекрытии между ними 1 см, необходимое число сканирующих элементов составляет 10 шт.

На рис.14, а показано изображение ткани с дефектом.

 ISBN 7-776-8361-7



а)



б)

Рис.14 Исследуемое изображение ткани (а),
абсолютное значение амплитуды сигнала и ошибки (б).

Для строки изображения ткани, полученной при помощи контактного датчика изображения, была проведена линеаризация характеристики датчика. Ослабление влияния шумов структуры ткани выполнено с применением предварительной низкочастотной фильтрации. Для выделения дефекта структуры ткани выполнена операция рекурсивной фильтрации с нормированием сигнала (рис 14,б).

Выводы

Испытания макета системы автоматической разбраковки тканей, построенной с использованием CIS–приемников, показали возможность использования данной системы в текстильном производстве при контроле качества текстильных материалов.

Разработанная система для контроля текстильных дефектов на преобразователях CIS–типа позволяет реализовать быстрые алгоритмы распознавания дефектов для перемещающихся текстильных материалов.

Преобразователи, использованные в сканирующем устройстве системы, позволяют обнаруживать дефекты тканей размером до 1 мм.

Морфологическая обработка изображения в данной задаче позволяет значительно уменьшить поток информации при обработке в классификаторе системы

При изменении ширины контролируемой ткани в блоке сканирования системы возможно увеличение зоны контроля за счет использования дополнительных CIS–модулей.

This paper dedicated to development of multi-channel defect recognition system on flat roll materials. Image processing algorithm developed as multi–channel comparator with morphological filtering. Control system developed intended for work within automatic control system of technological process.

1. Рожков С.О., Тернова Т.І., Єдинович М.Б. Проблеми автоматизованого розбракування тканин//Проблемы легкой и текстильной промышленности Украины. –2004. –№2(9). –С.208–215.

2. Системы технического зрения (принципиальные основы, аппаратное и математическое обеспечение)/А.Н. Писаревский, А.Ф. Чернявский, Г.К. Афанасьев и др.; Под общ. ред. А.Н. Писаревского, А.Ф. Чернявского. –Л.: Машиностроение, Ленингр. отд–ние, 1988. –424 с.

3. Катыс Г.П. Восприятие и анализ оптической информации автоматической системой. –М.: Машиностроение, 1986. –416 с.

4. Гонсалес Р., Вудс Р., Эддинс С. Цифровая обработка изображений в среде MATLAB, М.: Техносфера, 2006. – 616с.

5. Рожков С.А., Бражник Д.А., Тимофеев К.В. Контроль структурных параметров ткани с использованием фильтрации на основе распознавания образов// Проблемы легкой и текстильной промышленности Украины –2004. –№2(9). –С.220–224.

6. А.с. 1839510 СССР, МКИ D 06 H3/08 / С.А.Рожков., К.В.Тимофеев, А.П. Храпливый, А.М. Бражник (СССР). Устройство для обнаружения дефектов движущегося полотна ткани с печатным рисунком. –№ 4771927/12; Заявл. 19.12.89; д.с.п.

7. Рожков С.О., Федотова О.М. Алгоритм розпізнавання дефектів тканин для автоматичної системи контролю якості//Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. –2006. –№ 1(17). –С. 47–59.

8. Contact Image Sensors MITSUBISHI ELECTRIC [Электронный ресурс] URL: http://global.mitsubishielectric.com/bu/contact_image/ove_structure.html (дата обращения 5.09.2008).

9. Dockery. A. Automated Fabric Inspection: Assessing The Current State of the Art [Электронный ресурс] URL: http://www.techexchange.com/thelibrary/FabricScan.html (дата обращения 5.05.2008).

10. Mahlo TM ISSUE 6 06. [Электронный ресурс] URL: http://mahloamerica.com/dyncontent/presspdfs/gb/Mahlo%20TM%20Issue%206%2006.pdf (дата обращения 3.05.2008).

11. Mursalin T., Eishita F., Islam A., Fabric defect inspection system using neural network and microcontroller. Journal of Theoretical and Applied Information Technology, p. 560–570, 2008.

12. Биленко М.С., Рожков С.А., Использование CIS-датчиков в системах разбраковки тканей// XV Міжнародна конференція з автоматичного управління (Автоматика 2008). Тези доповідей п’ятнадцятої міжнародної науково–технічної конференції, м. Одеса, 23–26 вересня 2008р.–Ч.1. –Одеса: ОНМА, 2008. –С.57–60.

13. Рожков С.А., Серов А.В. Современные средства автоматизации обнаружения дефектов рулонных материалов// XIV Міжнародна конференція з автоматичного управління (Автоматика 2007). Тези доповідей чотирнадцятої міжнародної науково–технічної конференції, м. Севастополь, 10–14 вересня 2007р. –Ч.1. –Севастополь: СНУЯЄтаП, 2007. –С.205–206.

 ISBN 7-776-8361-7

УДК 661.68

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД ПОСТРОЕНИЯ АЛГОРИТМОВ И МОДЕЛЕЙ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ НЕШТАТНЫХ СИТУАЦИЙ

Фарионова Н.А.

Использование методов и средств информатики для усиления возможностей человека в области интеллектуальной деятельности привлекало внимание специалистов-компьютерщиков практически сразу после изобретения компьютеров.

Последние достижения информатики в области телекоммуникаций, систем, основанных на знаниях (систем искусственного интеллекта и среди них наиболее популярных экспертных систем), компьютерных методов принятия решений поставили задачу создания принципиально новых систем, которые могут интегрировать опыт, (в том числе и печальный) принятия решений и проведения мероприятий в условиях нештатных ситуациях, связанных с экологическим или промышленным риском. Управление в чрезвычайных ситуациях и методы принятия решений в последнее время стало очень благодатной областью приложения современных методов информатики.

Системный подход к созданию адекватных методов решения поставленных задач, выбор соответствующих технических средств и организационных решений позволяют надеяться на качественный скачок результатов в этой области.

Системный подход к данной проблеме означает анализ всех аспектов рассматриваемой задачи, продумывание и моделирование полного технологического цикла обработки информации, начиная от ввода и получения информации до принятия решений. Основная идея разрабатываемой методологии заключается в накапливании знаний в компьютерной форме баз знаний, с последующим их использованием для принятия решений.

Под нештатной ситуацией подразумевается ситуация, когда по тем или иным (как правило, неопределенным) причинам происходит срыв нормального протекания процесса. В этом случае возникает необходимость в принятии решения о дальнейших действиях.

Нештатные ситуации могут проявляться на разных уровнях системы. На нижнем (аппаратном) уровне они обрабатываются корректором. При этом соответствующие сообщения отправляются серверу. Если с корректором случается нечто непредвиденное, то данное событие заносится в протокол нештатных ситуаций системы с извещением администратора о его возникновении. Нештатные ситуации, связанные с функционированием оборудования верхнего уровня системы (сбои с ПО), обрабатываются сервером. Дежурный инженер имеет возможность изменять критичные значения отдельных параметров (температура, давление и т. д.) для конкретных узлов замеров, при выходе за границы которых срабатывает сигнализация с выдачей соответствующего сообщения на экран. Если это необходимо, такие сообщения гасятся. При изменении граничных параметров информация об этом автоматически заносится в журнал с фиксацией названия события и времени вместе с остальными событиями, произошедшими в системе. Протоколируются вход и выход из системы дежурного диспетчера (принятие и сдача смены), сбой системы, ее перезагрузка, превышение или понижение заданных установок технологических параметров, задание параметров среды, проходящей через узел замера с фиксацией времени записи, нештатные ситуации в работе системы. Эта информация помогает оценить правильность поведения персонала в аварийных ситуациях.

Есть много случаев, когда необходимо принимать решения в короткие сроки (от нескольких десятков минут до нескольких дней). Это тот диапазон времени, когда трудно, а иногда и невозможно пригласить консультантов, собрать специалистов, провести консилиум или заседания совета и т. д. В этом случае приходится полагаться на мнение компьютера, хотя это иногда чревато непредсказуемыми последствиями. Здесь следует подчеркнуть, что в этих ситуациях (и во многих других тоже) компьютерные системы принятия решений не являются желанной целью, а становятся вынужденным вариантом принятия решений в условиях ограниченных ресурсов, прежде всего временных ограничений.

Будем считать, что существует некоторая предметная область, в которой знания (в виде рекомендуемых решений и последовательности действий) накапливаются на основе рассмотрения некоторых нештатных повторяющихся ситуаций, происходящих с некоторой частотой. К таким ситуациям относятся промышленные аварии, стихийные бедствия. В этом случае частота событий не настолько велика, чтобы была реальная возможность обучать и тренировать неоптимальных решений могут быть значительны. Поэтому представляется весьма перспективным создание систем, основанных на знаниях (систем искусственного интеллекта) для накапливания такого рода знаний (инструкций), чтобы использовать их во внештатных ситуациях[5].

Возможности систем, основанных на знаниях, являются принципиальным моментом, поскольку для накопления знаний о действиях во внештатных ситуациях на каждом объекте может потребоваться значительное время необходимо обеспечить интеграцию знаний об однородных нештатных ситуациях на пространственно распределенных объектах одного типа. Одним из путей решения этой задачи является создание компьютерной сети, для распространения по однородным объектам знаний, полученных в результате апостериорного анализа действий (или бездействий) во внештатных ситуациях. После произошедшей нештатной ситуации производится анализ принятых и непринятых решений, их последствий, выработка правил и запись оптимальных решений в базу продукционных правил, соответственно глобальную или локальную. Знания в обсуждаемых базах знаний структурируются в форме инфологических моделей. Модели могут быть универсальные, проблемные и специфические. В структуру каждой модели включаются также имитационные и другие вычислительные модели, в виде вычислительных процедур. В общем виде знания, включающие модели, можно представить как четверку вида:

$$M = (S,R,I,K\},$$

где S — база имитационных моделей; R — база продукционных правил, которая пополняется в результате анализа принятия решений в нештатных ситуациях; / — информационная база; K — база общих знаний[4].

Получение управляющих алгоритмов организовано как сходящийся итерационный процесс. Накопление экспериментальной информации в базах данных облегчает совершенствование технологического процесса.

При разработке технологии приобретения и передачи знаний о действиях во внештатных ситуациях необходимо произвести классификацию баз знаний Базы знаний можно разделить на следующие категории [3]:

• универсальные (общие), относящиеся ко всем рассматриваемым
областям, объектам и ситуациям;

• проблемные, которые относятся к данному классу объектов и проблемных ситуаций;

• специфические, которые связаны конкретно с данным объектом и особенностями его функционирования.

При этом универсальные знания тиражируются по всем объектам, использующим рассматриваемую методологию, или находятся в некотором центральном узле. Это зависит от принятой компьютерной технологии.

Для рассматриваемой проблемы телекоммуникационные возможности систем, основанных на знаниях, являются принципиальным моментом, поскольку для накопления знаний о действиях во внештатных ситуациях на каждом объекте может потребоваться значительное время. Тем не менее, существует класс однородных объектов, например, предприятия определенного типа, морские порты, населенные пункты в местах, подверженных паводкам, и т. д. В этом случае, необходимо обеспечить интеграцию знаний об однородных нештатных ситуациях на пространственно распределенных объектах одного типа. Одним из возможных путей решения этой задачи является создание компьютерной сети, для распространения по однородным объектам знаний, полученных в результате апостериорного анализа действий (или бездействий) во внештатных ситуациях. Эта сеть может работать в режиме «on-line» или «off-line», быть организована как однородная или иерархическая, может быть в виде звезды с аналитическим центром и т.д. Это зависит от конкретной сферы приложения, но важно максимально упростить и ускорить «обмен опытом» между однородными объектами.

 ISBN 7-776-8361-7

Проблемные знания, в виде соответствующих баз знаний, тиражируются по объектам одного класса. Специфические знания имеются в компьютере только одного объекта.

Для формирования Базы продукционных правил необходимо участие инженера по знаниям, хотя в большинстве случаев достаточно специализированной программы извлечения знаний. В этом случае необходимо использовать подход, при котором каждый пользователь или группа пользователей разрабатывают свои самостоятельные подсистемы, конечно, стараясь максимально возможно согласовывать свои действия. Однако эти согласования носят совещательный характер. В этом случае акцент смещается на разработку методов взаимодействия между подсистемами, создание интерфейсов, в том числе между пользователем и подсистемами. Процесс формирования баз знаний для принятия решений в чрезвычайных ситуациях подходе получает самостоятельность в сборе и использовании своей информации, возможность применения излюбленных программных систем, возможность интегрировать для решения возникающих задач подсистемы, созданные в разное время, различными специалистами, на разной программной базе. В этом случае создаются системы, основанные на знаниях разных людей и разных научных дисциплин. При этом, в результате применения системного подхода, возникают междисциплинарные знания и возникает проблема общего использования различных языков описаний, отличающихся методов решения проблем и т.п.

Принятие решений в чрезвычайных ситуациях требует оперативной и эффективной обработки информации. При разработке такого класса систем необходимо использовать основные принципы моделирования процесса обработки информации для создания полного технологического цикла поддержки принятия решений [2]. При этом необходимо учитывать особенности специального класса предметных областей, которые характеризуются большими объемами анализируемой информации и ограниченным периодом времени для выработки решений. Использование системного подхода для разработки междисциплинарных интегрированных методов, алгоритмов и информационных технологий позволяет эффективно использовать большие объемы информации и базы знаний с учетом новых информационных технологий, современных вычислительных систем, аппарата баз данных и знаний, компьютерных сетей и компьютерного моделирования и принятия решений.

Основной задачей создания современных интеллектуальных систем является разработка и применение методов интеграции технологий сбора информации и ее анализа и методов использования этих результатов при принятии решений [1].

Компьютерная поддержка принятия решений является необходимым условием принятия качественных решений сложных проблем с большими объемами информации.

Approach of the systems is considered to the construction of algorithms and creation of adequate methods of work of the systems of support of making a decision in case of occurring of nonpermanent situations. The basic idea of approach is certain and a concept «Nonpermanent situation is formalized». Formulated design of information technology of automatic discovery of origin of nonpermanent situations times.

1. Bntkov V. Decision support information system development // Multiobjective Problems of Mathematical Programtmng Lecture Notes in Econormcs and Mathematical Systems Spnnger-Verlag, 1991. Vol.351.

2. Decision Support Systems Issues and Challenges. Proceedings of International Task Force Meeting / Eds. by G Fick, R Spraguc IIASA, Proceedings, № U. Pergamon Press, 1980

3. Cauvei C, Proix C and Rolland C Information systems design, an expert system approach //The Rale of Artificial Intelligence in Databases and Information Systems. China Academic Periodical Press Gungzhou, China, 1988. P. 1-28

4. Геловани В.А. и др. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений в нештатных ситуациях. М.: Эдиториал УРСС, 2001. – 304с.

5. Петровский А. Б. Комцьюгерная поддержка принятия решений современное состояние и перспективы развития // Системные исследования Методологические проблемы Ежегодник 1996 М.: Эдиториал УРСС, 1996. С 146-178.

ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОБЪЕКТАМИ И СИСТЕМАМИ

УДК 621.311:681.5

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОМПЛЕКСНОГО И НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРОВ ПРИ УПРАВЛЕНИИ МНОГОМЕРНЫМ ОБЪЕКТОМ

Михайленко В.С., Ложечников В.Ф.

Известно, что разработка математических моделей сложных многомерных объектов вызывает определенные трудности т.к. значения регулируемых и возмущающих параметров динамичны [1]. К примеру, в передаточной функции участка регулирования температуры перегретого пара за парогенератором постоянные времени, и коэффициент передачи изменяются в 2-3 раза в зависимости от нагрузки [2]. Рассчитанные по известным методам [3] настройки типовых регуляторов для данного класса объектов, требуют коррекции при пуско-наладочных работах и в частых случаях нестационарности действующих на объекты шумов и возмущений. Существует много популярных методик позволяющих производить автоматическую корректировку настроек регуляторов или подбирать оптимальные настройки. В последнее время получили распространение САР с комплексным регулятором, в состав которого входит наблюдатель с фильтром Калмана [4], а также САР с нечетким регулятором [5]. Целью данной статьи является проведение сравнительного анализа эффективности работы комплексного и нечеткого регуляторов при управлении сложным объектом.

Для удобства моделирования САР воспользуемся программным пакетом NCD Simulink (MatLab) [6]. Объект регулирования (Plant and Actuator) (рис. 1) представляет собой последовательно соединенные блоки: нелинейность с функцией ограничения (Saturation), нелинейность динамического ограничения коэффициента усиления - блок (Rate Limiter) и линейное динамическое звено (Plant) описание которого задано через переменные состояния вида:

$$\frac{dX(t)}{dt} = AX(t) + Bu(t)$$
$$y(t) = CX(t) + Du(t)$$

где X(t) – вектор столбец состояния; A – матрица коэффициентов объекта; B – матрица входа; u(t) – сигнал управления; Y – вектор выхода; C – матрица выхода ; D – матрица влияния входа непосредственно на выход системы (полагают D = 0).Уравнения состояния системы в развернутом виде:

$$X' = \begin{pmatrix} -1.03 & 0.98 & -0.94 & 0.09 \\ -1.29 & -1.09 & 2.87 & 4.79 \\ 0.18 & -3.82 & -2.08 & -0.98 \\ 0.41 & -4.16 & 2.54 & -1.42 \end{pmatrix} X + \begin{pmatrix} 0 \\ 6.64 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} u$$

$$y = \begin{pmatrix} -1.78 & 1.14 & 0 & -1.03 \end{pmatrix} X$$

Матрица управляемости системы имеет следующий вид:

$$V = [B; AB; A^2B \ldots A^{n-1}B]$$

Матрица управляемости может быть построена в MatLab с помощью функции ctrb, которая вызывается командой: V = ctrb(A, B), а детерминант определен функцией det(V) и т.к. детерминант матрицы V= 30800 и отличен от нуля, то система управляема. Метод модально-

 ISBN 7-776-8361-7

го управления предполагает, что все компоненты вектора состояния X могут быть измерены. Однако на практике некоторые компоненты могут быть неизвестны по одной из двух причин:

– измерительных приборов может быть недостаточно;

– некоторые компоненты вектора X могут не иметь физического смысла.

Однако если система является наблюдаемой, то все компоненты вектора X могут быть восстановлены по наблюдениям вектора Y. Система, описываемая матрицами A и C, является наблюдаемой тогда и только тогда, когда существует конечное время T такое, что начальное состояние X(0) может быть определено в результате наблюдения выходной переменной y(t), при заданном управлении u(t). В случае, когда детерминант матрицы наблюдаемости $N = [C; CB; C^2B \ldots C^{n-1}B]^T$ отличен от нуля, система наблюдаема. Матрица наблюдаемости может быть построена с помощью функции obsv, которая также может вызываться командой N = obsv(A, C), а детерминант матрицы N = -20057 и отличен от нуля т.е. система наблюдаема и фильтр Калмана будет эффективен.

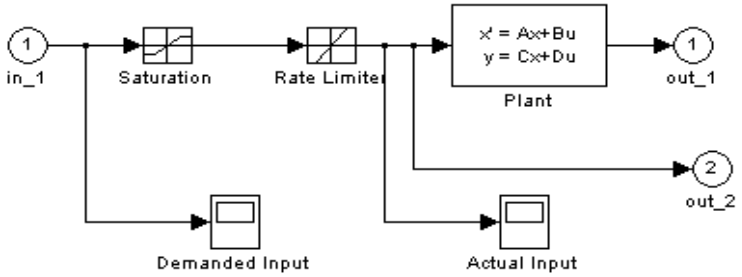


Рис.1 Объект регулирования

Настройка параметров комплексного регулятора, в производственных условиях, (рис.2) является непростой задачей т.к. регулятор имеет сложную структуру: в его состав входит : И – регулятор (Integral action), фильтр Калмана (Kalman estimator), а также многомерное пропорциональное звено (Matrix gain) с матричным коэффициентом усиления K. Для повышения быстродействия в систему введена дополнительная прямая связь от задающего воздействия (пропорциональное звено Feedforward gain с коэффициентом усиления FF). Действие внешних возмущений показано в модели источником шумовых сигналов (Plant Noise) и (Sensor Noise). В качестве задающего воздействия принят единичный импульс.

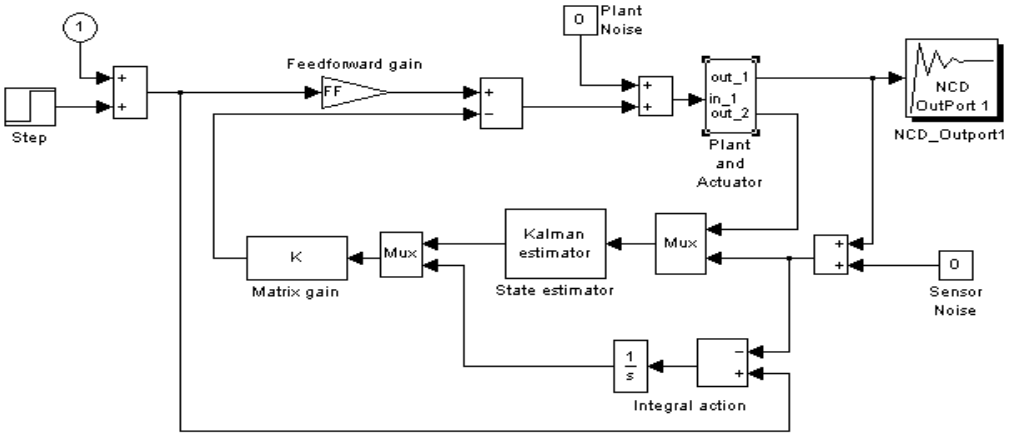


Рис. 2 Структурная схема САР с комплексным регулятором

Синтез системы сводится к нахождению наилучших значений коэффициентов усиления K и FF, при которых к переходному процессу предъявляются следующие показатели качества [6]:

- перерегулирование не превышает 20%;
- время установления – не более 2 с;
- время регулирования – 4 с.

Результат моделирования в блоке NCD, представлен на рис.3

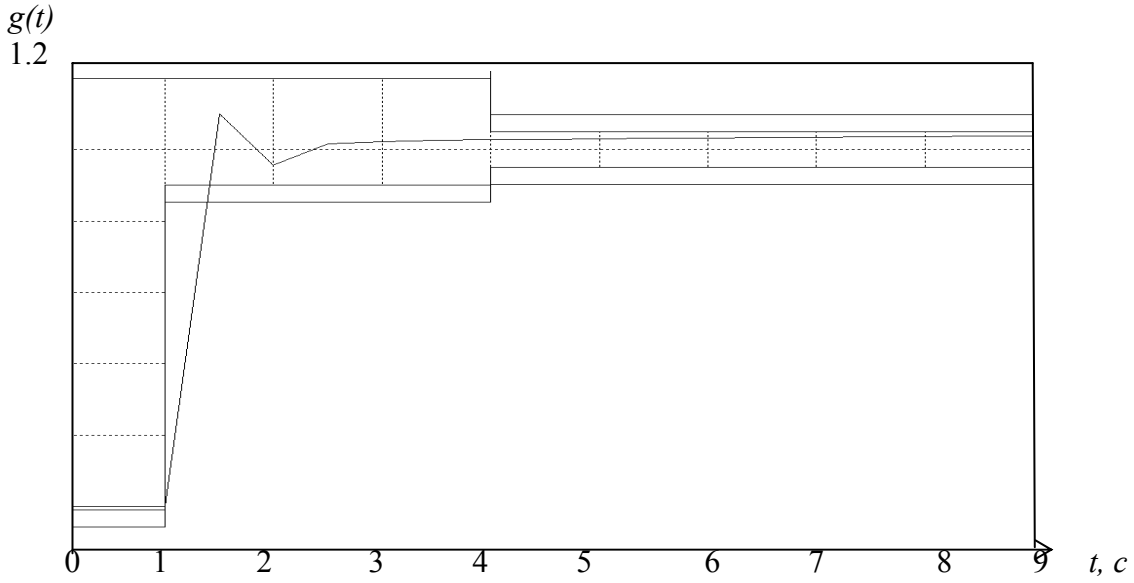


Рис.3 Переходный процесс комплексной САР по каналу задания

Рассчитанные значения оптимальных параметров равны:

K = [-1.0663 0.9551 0.0086 -0.2193 0.0614]

FF = 1.2816 , а переходный процесс САР полностью удовлетворяет заданным критериям.

Для анализа эффективности работы нечеткого регулятора проведем этапы фаззификации и составления базы правил или таблицы лингвистических преобразований.

Нами определены нечеткие множества ошибки *e(t),* скорости изменения $e'(t)$ и управляющего воздействия $u_u(t)$, вышеуказанные нечеткие множества описаны с помощью лингвистического языка, в котором лингвистические переменные (ЛП) или терм-множества следующие: (*NB* – отрицательно большое , *NS* – отрицательно среднее, *NM* – отрицательно малое, *Z* – нулевое, *PS* – положительно среднее, *PM* – положительно малое, *PB* – положительно большое) (рис. 4 - 6):

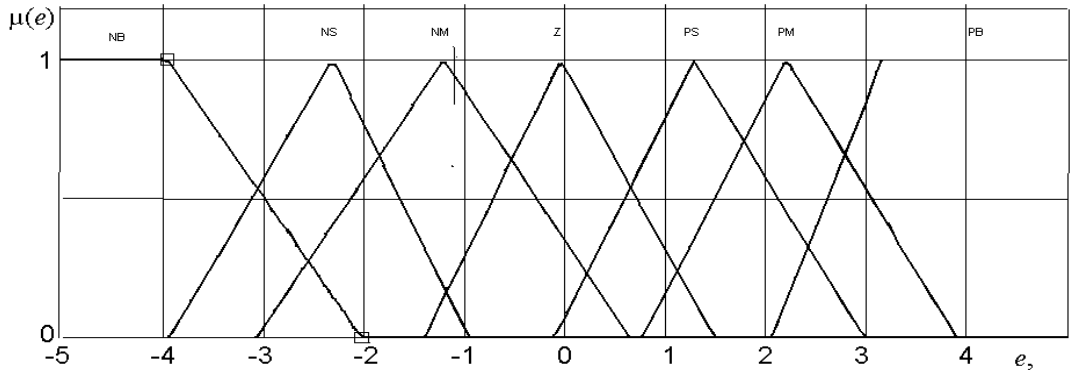


Рис. 4 Функции принадлежности ЛП « ошибка»

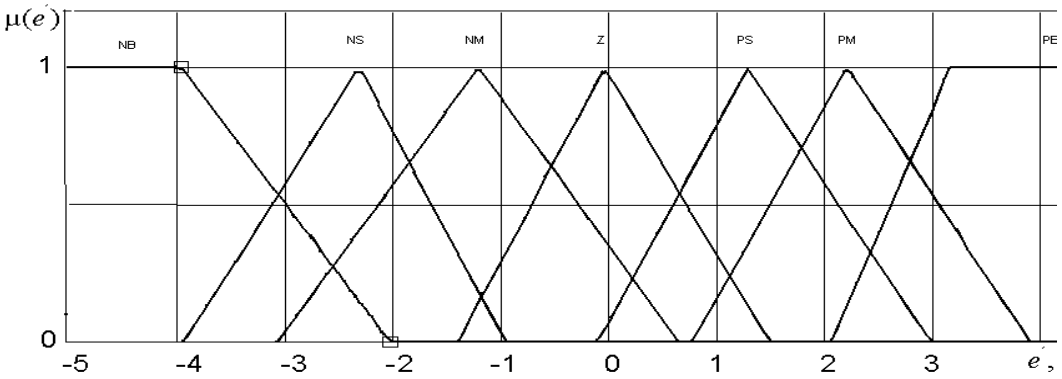


Рис. 5 Функции принадлежности ЛП « производная ошибки»

 ISBN 7-776-8361-7

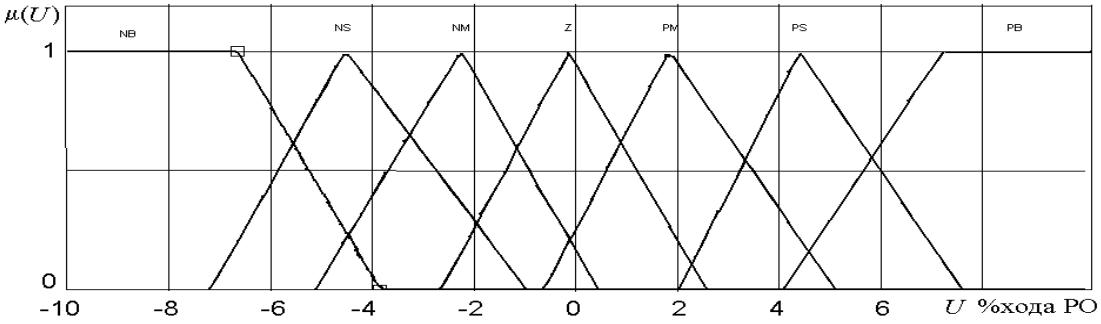


Рис. 6 Функции принадлежности ЛП « управляющее воздействие»

Правила нечеткого регулятора составлены в виде следующих суждений (табл. 1):
ЕСЛИ $e(t)$ NM , И $e'(t)$ NM, ТО $U_e(t)$ NM, ИНАЧЕ;
ЕСЛИ $e(t)$ NB, И $e'(t)$ NB, ТО $U_e(t)$ NB и т.д.

Таблица 1

ТЛП регулятора

Отклонение $e(t)$	Производная от отклонения, $e'(t)$						
	NB	NS	NM	Z	PM	PS	PB
	$U_e(t)$						
NB	NB	NB	NB	OS	Z	PM	PS
NS	NS	NS	NS	NM	PM	PM	PS
NM	NS	NM	NM	Z	Z	PM	PS
Z	NS	NM	NM	Z	PM	PM	PS
PM	NM	NM	Z	Z	PM	PM	PS
PS	NM	NM	Z	PM	PS	PS	PS
PB	NS	NM	Z	PS	PS	PB	PB

Апробация эффективности базы правил нечеткого регулятора с объектом регулирования (Plant and Actuator) проведена в программе Simulink (рис.7). Переходный процесс представлен на рис.8.

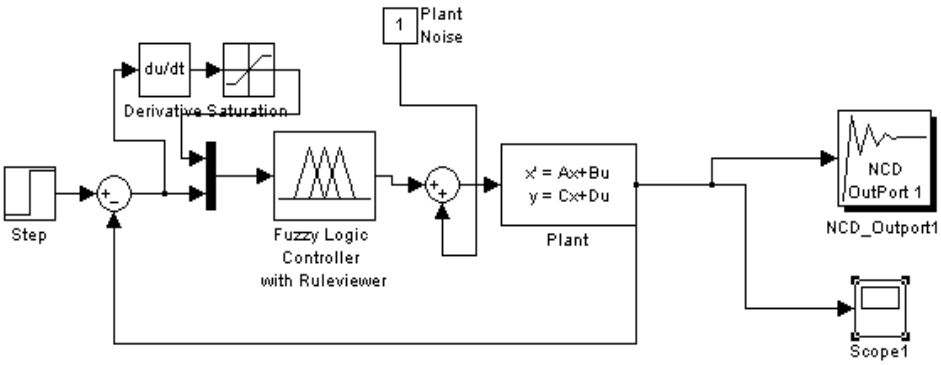


Рис. 7. Структурная схема САР с нечетким регулятором (Fuzzy Logic Controller)

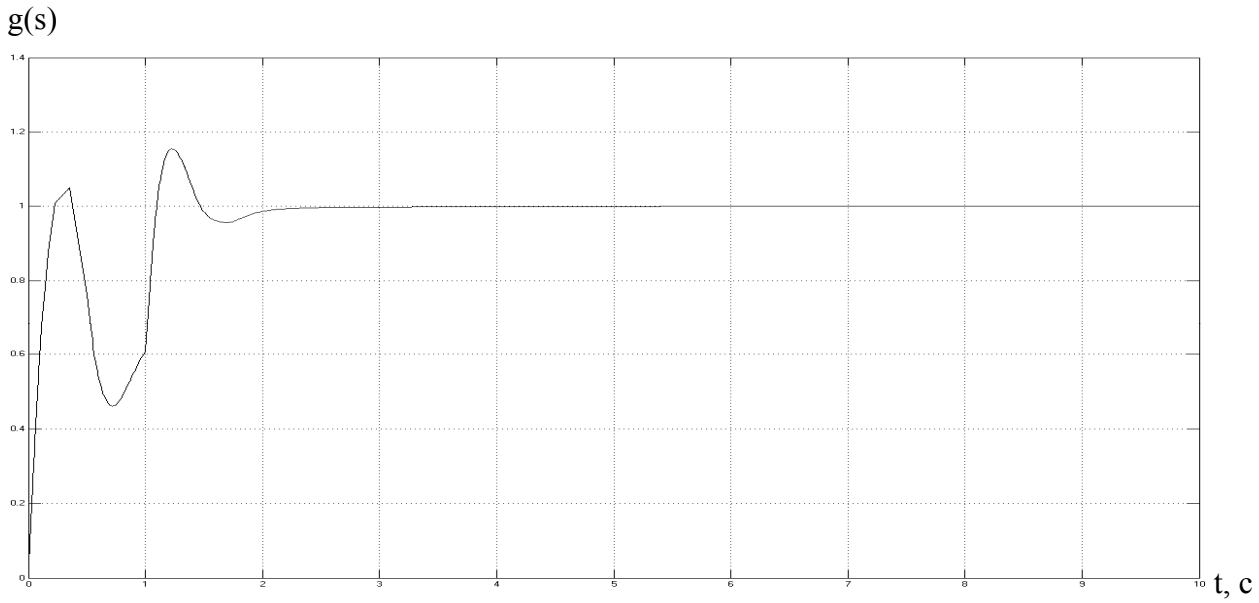


Рис.8 Переходный процесс нечеткой САР по каналу задания

Как видно, из рис.3 и 8, т.е обе систему регулирования функционируют одинаково хорошо в ситуации неизменных значений параметров объекта (элементы матрицы А постоянны). Для проверки эффективности комплексной и нечеткой САР, в неопределенной ситуации, проведем эксперимент с введением фактора неопределенности, когда все элементы матрицы А будут изменяться от половины до двух своих номинальных значений (рис.9).

Приходные процессы комплексной и нечеткой САР представлены на рис.10. Анализ процессов показывает, что при одинаковых условиях работы, нечеткий регулятор демонстрирует отсутствие запаздывания и меньшее значения перерегулирования по сравнению с комплексным регулятором.

С учетом того, что массовая промышленная реализация фильтров Калмана затруднена, а настройка регулятора сложной структуры, в процессе пуско-наладочных наладочных работ на объекте, требует участия высококвалифицированного обслуживающего персонала, можно сделать вывод о предпочтительном использовании нечетких контроллеров обладающих простотой реализации конструкции и универсальными алгоритмами программирования.

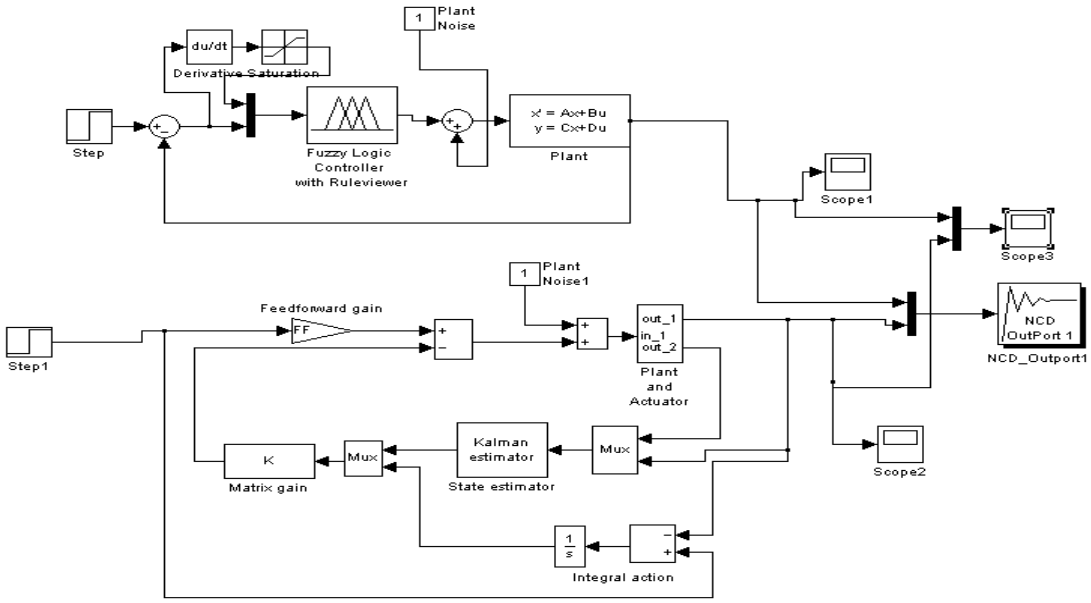


Рис.9 Структурная схема комплексной и нечеткой САР

 ISBN 7-776-8361-7

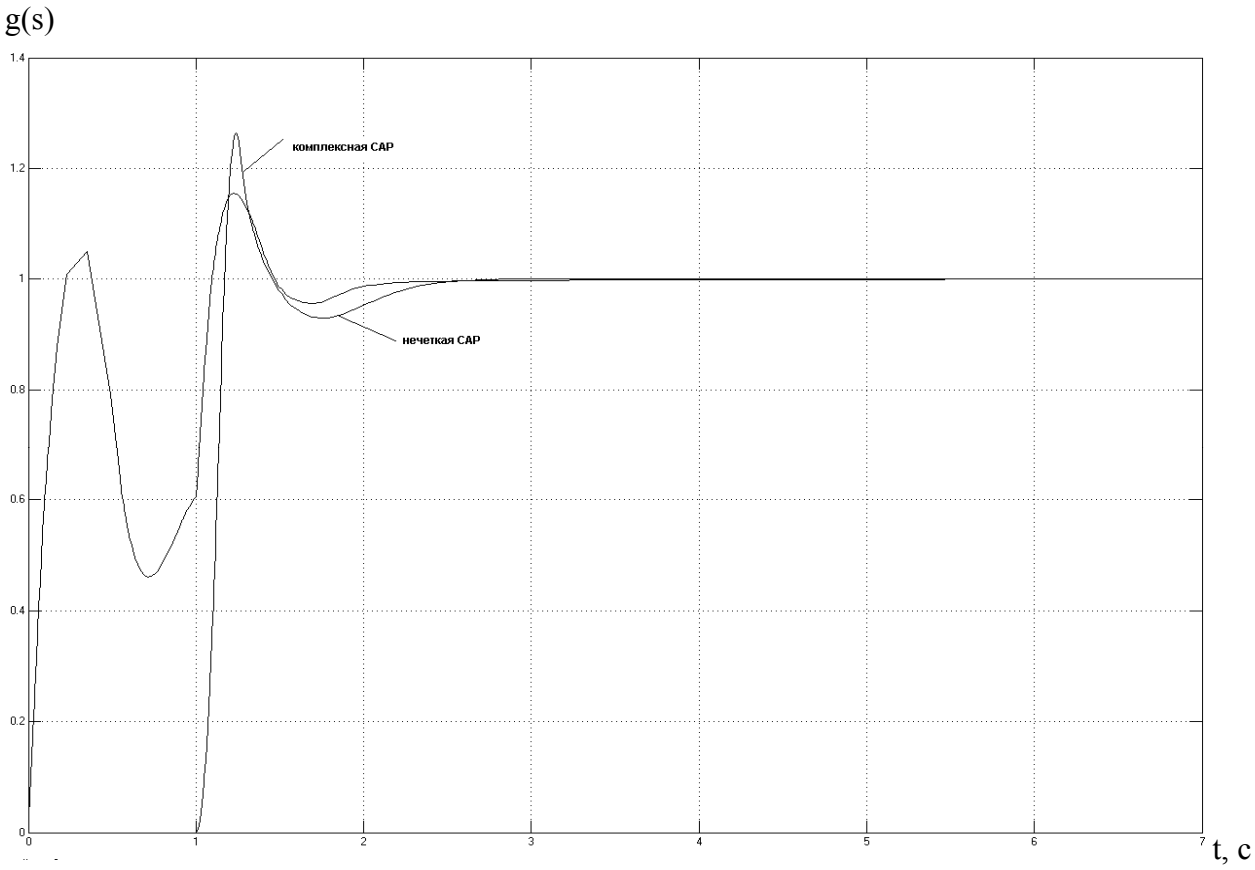


Рис.10 Переходные процессы комплексной и нечеткой САР по каналу задания

The article deals with application of complex system automatic control and fuzzy system control for difficult object. The effect of investigation is elaboration of fuzzy algorithms which have effective regulation in indefinite conditions.

1. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта //Под. ред. Д.А. Поспелова. - М.: Радио и связь,1982. - 490 с

2. Белов В.В. «Разработка и исследование методов и схем беспоисковой оптимизации АСР в теплоэнергетике на основе анализа ошибок регулирования»: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук, Иваново 1984 г.

3. Ротач В.Я., Клюев А.С. Автоматизация настройки систем управления. М.: Энергоиздат, 1998 – 272 с.

4. Олссон Г., Пьяни Дж. Цифровые системы автоматизации и управления. СПб., 2007. - 577 с.

5. Михайленко В.С. Нечеткие контролеры в системах автоматизированного управления. // Холодильная техника и технология. – 2004. - № 3 (98). – с. 79-82.

6. Дьяконов В. Simulink5/6/7. Специальный справочник. М: ДМК, 2008 - 781с.

МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ АДАПТИВНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

УДК 681.3.06

ВЫБОР КРИТЕРИЕВ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ АДАПТИВНОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ, ЕЕ ПОДСИСТЕМ И ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Балтовский А.А.

Введение

Выбор критериев эффективности автоматизированных систем различного типа определяется целью их создания. В качестве обобщенного показателя выбирается один из производственных показателей: количество выпускаемой продукции; цена единицы продукции; себестоимость продукции; капитальные вложения; производительность труда по валовой продукции, условное высвобождение работающих; расход сырья и энергии; производительность оборудования; рентабельность и т.д.

Постановка задачи и анализ существующих методов.

В настоящее время как в отечественной практике так и за рубежом в качестве критерия эффективности функционирования промышленных производств (ПП) используется [1-3] абсолютная прибыль предприятия, которая характеризуется разницей между выручкой от реализации продукции и затратами (полная себестоимость продукции и непроизводственные расходы).

Прибыль отражает результат действия трех основных показателей развития производства: роста выпуска продукции; улучшение качества продукции; снижение себестоимости продукции.

Задача управления ПП состоит в том, чтобы найти оптимальное сочетание этих показателей.

Однако сама по себе абсолютная величина прибыли еще не характеризует эффективность хозяйственной деятельности ПП, поскольку отражает только лишь величину текущих издержек производства и не учитывает объема применения производственных фондов.

Решение задачи

Нами установлено, что наиболее полно все стороны производственной деятельности предприятия отражает показатель рентабельности, рассматриваемый как отношение прибыли к сумме основных и оборотных средств. Преимущество предлагаемого показателя состоит в том, что он увязывает воедино текущие затраты и объем общественного авансирования, отражает снижение себестоимости, рост прибыли, улучшение качества продукции, стоимость производственных фондов, совершенство управления и т.д.

Таким образом, в упрощенном виде функционал качества ведения производства может быть принят в следующей форме:

$$K = \Pi / \left(\Phi_o + \Phi_{об}\right) \qquad (1.2)$$

или

$$K = \Pi / \Phi_{\Sigma} \alpha_{оп},$$

где Π -абсолютная величина прибыли за рассматриваемый период;

 ISBN 7-776-8361-7

Φ_o - стоимость основных фондов;

$\Phi_{об}$ - стоимость оборотных средств;

Φ_Σ - средняя хронологическая сумма производственных основных и оборотных средств за отчетный период;

$\alpha_{оп}$ - коэффициент, характеризующий продолжительность отчетного периода.

Функционал (1.2) в явной форме зависит от усредненных значений начального X_o и планируемого состояний X, а в неявной – от качества управления, методов организации производственного процесса и внешней среды.

Показатель рентабельности является наиболее обобщающим экономическим показателем, характеризую- щим производственную деятельность ПП, соответствует методам хозяйственного расчета и поэтому нами принят в качестве критерия оценки эффективности функционирования ПП. Из формулы (1.2) в частности следует, что основной путь повышения эффективности функцтонирования ПП заключается в экономии материальных, трудо- вых и других ресурсов производства; внедрении более совершенных технологических процессов; совершенствовании организации производства; комплексной механизации и автоматизации производства; сокращении и ликвидации непроизводительных расходов и т.п.

Следовательно, эффективность системы управления производством может быть оценена качественным путем по математическому ожиданию приращения

$$M\Delta K = M_{K_2} - M_{K_1}, \tag{1.3}$$

где M_{K_1} и M_{K_2} - математическое ожидание значения функционала качества ведения производства, соответственно до и после планируемого периода.

Формализуем постановку задачи выбора оптимального варианта автоматизированного технологического комплекса (АТК) для условного ПП.

Математическое ожидание значения K некоторого функционала качества АТК запишем в виде

$$M\{K\} = K_0 \pm M\{\Delta K\}, \tag{1.4}$$

где K - функционал качества идеального гипотетического АТК, имеющего нулевую стоимость, не требую- щего расходов на эксплуатацию, являющегося абсолютно надежным, в котором исключены потери материалов, сырья и энергии, обеспечены оптимальные режимы оборудования и функции управления реализуются безотказно, полностью и своевременно;

ΔK - потери, вызванные затратами на создание АТК и его реальными условиями и результатами функционирования;

Знак в формуле перед выражением для математического ожидания значения ΔK зависит от конкретного содержания функционала качества.

Представим АТК как совокупность технологического объекта (ТО) и системы управления (СУ). Тогда выражение для ΔK можно записать в виде

$$\Delta K = \Delta K_{TO} + \Delta K_{CУ} = (\Delta K_{TO}^{C} + \Delta K_{TO}^{v}) + (\Delta K_{CУ}^{C} + \Delta K_{CУ}^{v}), \tag{1.5}$$

где ΔK_{TO} и $\Delta K_{CУ}$ - потери, вызванные затратами на создание соответственно ТО и СУ, а также их реальными условиями и результатами функционирования;

ΔK_{TO}^{C} и $\Delta K_{CУ}^{C}$ - постоянные составляющие потерь, не зависящие от результатов функционирования ТО и СУ;

ΔK_{TO}^{v} и $\Delta K_{CУ}^{v}$ - переменные составляющие потерь, зависящие от резуль- татов функционирования ТО и СУ.

Элементы ТО в результате декомпозиции можно разбить на l уровней, а элементы, реализующие функции управления СУ на m - уровней. При этом пусть число элементов i -го уровня у некоторого элемента $(i-1)$ уровня ТО и число элементов j -го уровня у некоторого элемента $(j-1)$ уровня СУ соответственно равны:

$$N_{TO}^{i}(n_1, n_2, ..., n_{i-1}); \tag{1.6}$$

$$N_{CУ}^{i}(k_1, k_2, ..., k_{j-1}); \tag{1.7}$$

где n_k и k_n - соответственно номера k -го уровня СУ и n -го уровня ТО.

Положим, что элементы l -го уровня ТО и m -го уровня СУ обеспечивают выполнение некоторых элементарных функций. Вклад этих элементов в общие потери функционала качества можно представить в виде:

$$R_{TO} = R_{TO}^{C} + R_{TO}^{V} = \sum_{i=1}^{i_{TO}} R_{TO}^{(i)C} + \sum_{j=1}^{j_{TO}} R_{TO}^{(J)V)}; \tag{1.8}$$

$$R_{CУ} = R_{CУ}^{C} + R_{CУ}^{V} = \sum_{i=1}^{i_{CУ}} R_{CУ}^{(i)C} + \sum_{j=1}^{j_{CУ}} R_{CУ}^{(J)V)}, \tag{1.9}$$

где R_{TO} и $R_{CУ}$ - вклад в общие потери соответственно элементов ТО и СУ;

R_{TO}^{C}, $R_{CУ}^{C}$ - постоянная часть потерь соответственно для элементов ТО и СУ.

R_{TO}^{V}, $R_{CУ}^{V}$ - переменная часть потерь;

$R_{TO}^{(i)C}$, $R_{CУ}^{(i)C}$ - i -я составляющая постоянной части потерь;

$R_{TO}^{(J)V)}$, $R_{CУ}^{(J)V)}$ - j -я составляющая переменной части потерь;

$j_{TO}, j_{CУ}$ - число составляющих переменной части потерь.

Учитывая выражения (1.6 – 1.9) , запишем формулы для расчета потерь ΔK_{TO} и $\Delta K_{cу}$:

$$\Delta K_{TO} = \sum_{n_1}^{N_{TO}^{(1)}} \sum_{n2}^{N_{TO}^{(2)}} ... \sum_{n_{l1}}^{N_{TO}^{(l)}} \{ \sum_{n_1}^{(i)_{TO}} R_{TO_{n1,n2,...,ni}} + \sum_{j=1}^{j} R_{TO_{n1,n2,...,ni}} \} \tag{1.10}$$

$$\Delta K_{CУ} = \sum_{k_1=0}^{N_{CУ}^{(1)}} \sum_{k2=0}^{N_{CУ}^{(2)}} ... \sum_{k_{lm1}=0}^{N_{CУ}^{(l)}} \{ \sum_{i=1}^{i_{CУ}^{)}} R_{CУ_{k1,k2,...,ki}} + \sum_{j=1}^{j_{CУ}} R_{CУ_{n1,n2,...,ni}}^{(j)v} \}, \tag{1.11}$$

где $k_i = 0$ соответствует координирующим элементам системы управления.

Выражения (1.8), (1.9), (1.10), (1.1) могут быть использованы, для оценки эффективности АТК, ТО, СУ, сравнения различных их вариантов, выбора оптимального варианта АТК, ТО, СУ.

 ISBN 7-776-8361-7

Метод косвенной оценки обобщенного показателя качества функционирования подсистем ААСУ ПП.

Оценка качества функционирования соответствующей ПС ААСУ ПП может быть сведена к предложенной нами [4] оценке качества выходных сигналов, находящихся в зависимости от начального состояния ПС управления, надежностных характеристик вычислительных систем (ВС) и входных сообщений $\bar{a}_{ij}$. Для η реализации $(\eta = 1, 2, ..., \eta^*)$ эта зависимость имеет вид

$$\{\bar{\varphi}\}_0^{T\eta} = \Phi[Y_{0\eta}, \{\alpha\}_0^{T\eta}, \omega_\eta],$$

где $Y_{0\eta}$ - начальное состояние ПС ААСУ в η-реализации;

$\{\bar{a}\}_0^{T\eta}$ – последовательность входных сигналов за время функционирования ПС $(0 - T_\eta)$, упорядоченная относительно времени их поступления;

ω_η - некоторая функция, характеризующая правильность выполнения алгоритмических предписаний.

За обобщенный показатель качества функционирования соответствующей ПС ААСУ можно принять вероятность достижения цели ее функционирования

$$Q = P(H_{ПС}),$$

где $H_{ПС}$ - событие, заключающееся в достижении цели функционирования соответствующей подсистемой.

Величина Q может быть определена путем статистического моделирования с воспроизведением ожидаемого диапазона условий на входе ПС. Факт достижения цели функционирования соответствующей ПС в любой из конкретных η-реализаций $(\eta = 1,2, ..., \eta^*)$ этого процесса можно установить непосредственно или косвенно. Непосредственная оценка возможна при наличии эталонных значений выходных сигналов, $\{\bar{\varphi}_{эт}\}_0^{T\eta}$, для каждой из η - реализаций. Цель функционирований при этом считается достигнутой, если для каждого из компонентов вектора

$$\bar{\varphi}_m \in \{\bar{\varphi}\}_0^{T\eta}$$

справедливо неравенство:

$$\varphi^m_{j\eta} - \varphi^m_{эт\,\eta} \le \Delta^m_{j\eta};$$

$$m = 1, 2, ..., m, ; j = 1, 2, ..., j,$$

где $\Delta^m_{j\eta}$ - допустимое отклонение фактического значения выходного сигнала от эталонного в j –м такте работы η – ой реализации.

На практике сравнительно редко удается установить эталонные значения $\{\bar{\varphi}_{эт}\}^{T}{}_{0\,\eta}$ для любого

$$\{\bar{a}\}_0^{T\eta} \in A,$$

где A — ожидаемый диапазон условий на входе подсистемы ААСУ. В этом случае достижение цели функционирования ПС может быть установлено по эффекту от суммарного воздействия выходных сигналов на управляемый объект, т. е. косвенной оценкой. При этом, если качество всех элементов ААСУ, кроме проверяемой ПС, заведомо удовлетворяет требуемому, то из события $H_{ААСУ}$ следует событие $H_{ПС}$ т.е.

$$P(H_{ПС}) = P[H_{ААСУ} / P(H_k) = 1],$$

где H_k - событие, заключающееся в том, что качество (*k-1)* элемента ААСУ (кроме соответствующей подсистемы удовлетворяет требуемому).

Для проведения статистического моделирования с целью получения обобщенного показателя качества соответствующей подсистемы ААСУ косвенным методом необходимо использовать имитаторы входной информации для соответствующей подсистемы ААСУ и модель управляемого объекта. Качество выходных сигналов соответствующих подсистем ААСУ оценивается по реакции управляемого объекта на эти сигналы. При этом цель функционирования соответствующей подсистемы ААСУ считается достигнутой, если достигнута цель функционирования управляемого объекта.

For the leadthrough of statistical design with the purpose of receipt of the generalized index of quality of the proper subsystem of automatic adaptive control system an indirect method is use the imitators of entrance information for the proper subsystem of automatic adaptive control system and model of the guided object. Quality of output signals of the proper subsystems of automatic adaptive control system is estimated on the reaction of the guided object on these signals. Thus the purpose of functioning of the proper subsystem of automatic adaptive control system is considered attained, if the purpose of functioning of the guided object is attained.

1. Автоматизация управления предприятием / Баранов В.В. и др. - М.: ИНФА-М, 2000. - 239 с.
2. Егоров С.В., Мирахметов Д.А. Моделирование и оптимизация в АСУТП. - Т.: Мехмат,1987. - 200 с.
3. Методы и алгоритмы решения задач оптимизации / В. И. Бойко, Б. К. Бублик, П. П. Зинько. - К.: Высшая школа., 1983. - 512 с.
4. Нагорный Ю.И., Балтовский А.А., Лисяной Г.В. Метод косвенной оценки обобщенного показателя качества функционированмя подсистем ИАСУ // Труды 6 – й НПК „Современные информационные и электронные технологии” (СИЭТ-2006). – Т 1. - С. – 129.

 ISBN 7-776-8361-7

УДК 519.7

ОБ УСТРАНЕНИИ КОЛЕБАТЕЛЬНОСТИ АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ В ПРОМЕЖУТКАХ ДИСКРЕТНОГО ВРЕМЕНИ

Клименко А.К.

1. Постановка проблемы и ее связь с практическими заданиями. Известны автоматизированные технологические объекты (АТО), в которых управление осуществляется по циклически повторяющимся программам. Примерами таких АТО являются металлорежущие станки с программным управлением и станы горячей прокатки. Управляющие программы готовятся в условиях неполной информации об объекте управления и возмущающих воздействиях. Поэтому требуется корректировка управляющих программ как во время их разработки, так и в процессе эксплуатации. Системы, в которых осуществляется такая корректировка, называются системами с изменяемой программой (1), системами с самоустанавливающейся программой [2], самонастраивающимися системами «от детали к детали» [3] и адаптивными системами [4]. В данной статье будем называть их системами с адаптивной корректировкой управляющих программ.

Существуют технологические процессы, в которых измерение ошибки воспроизведения программы возможно лишь в промежутках между циклами ее воспроизведения. Примером может служить обработка деталей сложной форме на станках с числовым программным управлением. При корректировке текущей программы используется информации об ошибках в предыдущих циклах ее воспроизведения. Эти ошибки суммируются с исходной программой при помощи дискретного интегратора.

Имеется ряд проблем, препятствующих практическому применению адаптивных систем этого класса. Эти проблемы отличаются друг от друга. Для их преодоления требуются различные технические решения. Такие решения имеются, но решение конкретной проблемы, как правило, затрудняет решение смежной проблемы или порождает новую проблему. Требуются такие технические решения, которые решают одновременно более одной проблемы и помогают решению других смежных проблем.

В данной работе рассматривается техническое решение двух проблем: обеспечение максимально высокой скорости процесса адаптации и устранение ошибок в промежутках дискретного времени.

2. Анализ известных решений. Было выполнено значительное количество работ по отдельным проблемам адаптивной корректировки циклически повторяющихя управляющих программ. Для пояснения известных технических решений на рис.1 приведена общая структурная схема адаптивной системы. Символами на схеме обозначены: УП – управляющая программа, АТО – автоматизированный технологический объект, ТМР – таймер, ДИ – дискретный интегратор.

Система по рис.1 функционирует следующим образом.

Управляющая программа $x(n)$ состоит из N кадров дискретного времени ($n \in [0, N]$). Она циклически повторяется и не изменяется от цикла к циклу.

АТО является непрерывным, но его выходной сигнал оценивается в дискретные моменты времени:

$$y(n+\gamma),\ 0 \le \gamma \le 1,\ \text{n=0,1,2,…,N},$$

где γ – дробная часть дискретного времени.

Ошибки могут быть измерены как одновременно с выполнением программы (на прокатном стане), так и в промежутках между циклами (металлорежущие станки). Ошибка каждого цикла воспроизведения программы регистрируется в буферной памяти. Регистрируется только ее значения в привязке к дискретным моментам времени:

$$\varepsilon_\nu(n) = x(n) - y_\nu(n), \quad n \in [0, N],$$

где ν – номер цикла воспроизведения программы.

На основании зарегистрированной ошибки в формирователе вычисляется и подается на вход дискретного интегратора поправка на программу $\Delta c_\nu(n)$.

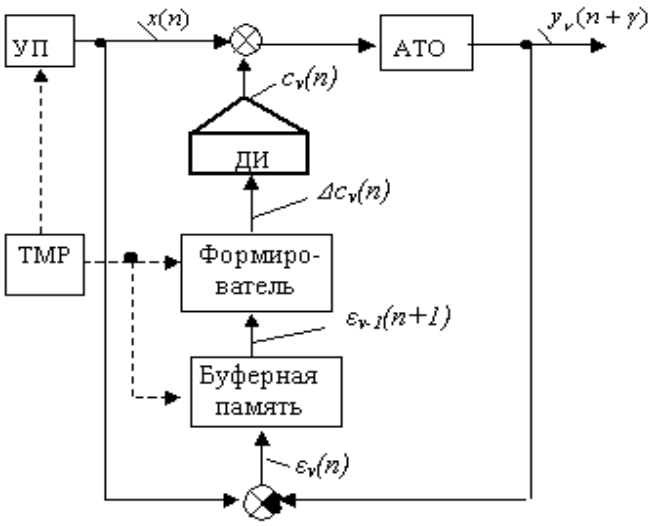


Рис. 1 Общая структурная схема адаптивной системы

Корректировка программ в общем случае осуществляется по формуле

$$c_\nu(n) = c_{\nu-1}(n) + \Delta c_\nu(n) = c_{\nu-1}(n) + \gamma_\nu f\{\varepsilon_{\nu-1}(n)\}, \; n \in [0, N], \; \nu=1,2,\ldots, \qquad (1)$$

где $c_\nu(n)$ – корректирующий сигнал, γ_ν – коэффициент усиления в контуре адаптивной корректировки, $\varepsilon_{\nu-1}(n)$ – ошибка предшествующего цикла воспроизведения управляющей программы, $f\{\cdot\}$ – функция, определяемая этой ошибкой и обеспечивающая сходимость процесса ее минимизации.

Ошибки изготовления деталей состоят из регулярной и случайной составляющих. Последняя является центрированной аддитивной. Источником ее могут выступать как процесс обработки деталей сложной формы, так и ошибки автоматического измерения размеров последних. Если статистические характеристики регулярной составляющей возмущающего воздействия и случайной помехи стационарны, целью адаптации является формирование корректирующего сигнала, обеспечивающего сведение к нулю регулярной составляющей ошибки. Для этого требуется сходимость процесса (1).

В данной работе рассматривается задача обеспечения сходимости процесса (1) в предположении, что случайные возмущающие воздействия отсутствуют. На обеспечение сходимости в области случайных возмущений требуется уменьшение от цикла к циклу коэффициента усиления γ_ν в контуре адаптации, на что имеются известные технические решения.

Как было показано Андрейчиковым Б.И. [5], при реализации контура адаптации на аналоговых средствах автоматики и вычислительной техники процесс адаптации сходится на первых циклах воспроизведения программ и неизбежно расходится в последующих. Позднее было установлено, что сходимость в аналоговых системах может быть установлена при использовании в контуре адаптации обратной модели (ОМ) АТО. Но, как известно, идеальная обратная модель реального динамического объекта физически неосу-

 ISBN 7-776-8361-7

ществима. Поэтому проблема обеспечения сходимости процесса адаптации в аналоговых системах не нашла законченного решения.

В системах с квантованным по времени представлением информации имеются технические решения, но и они обладают существенными недостатками. В работе [6] предложена адаптивная система, в которой в качестве формирователя корректирующего сигнала используется безынерционное динамическое звено. В этом техническом решении даже при оптимизации коэффициента усиления для завершения процесса адаптации требуется N циклов корректировки программы, где N – количество кадров в программе, что недопустимо. Кроме того, после обеспечения сходимости остаются ошибки в промежутках дискретного времени.

В работе [7] показано, что в системе по рис.1 можно обеспечить полную корректировку программы уже после одного цикла ее воспроизведения. Для этого необходимо осуществить ОМ АТО на средствах дискретной вычислительной техники и обеспечить ввод корректирующего сигнала с упреждением на один такт дискретного времени. Указанная ОМ должна удовлетворять следующему требованию: переходная характеристика комплекса из последовательно соединенных ОМ и АТО в дискретном времени имеет вид:

$$h_k(n) = \begin{cases} 1 \ \textit{при} \ \ n \geq 1, \\ 0 \ \textit{при} \ \ n \leq 0, \end{cases} \tag{2}$$

где n – дискретность времени.

Однако технического решения дискретной ОМ, удовлетворяющей условию (2), в то время не было найдено. В последние годы на базе возможностей компьютерных технологий было найдено такое решение ОМ. Оно защищено авторским свидетельством [8], а теоретическое обоснование его приведено в [9].

Недостатком ОМ [8,9] является то обстоятельство, что она выполнена в виде замкнутой импульсной системы. Как показано в [10], такие системы обладают колебательностью в промежутках дискретного времени и требуется применение специальных технических решений для их устранения. Поэтому применение ОМ [9] в адаптивной системе по рис.1 приводит к колебательности АТО в промежутках дискретного времени без нарушения условия сходимости (2). На рис.2 показаны временные характеристики ОМ [9] и АТО при работе их в адаптивной системе.

В работе [11] предложено техническое решение по устранению колебательности замкнутых импульсных систем в промежутках дискретного времени. Оно заключается в том, что входной или выходной сигнал системы пропускается по двум параллельным каналам с различными коэффициентами передачи. В одном из этих каналов помещен элемент задержки на один такт дискретного времени. Это техническое решение применимо к ОМ [9], но порождает новую проблему: условие сходимости за один цикл (2) нарушается.

Целью данной работы является разработка такой системы адаптивной корректировки управляющих программ, в которой одновременно обеспечиваются скорость сходимости за один цикл и устранение колебательности в промежутках дискретного времени. Базой для достижения этой цели является использование результатов выполненных ранее работ.

3. Исходные данные и постановка задачи. Предполагается, что АТО непрерывный, линейный и стационарный. В качестве его исходного математического описания используется переходная характеристика (ПХ), называемая также кривой переходного процесса. Последняя может быть получена как из передаточной функции АТО с использованием обратного преобразования Лапласа, так и экспериментально.

Контур адаптации в системе функционирует в дискретном времени. Для решения задач в дискретном времени используется импульсная переходная функция (ИПФ) АТО, которая является реакцией последнего на входное воздействие в виде кратковременного импульса единичной площади. ИПФ может быть получена из ПХ по формуле:

$$k(n,\gamma)=k(n+\gamma)=h(t)\Big|_{t=nT+\gamma}-h(t)\Big|_{t=nT-T+\gamma}\ ,n=\in[0,N_1], \qquad (3)$$

где t – непрерывное время,

$h(t)$ – ПХ АТО,

T – дискретность (шаг квантования) времени,

n – дискретное время ($n=\bar{t}/T$, где $\bar{t}$ – моменты непрерывного времени, кратные T),

γ – дробная часть дискретного времени,

N_1 – время затухания ИПФ АТО (($k(n,\gamma)\big|_{n>N_1}=0$).

На вход АТО, который является аналоговым, поступают в дискретном времени управляющая программа и выходной сигнал дискретного интегратора. Для определения выходного сигнала АТО по входному может быть использована известная [12] формула свертки:

$$y(n+\gamma)=\sum_{m=0}^{N_1}c(n-m)k(m+\gamma)\,,n=0,1,2,...\,, \qquad (4)$$

где $c(n\text{-}m)$ – входной сигнал,

$y(n+\gamma)$ – выходной сигнал,

m – переменная суммирования.

Измерение ошибок управления производится в дискретные моменты времени без временного смещения, т.е. когда для выходного сигнала АТО справедливо выражение:

$y(n)=y(n+\gamma)\big|_{\gamma=0}$.

При выполнении данной работы используется известная из [9] ОМ АТО. Она описывается математической зависимостью:

$$c(n)=\left\{x(n)-\sum_{m=1}^{N_1}c(n-m)k(m+\tau)\right\}/k(\tau)\,,\ 0<\tau\le 1\,, \qquad (5)$$

где $c(n)$ и $x(n)$ – соответственно выходной и входной сигналы ОМ,

τ – конструктивный временной сдвиг, обеспечивающий работоспособность и устойчивость ОМ,

$k(\tau)=k(n+\tau)\big|_{n=0}$ – первое из используемых значений ИПФ АТО.

При использовании ОМ в адаптивной системе наилучшим конструктивным временным сдвигом является $\tau=1$. Тогда математическая зависимость (5) получает вид:

$$c(n)=\left\{x(n)-\sum_{m=1}^{N_1}c(n-m)k(m+1)\right\}/k(1)\,. \qquad (6)$$

ОМ, описываемую выражением (6), дальше будем называть исходной обратной моделью и обозначать символом ИОМ.

Если ИОМ (6) использовать в качестве формирователя корректирующего сигнала в адаптивной системе по рис. 1, то в последней выполняется условие (2), процесс адаптации заканчивается за один цикл, но в промежутках дискретного времени неизбежно возникают колебания. Частота колебаний равна двум тактам дискретного времени. Сами колебания приближенно имеет вид затухающей синусоиды. Это объясняется следующим обстоятельством. Выходной сигнал формирователя поправки или дискретного интегратора имеет вид прямоугольных импульсов, т.е. может рассматриваться как сумма нечетных гармоник. Первая гармоника является наибольшей по амплитуде и наименьшей по частоте. АТО выполняет роль фильтра, пропускающего первую гармонику и подавляющего остальные до пренебрежимо малой величины

Для пояснения природы появления колебаний на рис.2 изображены переходные характеристики ИОМ $h_{om}(n)$ и комплекса «ИОМ-АТО» $h_k(n+\gamma)$ при работе в адаптивной системе по рис.1.

 ISBN 7-776-8361-7

Общей задачей данной работы является разработка методики создания адаптивной системы со скоростью сходимости в один цикл и отсутствием колебательности в промежутках дискретного времени. Она разделяется на две подзадачи.

Во-первых. По характеристикам ИОМ и параметрам переходной характеристики комплекса «ИОМ-АТО» создается скорректированная ОМ (СОМ), обеспечивающая устранение колебательности переходной характеристики комплекса «СОМ-АТО». Устранение колебательности осуществляетя по изложенной в [11] методике, недостатком которой является потеря комплексом условия сходимости (2).

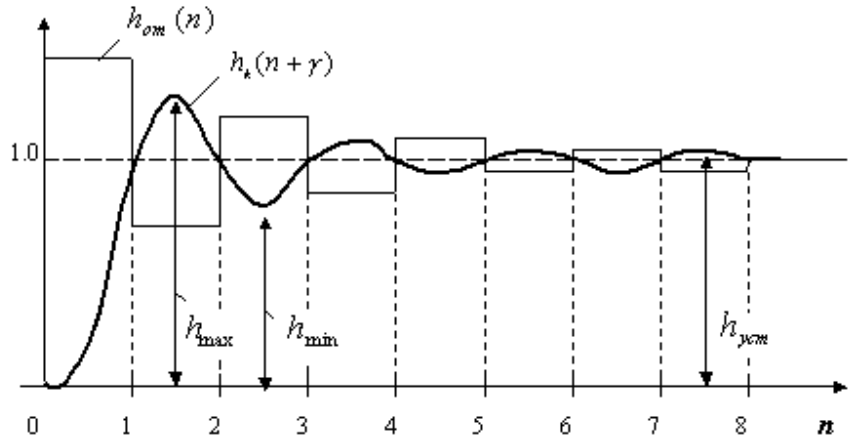


Рис. 2 Переходные характеристики ИОМ и комплекса «ИОМ-АТО»

Во-вторых. Для обеспечения выполнения условия сходимости (2) в точку измерения ошибки адаптивной системы по рис.1 вводится элемент квантования по времени, период которого в два раза больше периода работы ИОМ. В этом случае условие сходимости (2) преобразуется к виду:

$$h_2(m) = \begin{cases} 1 \ \ при \ \ m \geq 1, \\ 0 \ \ при \ \ m \leq 0, \end{cases} \tag{7}$$

где $h_2(m)$ – ПХ комплекса “СОМ-АТО”,

m – удвоенная дискретность времени ($m = \bar{t} / T_2$, где $T_2 = 2T$).

Указанные подзадачи решены в данной работе.

4. Изложение результатов исследования. СОМ создается на базе ИОМ, описываемой выражением (6) , с устранением колебательности по методике [11].

Структурная схема СОМ приведена на рис.3

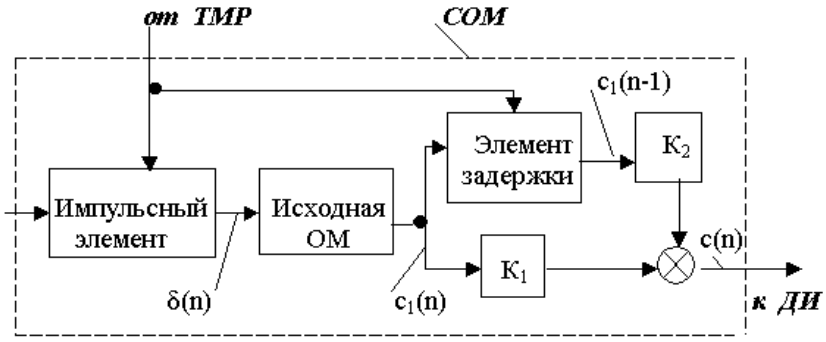


Рис. 3 Структурная схема скорректированной ОМ (СОМ).

Для устранения колебательности в промежутках дискретного времени введены элемент задержки на один такт дискретного времени и два безынерционных звена с коэффициентами передачи K_1 и K_2. Выходные сигналы дополнительных звеньев суммируются и подаются на вход ДИ. Сигнал на вход ИОМ поступает через импульсный элемент. Для обеспечения работы импульсного элемента и элемента задержки на них подаются тактовые импульсы с таймера ТМР с периодом T.

Важной операцией при создании СОМ является определение численных значений коэффициентов передачи введенных звеньев K_1 и K_2. Способ определения этих значений, изложенный в работе [11], является трудоемким, т.к. требует аналитических преобразований.

Для упрощения этой операции предлагается численный метод ее выполнения. Он состоит в следующем. На основании математического описания АТО в виде ИПФ (3) осуществляется его ИОМ по формуле (6). Затем создается инструментальная схема в виде комплекса “ИОМ-АТО”. В качестве АТО может выступать его модель, реализующая формулу свертки [4]. Затем строится ПХ комплекса $h_k(n+\gamma)$. Ее типовой вид показан на рис.2. Основными параметрами ПХ являются максимальное значение $h_{\max}$, минимальное $h_{\min}$ и установившееся $h_{уст}$. Указанные параметры обладают свойствами: $h_{\max}>1$, $h_{\min}<1$, $h_{уст}=1$. Кроме того, численные значения ПХ в дискретные моменты времени, начиная с первого, равны единице, т.е.

$$h_k(n)\big|_{n\geq 1} = h_{уст} = 1. \qquad (8)$$

Изображенная на рис.2 ПХ имела бы место и применительно к комплексу “СОМ-АТО” в том случае, когда коэффициент передачи звена в прямом канале $K_1=1$, а в канале с временной задержкой $K_2=0$. В обратном случае, т.е. при $K_1=0$, а $K_2=1$, ПХ имеет такой же вид, но со сдвигом вправо на один такт дискретного времени.

На рис.4 показана ПХ комплекса “СОМ-АТО” тогда, когда действуют одновременно прямой канал и канал с задержкой. Цифрами на рисунке обозначены: 1- общая ПХ, 2 - составная часть ПХ, порождаемая сигналом канала с задержкой, 3 - составная часть, порождаемая прямым каналом. В этом случае полезные составляющие процесса складываются, а колебательные – взаимно подавляются.

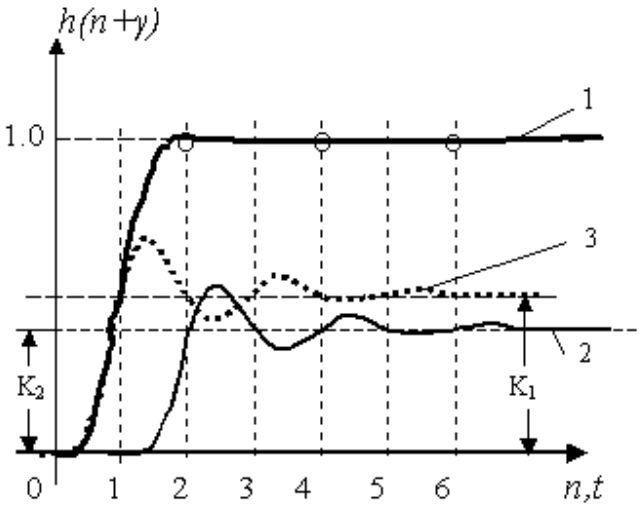


Рис. 4 К пояснению устранения колебаний в адаптивной системе.

Если сумма этих коэффициентов

$$K_1+K_2=1, \qquad (9)$$

 ISBN 7-776-8361-7

то, учитывая (8), числовые значения ПХ в дискретные моменты времени, начиная со второго, также равны единице, т.е.

$$h_k(n)\big|_{n\geq 2} = h_{уст} = 1. \qquad (10)$$

Для устранения колебания в промежутке между вторым и третьим моментами дискретного времени сумма максимального значения кривой 2 и минимального значения кривой 3 согласно рис.4 должна быть равна единице. Это имеет место тогда, когда коэффициенты передачи звеньев K_1 и K_2 удовлетворяют уравнению

$$K_1 h_{\max} + K_2 h_{\min} = 1. \qquad (11)$$

Решая систему из уравнений (9) и (11), получим те значения коэффициентов, при которых устраняется колебательность комплекса “СОМ-АТО” с одновременным соблюдением условия (10) :

$$K_1 = \frac{1 - h_{\min}}{h_{\max} - h_{\min}} \quad , \quad K_2 = \frac{h_{\max} - 1}{h_{\max} - h_{\min}}. \qquad (12)$$

Из формул (12) следует, что величины коэффициентов могут изменяться в определенных пределах в зависимости от колебательности исходного комплекса “ИОМ-АТО”. Если колебательность отсутствует, т.е. $h_{\max} = 1$, то потребность в звене с временной задержкой отпадает, а коэффициенты получают значения $K_1 = 1$, $K_2 = 0$. Если же колебания имеются и не угасают, т.е. $h_{\max} - 1 = 1 - h_{\min}$, то $K_1 = K_2 = 0.5$.

А теперь рассмотрим подзадачу обеспечения сходимости процесса адаптации за один цикл, когда необходимо выполнение условия (2) для комплекса “СОМ-АТО”. У нас же справедливо соотношение (10), при котором в общем случае $h_k(n)\big|_{n=1} \neq 1$.

Предлагается следующее решение задачи. Как видно из рис.4, все значения ПХ комплекса “СОМ-АТО” для четных моментов времени, как это отмечено кружочками, равны единице. Поэтому, для обеспечения выполнения условия (2), ошибку адаптивной системы следует регистрировать только в четные моменты дискретного времени *n*. Это равносильно введению в адаптивный контур нового дискретного времени *m*, шаг квантования которого в два раза больше дискретности работы ИОМ:

$$m = \frac{\bar{t}}{T_2}, \; T_2 = 2T, \qquad (13)$$

где T – дискретность ИОМ, $\bar{t}$ – моменты непрерывного времени, кратные T_2.

При введении нового дискретного времени *m* в соответствии с (13) условие (2) обеспечения сходимости процесса адаптации за один цикл, уже применительно к комплексу “СОМ-АТО”, получает вид:

$$h_k(m) = h_k(n)\big|_{n=2m} = \begin{cases} 1 \; при \;\; m \geq 1, \\ 0 \;\; в\, остальных\, случаях. \end{cases}$$

Таким образом, обе поставленные в данной работе подзадачи решены – колебательность адаптивной системы в промежутках дискретного времени устранена при сохранении скорости сходимости процесса адаптации за один цикл.

Для иллюстрации полученных результатов на рис.5 приведена структурная схема улучшенной адаптивной системы. Символом БП на схеме обозначен блок памяти.

С целью устранения ошибок системы в промежутках дискретного времени в адаптивный контур введена СОМ, структурная схема которой изображена на рис.3. Для обеспечения же в системе скорости сходимости в один цикл в таймере ТМР предусмотрены два выхода. С первого из них снимаются и подаются на СОМ опорные сигналы с периодом следования *T*. Со второго выхода на синхровход БП подаются импульсы с удво-

енным периодом следования $T_2 = 2T$. С выхода БП снимаются ошибки предыдущего цикла воспроизведения с периодом T_2 и упреждающим временным сдвигом на один такт.

5. Методика конструирования адаптивной системы.

5.1. При конструировании адаптивной системы в качестве исходного математического описания АТО выступает его переходная характеристика (ПХ), которая может быть получена из передаточной функции или экспериментально.

5.2. Первым конструктивным параметром адаптивного контура является частота регистрации измеряемых ошибок. В общем случае эту частоту можно выбирать в широких пределах, но конструктивно ее наиболее удобно принимать равной половине частоты квантования управляющей программы. В этом случае рабочая частота подлежащей созданию ИОМ будет совпадать с частотой квантования управляющей программы.

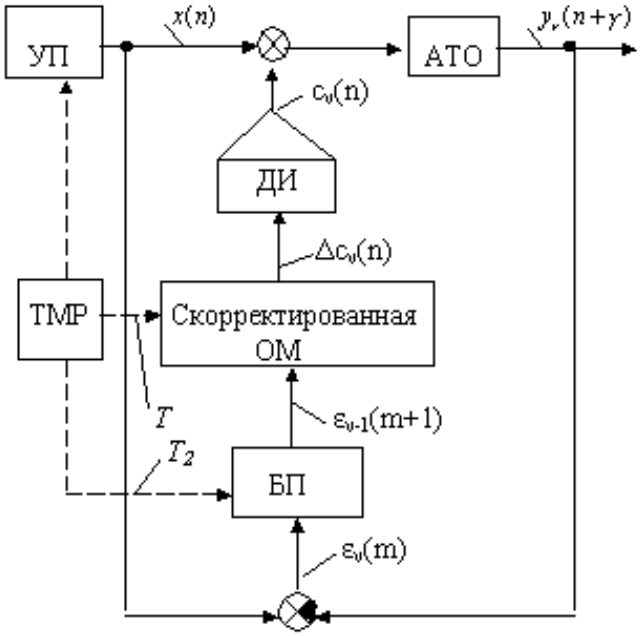


Рис. 5 Структурная схема адаптивной системы без колебательности

5.3. Формируется числовой массив ИПФ АТО по формуле (3).

Создается ИОМ по формуле (6).

5.5. Строится инструментальная модель из последовательно соединенных ИОМ и АТО.

5.6. Строится кривая ПХ инструментального комплекса «ИОМ—АТО», аналогичная изображенной на рис.2. Регистрируются максимальное $h_{\max}$ и минимальное $h_{\min}$ значения ПХ во втором и третьем тактах дискретного времени.

5.7. Вычисляются коэффициенты передачи дополнительных звеньев СОМ по формулам (12) и строится сама СОМ по рис.3.

5.8. Осуществляется адаптивная система по рис.5. Для проверки ее показателей качества строится ПХ последовательно соединенных СОМ и АТО в дискретном времени цепи регистрации ошибки. Полученная ПХ должна соответствовать изображенной на рис.4 кривой 1, но с вдвое большей дискретностью времени.

6. Экспериментальная часть. Изложенное подтверждено электронным моделированием. Отдельные технические решения проверялись с использованием пакета приклад-

 ISBN 7-776-8361-7

ных программ Mathcad. Для моделирования всей адаптивной системы была разработана прикладная компьютерная программа.

7. Выводы по результатам исследований и перспективы.

7.1. В предложенной структурной схеме адаптивной системы решены комплексно две задачи для случая отсутствия помех. Во-первых, обеспечивается скорость сходимости процесса адаптации за один цикл. Во-вторых, в системе устраняются колебания в промежутках дискретного времени.

7.2. Для обеспечения сходимости процесса адаптации при наличии случайных помех в системе по рис.5 может быть непосредственно использован известный [13,14] способ оптимизации коэффициента усиления по результатам статистического анализа зарегистрированных ошибок управления. Такая возможность обеспечивается применением в контуре адаптации системы обратной модели АТО.

7.3. Рассматриваемая адаптивная система не является сложной при практической реализации. Все элементы контура адаптации могут быть выполнены программно. Для уменьшения объема вычислительных операций и используемой памяти при работе системы некоторые вычисления могут быть выполнены еще на стадии проектирования. В частности, скорректированная ОМ может быть преобразована в простое динамическое звено, описываемое числовым массивом ИПФ. В качестве инструмента при выполнении работы по упрощению структурной схемы системы может быть использована ее структурная схема по рис.5.

Полученные результаты могут быть использованы при разработке систем автоматизированного проектирования и отладки программ автоматического управлении дискретно-непрерывными технологическими процессами.

The system of adaptive management of cyclically repeating technological processes with using return model of the automated object is considered. The technical decision on elimination of system oscillations is offered at preservation of high speed of convergence of adaptation process.

1. Ивахненко А.Г. Техническая кибернетика. К: Гостехиздат УССР, 1959. – 423 с.
2. Перельман И.И. Регулирование по принципу самоустанавливающейся программы // Автоматика и телемеханика. – 1958, №9. – С. 813-823.
3. Кобринский А.Е., Колискор А.Ш., Левковский Е.И., Попов В.Е., Сергеев В.И. Самонастраивающаяся система программного управления станками // Вестник АН СССР. – 1965, №9. – С. 52-57.
4. Цыпкин Я.З. Адаптация и обучение в автоматических системах. – М.: Наука, 1968. – 400 с.
5. Андрейчиков Б.И. Динамическая точность систем программного управления станками. – М.: Машиностроение, 1964. – С. 242-267.
6. Перельман И.И. Самонастраивающаяся программа как средство для получения заданной реакции на выходе линейного динамического объекта регулирования // Автоматика и телемеханика. – 1958. – №4. – С.312-320.
7. Клименко А.К. О сходимости процессов адаптации в цифровых системах программного управления станками // Сб. «Адаптивные системы управления металлорежущими станками» / Под ред. А.Е. Кобринского, Сер. С-1. — М.: НИИМАШ, 1971.— С.58-67
8. Клименко А.К., Клименко В.Г. Корректирующее устройство. – Авт. свид. СССР №1406563.– Бюллетень изобретений, №24, 1988.
9. Клименко А.К. Обратная модель для решения задач управления и контроля качества / Методы менеджмента качества // Надежность и контроль качества. – 1999 – №8. – С. 32-39.

10. Franklin G.F., Emami – Naeini A. Design of ripple–free multivariable robust servomechanisms. IEEE Transactions on Automatic Control. – Vol. PC-31. – 1966. P. 661-664.

11. Клименко А.К. Способ повышения качества импульсных следящих систем // Надежность и контроль качества. – 1998. – №3. – С. 18-23.

12. Цыпкин Я.З.Теория линейных импульсных систем. – М.: Физматгиз, 1963. – С.269.

13. Клименко А.К. Об оптимизации коэффициента усиления в адаптивной системе с обратной моделью // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. – 2006, №2. – С.125-131.

14. Клименко А.К. Об ускорении сходимости процессов в адаптивной системе с обратной моделью // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. – 2007, №2. – С.140-146.

 ISBN 7-776-8361-7

УДК 681.322.06

ИНТЕГРАЦИЯ МЕТОДОВ ПРИ СИНТЕЗЕ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ АПРИОРНОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Митрахович М.М.

Введение. В последнее время в отечественной и зарубежной литературе наиболее существенное внимание уделяется методам и способам построения сложных систем, к которым относится, например, вооружение и военная техника (ВВТ) [1-3].

Объективная необходимость применения такой методологии связана с увеличением количества решаемых вооружением задач; разнообразием аппаратуры, применяемой для их решения; увеличением объема обрабатываемой информации и скорости ее обработки. Управление сложным объектом в реальных условиях связано не только со сложностью математического, программного, информационного и технического обеспечения, но и недостаточностью информации необходимой для управления и принятия управленческих решений. Следовательно, проектирование сложных систем в условиях неопределенности относительно входной информации является актуальной задачей.

Традиционно при конструировании сложных систем в условиях неопределенности используют вероятностные подходы, в соответствии с которыми неопределенность описывается некоторой мерой, характеризующей возможность проявления наперед заданных исходов. Эти методы излагаются в известной литературе [3, 4].

Для получения удовлетворительных характеристик систем управления в последнее время появился целый ряд методов, основанных на принципах структурной и параметрической адаптации управляющих устройств [4-7]. Эти методы развиваются в рамках прямых или непрямых подходов к задаче синтеза алгоритмов адаптации систем. В тоже время известность приобретают и методы, в которых предпочтение отдается достоверности получаемых результатов в условиях неопределенности, другими словами, получению гарантированного результата [1]. Вопрос применения этих методов в задачах синтеза сложных систем не считается изученным полностью.

В статье предлагается сравнительный анализ различных методов, основанных на принципах нечеткой логики, адаптации и обучения, используемых для построения сложных систем, и исследование возможности их интеграции.

Постановка задачи. Как известно, возможность точного математического описания сложной системы отсутствует [1, 3, 4]. Классический подход к синтезу сложной системы, предполагающей иерархическое построение, состоит в разбиении большой системы на более мелкие компоненты: уровни, подсистемы, блоки и т.д., к которым далее применяются известные методы проектирования [2]. Поэтому сложную систему, как это обычно делают при проектировании вооружения и военной техники, разбивают на подсистемы, каждую из которых представляют соотношением [5]

$$S = \{X,\ R\}, \tag{1}$$

где $X=\{x_1,\ldots, x_n\}$ – множество элементов x_i системы, а R обозначает закономерности поведения системы, включающие правила действия с элементами x_i, взаимосвязи между различными x_i, соотношения между X и внешней средой, ограничения и управления.

Для реализации сложной системы необходимо также знать выходную величину системы – выходной вектор $Y^{\mathrm{T}}=(y_1, \ldots, y_m)$, алгоритм нахождения которого обычно составляется в терминах ″вход-выход″. При заданных множествах X, R, этот алгоритм представляет отображение

$$f : \{X, R\} \xrightarrow{u_i} Y, \tag{2}$$

где u_i – управляющее воздействие в подсистеме. Наиболее типовая ситуация управления, когда R известно лишь приближенно. Тогда результаты наблюдения за X и Y могут быть использованы для коррекции алгоритма управления, в части множества R.

В практике построения систем управления сложными объектами получила широкое распространение триада критериев: эффективность-стоимость-время (*Э-S-T*). Кроме того, следует отметить, что в вооружении и военной технике более предпочтительным является задача, когда главным критерием используется стоимость, а два других выступают в качестве ограничений [3]

$$\begin{aligned} &S \to \min, \\ &Э \geq Э_{зад}, \\ &T \leq T_{зад}. \end{aligned} \tag{3}$$

В качестве показателей эффективности для систем управления обычно выбирается точность воспроизведения задания.

Задача синтеза системы управления сложной системы состоит в том, чтобы построить такой алгоритм управления, который обеспечивает достижение целей (3) сложной системой (1) с закономерностями (2).

Методы решения. В соответствии с принятой моделью сложная система включает в себя источник информации, систему управления, орган управления и принятия решений, управляемый объект, среду, оказывающую воздействие на объект управления. Орган управления вынужден действовать в условиях неопределенности, вызванной главным образом недостатком опыта и знания факторов, влияющих на процесс принятия решений, кроме того, в сложных системах присутствуют временные или же пространственные ограничения при принятии решений. Существующие подходы к синтезу систем в условиях неполной информации опираются на методы нечеткой логики, методы адаптации, методы обучения.

Методы нечеткой логики. В системах с нечеткой логикой по информации, выраженной в лингвистической форме, ставится задача формирования управляющего воздействия на объект управления. Текущая информация y_α, y_i (рис. 1) о функционировании системы с помощью процедуры фаззификации преобразуется в лингвистические величины вида отрицательная, положительная, большая, средняя, малая для формирования лингвистической переменной, например, ошибка. В нечетком вычислительном устройстве (контроллере) с помощью базы правил ЕСЛИ-ТО осуществляется формирование логического решения. На основании полученного логического решения процедурой дефаззификации получается единственное численное значение управляющего воздействия U на выходе контроллера. Структура системы управления при управлении по принципу нечеткого вывода показана на рис. 1.

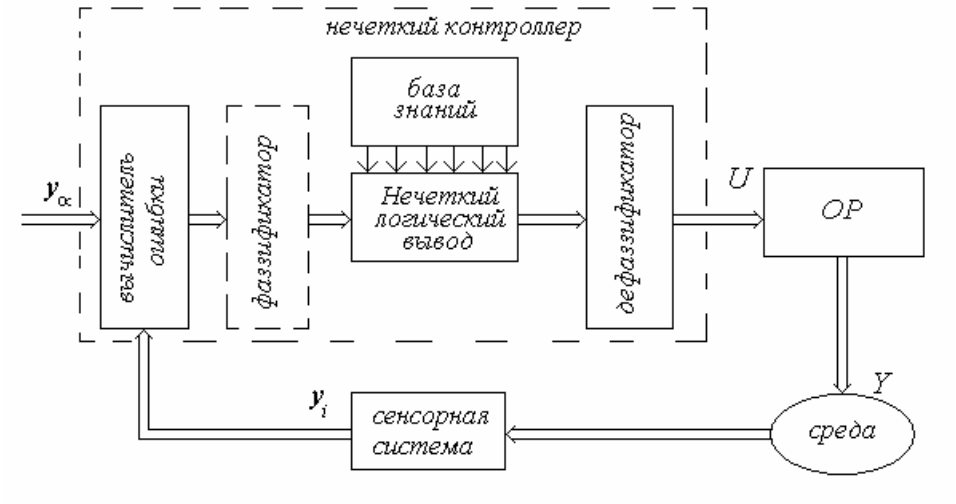


Рис. 1 Структура системы управления с нечеткой логикой

 ISBN 7-776-8361-7

Сложность построения системы с нечеткой логикой заключается в эвристичности алгоритмов фаззификации и дефаззификации. Эту сложность избежать возможно, если в распоряжении конструктора имеется достаточно адекватная функция принадлежности или модель системы. В последнем случае настройка системы управления значительно упрощается, в противном случае он оказывается довольно сложным. Различные варианты алгоритмов фаззификации и дефаззификации представлены в [7]. Кроме того, дополнительную трудность работе контроллера создают помехи и внешние возмущения, вопросы парирования которых не являются изученными до конца [6, 7].

Методы адаптации. Структура типовой адаптивной системы стабилизации объекта в условиях неизмеряемых возмущений ξ_t с использованием для целей управления точечных оценок c_t показана на рис. 2.

Адаптивная система управления построена по иерархическому принципу, в соответствии с которым система управления имеет два уровня. На верхнем уровне расположено устройство, реализующее непосредственно алгоритм адаптивного управления *А* (адаптер), изменяющее вектор настроечных параметров c_t управляющего устройства *УУ*, расположенного на нижнем уровне.

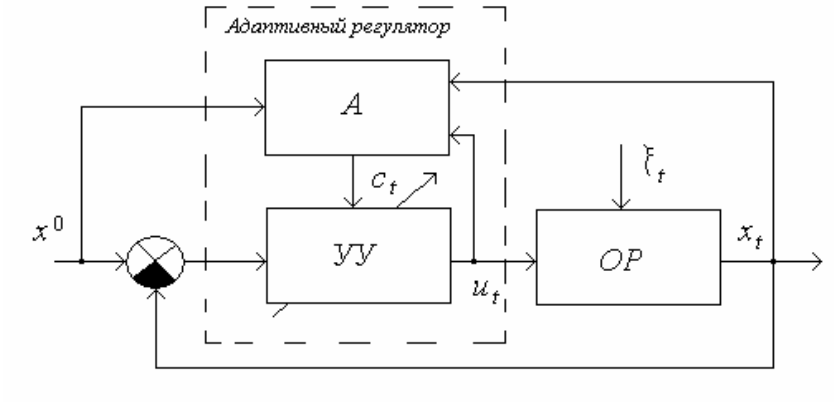


Рис. 2 Структура адаптивной системы управления

Управляющее устройство реализовано по принципу обратной связи, формирует управляющие воздействия u_t так, чтобы компенсировать текущие ошибки системы. Алгоритм нижнего уровня выражен в виде операторного уравнения

$$u_t = f(u_{t-1},\ \theta_t,\ c_t), \tag{4}$$

где $\theta = x_0 - x_t$ – значение текущей ошибки системы. Уравнение (4) называют алгоритмом (законом) управления. Алгоритм верхнего уровня, который в символьной форме может быть представлен так:

$$c_t = F(x^0,\ x_t,\ u_{t-1},\ c_{t-1}), \tag{5}$$

называют алгоритмом (законом) адаптации. Для реализации закона адаптивного управления требуется информация о задающем воздействии, текущем значении управляющего воздействия, формируемого на основании предыдущих значений вектора параметров, и реакция объекта на эти воздействия.

Уравнения (4), (5) определяют алгоритм адаптивного управления. Объект совместно с управляющим устройством образуют основной контур регулятора, а цепь обратной связи, включающая адаптер, образует контур адаптации. Исходя из требований практической реализуемости, для формирования управления u_t и определения вектора подстраиваемых параметров c_t обычно используют конечную часть предыстории процесса настройки параметров.

Методы обучения. Современные методы обучения опираются на алгоритмы обучения распознаванию образов, при этом систему управления конструируют по принципу организации нейронной сети, которая в техническом исполнении представляет нейрокомпь-

ютер. Работы, проводимые в США, Финляндии и других странах по использованию нейрокомпьютеров для управления химическими и ядерными реакторами, для выполнения точного маневра истребителя, управления роботом (прямая, обратная кинематическая и динамическая задачи, планирование маршрута движения робота [7]), подчеркивают актуальность такой организации системы управления.

Структура системы с нейрокомпьютером показана на рис. 3. В нейрокомпьютере *НК* "учебные" векторы x_n подвергаются весовой обработке, в результате которой формируется управляющее воздействие u, поступающее на объект управления *ОР*. Начальные значения весов w_n задаются произвольным образом, в дальнейшем их подстройка производится механизмом адаптации *МА*. Реакция динамического объекта y, сформированная под влиянием u, сравнивается с правильным откликом d. Если вектор y не совпадает с d, то вычисляется ошибка $e=d-y$, используемая для подстройки весов *НК* в соответствии с алгоритмом, например, Розенблатта [7]:

$$w_i(k) = w_i(k-1) + \mu e x_i \,, \tag{6}$$

где k – номер итерации, i – номер входа нейроконтроллера, μ – коэффициент скорости обучения (обычно $\mu<1$), реализуемого механизмом МНВ. После этого процедура повторяется до тех пор, пока выходной вектор не станет достаточно близким к эталонному d.

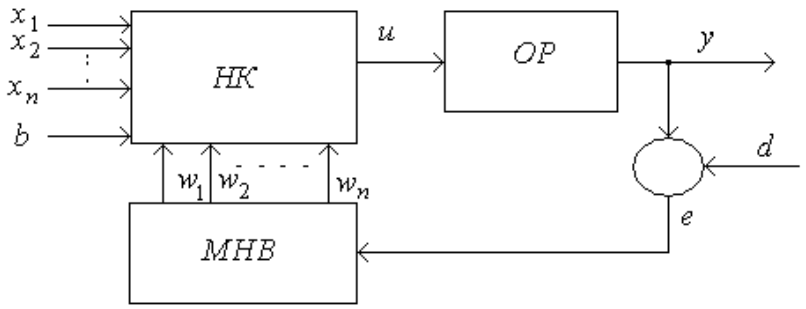


Рис. 3 Структура нейрокомпьютера с адаптивной настройкой

Опыт применения нейрокомпьютеров показывает, что несмотря на определенные преимущества нейронных сетей в отдельных случаях по сравнению с традиционными вычислениями, существующие нейросети не являются совершенными решениями. В процессе обучения ИНС присутствуют наибольшие ошибки системы управления. Кроме того, может оказаться так, что большие значения весовых коэффициентов могут сместить рабочую точку регулировочной характеристики в область насыщения, при малых изменениях весов сеть перестает обучаться.

При применении алгоритмов градиентного спуска в качестве настройки возможно попадание в область локального, а не глобального минимума функции ошибки обучения. Чтобы алгоритм сходился, приращения весов, а, следовательно, и скорость обучения должны быть малы, но тогда сеть будет обучаться долго по времени. Чрезмерно большая скорость обучения приводит к неустойчивости процесса. Таким образом, задача настройки сети представляет определенную сложность для конструктора.

Сравнительная характеристика. Приведем некоторые результаты построения сложных систем управления рассмотренными методами.

В отличие от классической теории управления, где закон управления, выражает некую математическую зависимость управляющей переменной от входной, в нечетком регуляторе закон управления представляется набором правил логического выбора вида ЕСЛИ-ТО в зависимости от значений лингвистической переменной, принадлежность которой к некоторому лингвистическому терму (множеству) устанавливается так называемой функцией принадлежности. Функционально необходимыми элементами нечетких регуляторов являются: база правил, блок формирования логического решения, блоки фазификации и дефазификации. Строгих рекомендаций по выбору алгоритмов фазификации и дефазифи-

 ISBN 7-776-8361-7

кации нет и следствием этого является грубость получаемой системы управления. Таким образом, самостоятельное использование нечеткого регулятора приводит к построению системы управления с низким качеством управления.

Более точным по отношению к нечеткому вычислительному устройству является настроенная нейронная сеть. Однако она требует дополнительных временных затрат на обучение в отличие от системы управления, основанной на нечеткой логике.

Проведем аналогию между рассмотренными системами управления. Исходными данными для всех случаев построения являются фазовые координаты системы (например, ошибка и ее производные). В качестве выходной информации при нечетком выводе информации и нейросетевом подходе к реализации системы управления используется один и тот сигнал – управляющее воздействие на объект управления. Результатом функционирования адаптивной системы является параметры системы управления, которые могут быть использованы только нейросетевой системой управления. Недостатком адаптивных систем является наличие затрат времени на адаптацию системы, которое в свою очередь является платой за незнание параметров системы. Для получения высокого качества в системе ошибочное функционирование системы на период настройки системы управления должно быть каким-либо образом скомпенсировано. Значит, самостоятельное использование адаптивной системы как и нейросети нежелательно с точки зрения временных характеристик системы. Целесообразно их совместное использование, где адаптивная система управления выполняет роль своеобразного механизма настройки нейросети.

Таким образом, для повышения эффективности функционирования системы управления сложным объектом целесообразно объединить методы, основанные на принципах нечеткого вывода информации и нейросетевом принципе, использующем адаптивные методы настройки сети. Этому способствует наличие одинаковой входной и выходной информации при обоих подходах.

Интеграция методов. Предлагается система управления сложным объектом, построенная по двухуровневому принципу, при котором нижнему уровню отводится непосредственное формирование управление объектом (рис. 4). На нижнем уровне находятся нечеткий контроллер *НчК* и нейрокомпьютер *НК*. Окончательный выбор управления системой выполняется системой выбора управления *СВУ*, осуществляющей выбор управления по величине сигнала ошибки, поступающего с вычислителя ошибки *ВО*. Предполагается, что в виду грубости системы, т.е. когда ошибки находятся в диапазон I, рис. 5, то в системе управление выполняется *НчК*. Одновременно с этим управлением осуществляется настройка нейрокомпьютера с привлечением адаптивных методов. При достижении ошибок диапазона II система выбора управления *СВУ* переключает на управление от вычислительного устройства на нейросетевом принципе. Предполагается, что времени для настройки нейрокомпьютеру в этом случае достаточно.

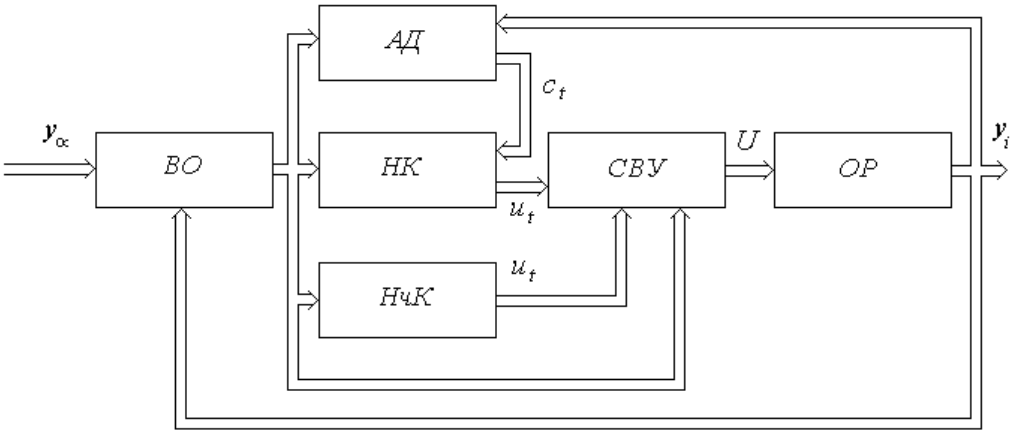


Рис. 4. Структура интегральной системы управления

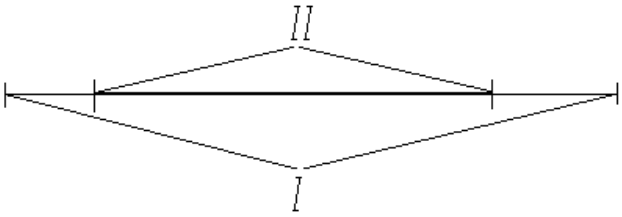


Рис.5 Диапазоны работы систем управления

Представляется, что структура системы управления, представленная на рис. 4, будет иметь лучшие показатели эффективности, а именно продолжительность и точность отработки заданий, за счет комплексного использования методов. Ее реализация приведет к сокращению материальных затрат на разработку каждого отдельного устройства с требуемыми показателями эффективности и, кроме того, позволит получить прирост эффективности функционирования системы в целом.

Заключение. Представленные методы проектирования являются основным инструментом современных инженеров, занимающихся конструированием сложных технических систем в условиях априорной неопределенности. Эффективность их применения определяется навыками инженерного персонала и опытом проведения разработок. Наибольшего эффекта следует ожидать в комплексном подходе (интеграции) при рациональном использовании рассмотренных методов с ориентацией на возможность построения самоорганизующихся структур, что позволит рассчитывать на получение так называемого системного эффекта.

The features of synthesis of large systems in conditions a priori of uncertainty systems on the basis of three approaches, namely on a fuzzy system, neuron net and adaptive system are considered. The scheme of integration this system which will allow raising such parameters of a whole system effectiveness of management, as accuracy and duration of process of management, is offered.

1. Мітрахович М.М. Складні технічні системи. Системне математичне забезпечення проектних рішень / Мітрахович М.М. – К.: НАНУ, ІПММіС. – Київ: "Нічлава", 1998. – 184 с.
2. Михалевич В.С. Об одном подходе к исследованию процесса управления уровнями вооружений / В.С. Михалевич, В.М. Кунцевич – Киев, 1989. – 26 с. (Препр. / АН УССР. Ин-т кибернетики им. В.М. Глушкова; 89-19).
3. Воронин А.Н. Сложные технические и эргатические системы: методы исследования / А.Н. Воронин, Ю.К. Зиатдинов, А.В. Харченко – Харьков: Факт, 1997. – 240 с.
4. Растригин Л.А. Адаптация сложных систем / Растригин Л.А. – Рига: Зинатне, 1981. – 375 с.
5. Цвиркун А.Д. Основы синтеза структуры сложных систем / Цвиркун А.Д. – М.: Наука, 1982. – 200 с.
6. Гостев В.И. Нечеткие регуляторы в системах автоматического управления / Гостев В.И. – К.: Радіоаматор, 2008. – 972 с.
7. Применение методов искусственного интеллекта в управлении проектами / Под ред. Соколова А.Ю. – Х.: НАУ им. Н.Е. Жуковского "ХАИ", 2002. – 474 с.

 ISBN 7-776-8361-7

УДК 681.513.6

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОСТОЯННОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ СИГНАЛОВ МЕТОДОМ АДАПТАЦИИ

Шутеев Э.И., Белокопытов Д.О.

Введение

При измерении характеристик динамических объектов, полученные результаты оказываются зашумленными или искаженными, что в большинстве случаев не позволяет получить результат с требуемой точностью. Связано это с тем, что объекты окружающего мира являются динамическими системами и обладают своими внутренними изменениями, деформациями, колебаниями, а вследствие чего и шумами. В статье рассматривается возможность повышение точности определения параметров сигналов динамических систем при помощи адаптивной фильтрации. Основа метода заключается в том, что система моделирует собственную весовую функцию для каждого нового сигнала.

Адаптивные устройства обработки данных отличаются наличием определенной связи параметров передаточной функции с параметрами входных, выходных, ожидаемых, прогнозируемых и прочих дополнительных сигналов или с параметрами их статистических соотношений, что позволяет самонастраиваться на оптимальную обработку сигналов. В простейшем случае, адаптивное устройство содержит программируемый фильтр обработки данных и блок (алгоритм) адаптации, который на основании определенной программы анализа входных, выходных и прочих дополнительных данных вырабатывает сигнал управления параметрами программируемого фильтра.

Последовательность получения какого-либо параметра динамической системы изображена на рис. 1 [1]. На исследуемый объект, кроме определяемого воздействия, могут действовать и различные внешние факторы среды, которые вносят аддитивную составляющую помехи. Также сам объект, являясь сложной системой, вносит мультипликативную составляющую помехи. Далее уже искаженный физический параметр, определенным способом преобразуется в электрический, затем следует аналогово-цифровое преобразование, приведение полученного значения по заданной функции к нормальному виду.

Рис. 1 Структурная схема получения параметра динамической системы

Постановка задачи

Полученные в результате аналогово-цифрового преобразования и нормализации данные в большинстве случаев не будут пригодны для дальнейшего использования без предварительной обработки, в процессе которой минимизируются всевозможные помехи и шумы. Одним из способов устранения возникших искажений является фильтрация [1,2], при этом необходимо точно знать либо то что требуется получить, либо то что требуется

удалить из сигнала. Однако, когда речь идёт о динамических системах заранее предположить что либо точно нельзя, определены только общие черты сигнала и помехи. Поэтому, даже применяя фильтрацию к одному классу динамических систем, в большинстве случаев для получения результата с ожидаемой точностью, не достаточно лишь определить тип фильтрации. Возникает необходимость подстройки фильтра в процессе фильтрации, то есть его адаптации к входному воздействию.

На рис. 2 приведен реальный сигнал, снятый с тензометрического датчика при прохождении через платформу весов железнодорожного состава. Полученная характеристика должна представлять из себя набор прямоугольных импульсов различной амплитуды. На практике, при измерении веса движущихся объектов, на полученную характеристику накладываются различные гармонические колебания, вызванные собственными продольными и поперечными колебаниями объекта.

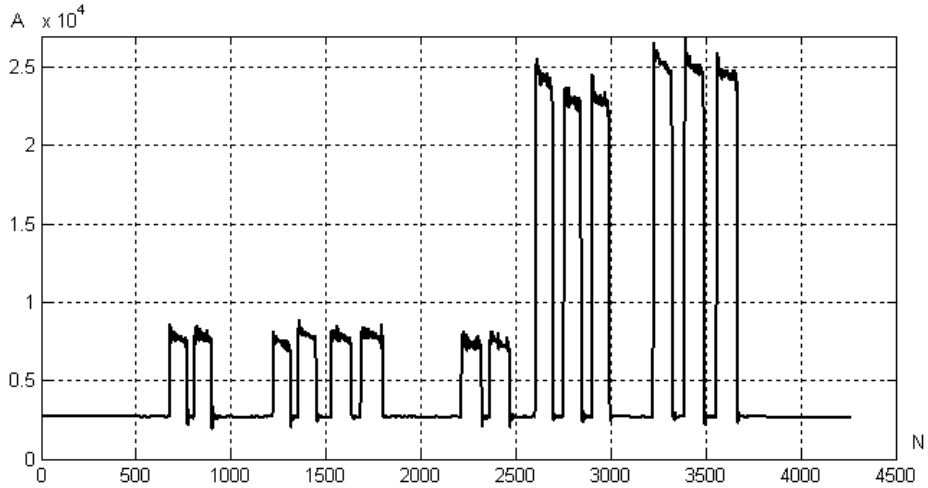


Рис. 2 Диаграмма взвешивания состава

На рис. 3 и рис. 4 изображены увеличенные части рис. 2, это и есть зашумленный сигнал при взвешивании осей тепловоза и вагона.

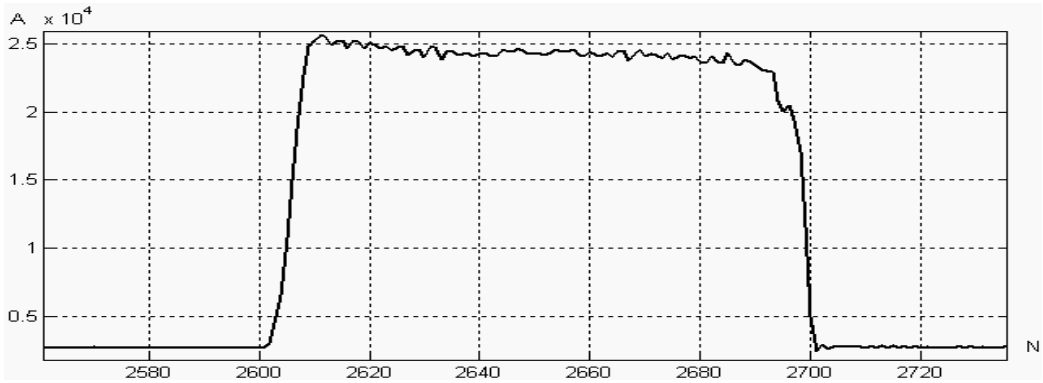


Рис. 3 Зашумленный сигнал (ось тепловоза)

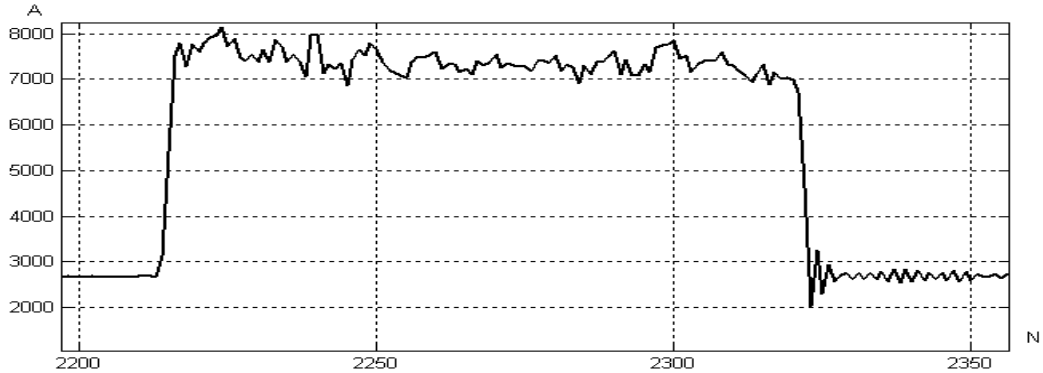


Рис. 4 Зашумленный сигнал (ось вагона)

 ISBN 7-776-8361-7

Задачи такого типа могут быть решены несколькими способами: математическое усреднение (интегрирование), фильтрация низких частот, косинусные окна. В данном случае из перечисленных методов наилучшую точность дает использование косинусных окон, так при измерении веса движущихся объектов погрешность составляет порядка 0.1%. Стационарное взвешивание дает точность на несколько порядков выше, следовательно, актуальной является задача повышения точности и скорости получения параметров динамических систем.

Целью данной работы является поиск алгоритма и структуры системы использующей адаптивную фильтрацию для более точного определения параметров динамических объектов. В результате адаптации есть возможность получения оптимального КИХ-фильтра или окна для последующего синтеза КИХ-фильтров [3]. Целесообразность такого подхода и будет рассмотрена далее.

Описание предложенного адаптивного метода

В рассматриваемом случае динамическая система обладает параметром X_0, являющимся постоянным во времени, в течение которого производится наблюдение. Кроме того в системе возникают гармонические составляющие сигнала, искажающие наблюдаемый параметр. На рис. 5 изображен определяемый сигнал X_0 и помеха $p(t)$, представляющая собой сумму нескольких гармоник.

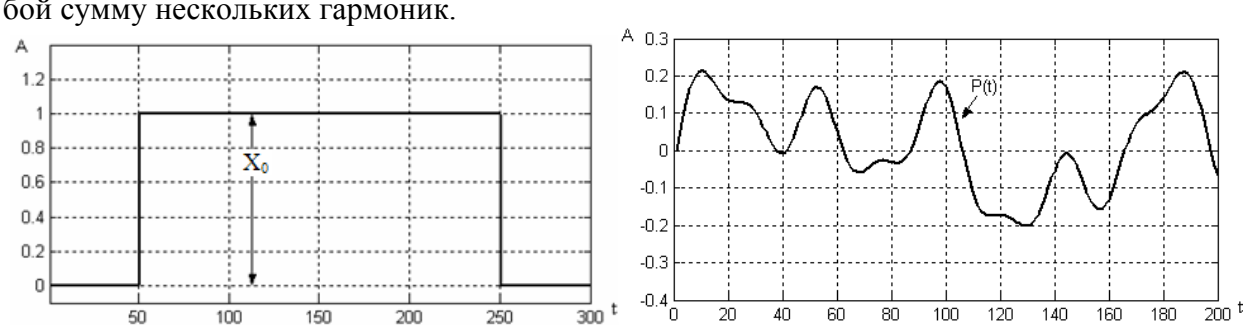


Рис. 5 Параметр системы X_0 и шум системы $p(t)$

При измерении параметра X_0 в результате на выходе системы получен зашумленный сигнал $x(t)$, представляющий собой сумму данного параметра и аддитивных составляющих $p(t)$:

$$x(t)= X_0+ p(t) \qquad (1)$$

На рис. 6 изображен зашумленный сигнал, из которого необходимо выделить полезную составляющую.

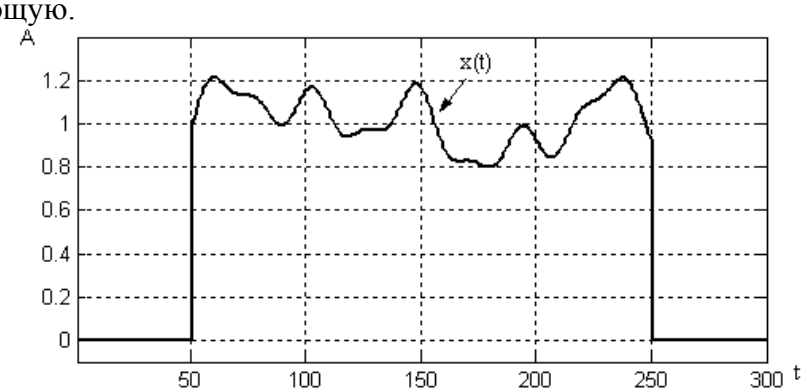


Рис. 6 Зашумленный сигнал

Исходя из метода окон [2], можно использовать ту же формулу для определения постоянной составляющей сигнала, но только в качестве весовых коэффициентов взять коэффициенты КИХ-фильтра, полученного на основе адаптивного фильтра.

Формула определения постоянной составляющей:

$$X_0 = \frac{\int_{t_1}^{t_2} x(t)w(t)dt}{\int_{t_1}^{t_2} w(t)dt} \qquad (2)$$

Следующая формула получается подстановкой в формулу (2) вместо *x(t)* формулы (1), и умножением обеих частей уравнения на знаменатель:

$$X_0 \int_{t_1}^{t_2} w(t)dt = \int_{t_1}^{t_2} (X_0 + p(t))w(t)dt \qquad (3)$$

Раскрыв в правой части уравнения скобки и учитывая то, что интеграл суммы равен сумме интегралов, а произведение подынтегральной функции на константу равносильно произведению самого интеграла на эту константу, получается:

$$X_0 \int_{t_1}^{t_2} w(t)dt = X_0 \int_{t_1}^{t_2} w(t)dt + \int_{t_1}^{t_2} p(t)w(t)dt \qquad (4)$$

Следовательно, для выполнения исходной формулы должно выполняться условие:

$$\int_{t_1}^{t_2} p(t)w(t)dt = 0 \qquad (5)$$

Формула (5) является условием подавления помехи КИХ-фильтра [1], то есть необходимо выбрать такой КИХ-фильтр, после прохождения через который аддитивная помеха станет близкой к нулю. Такой фильтр можно получить с помощью адаптивной фильтрации, при этом адаптивный фильтр можно адаптировать к любой константе *К*, соизмеримой по величине с определяемой.

Приступая к моделированию системы известен вид входного воздействия и то, что на него наложена помеха. В состав системы будет входить адаптивный фильтр. Способ включения этого фильтра и тип образцового сигнала необходимо определить в процессе проектирования модели, кроме того необходимо предложить методику определения образцового сигнала для адаптации.

В результате моделирования были исследованы две различные адаптивные схемы позволяющие подавить помеху рис.7 и рис.8. При адаптивном моделировании обязательно требуется образцовый сигнал, а как правило в реальных условиях его нет, поэтому были испробованы различные способы его замены. Так на рис.7. приведена структура одной из наиболее результативных моделей решения проблемы. В приведенной модели адаптивный фильтр включен последовательно с системой, что позволяет в результате адаптации получить обратную модель системы. Образцовый сигнал, необходимый для адаптации фильтра, является константой. Далее полученные в результате адаптации коэффициенты адаптивного фильтра, подставляются в передаточную функцию, в результате чего получается настроенный на определенную помеху неадаптивный фильтр, то есть режекторный КИХ-фильтр. Теперь, пропуская зашумленный сигнал уже через полученный КИХ-фильтр, на выходе получаем достаточно точное подобие исходного чистого сигнала, среднее значение которого и будет соответствовать искомому параметру.

В изображенной на рис. 7 модели, в качестве входного воздействия используются прямоугольные импульсы. С помощью сумматора на них накладываются две гармонические составляющие, с частотами соизмеримыми с реальными помехами. Затем эта смесь пропускается через рекурсивное звено, представленное передаточной функцией. В результате, окончательно искаженный сигнал поступает на вход адаптивного фильтра и параллельно на вход КИХ-фильтра, представленного передаточной функцией. В качестве адаптивного фильтра был выбран фильтра Калмана как наиболее подходящий, так как он

 ISBN 7-776-8361-7

предназначен для минимизации дисперсии оценки векторного случайного процесса $\mathbf{x}(k)$, изменяющегося во времени следующим образом:

$$\mathbf{x}(k+1)= \mathbf{\Phi}(k)\mathbf{x}(k)+\mathbf{v}(k), \qquad (6)$$

где $\mathbf{\Phi}(k)$ — матрица перехода, $\mathbf{v}(k)$ — случайный вектор (*шум процесса*) [4]. Что близко к поставленной задаче. На вход ошибки адаптации фильтра, подается разница между константой и сигналом с выхода фильтра. Полученные же в результате адаптации коэффициенты фильтра, записываются в специальное окно отображения результата и сохраняются в числовом векторе, используемом в дальнейшем для подстановки в передаточную функцию. В окне симулятора Scope отображены интересующие нас сигналы: входной, зашумленный, сигнал ошибки адаптации и отфильтрованный сигнал.

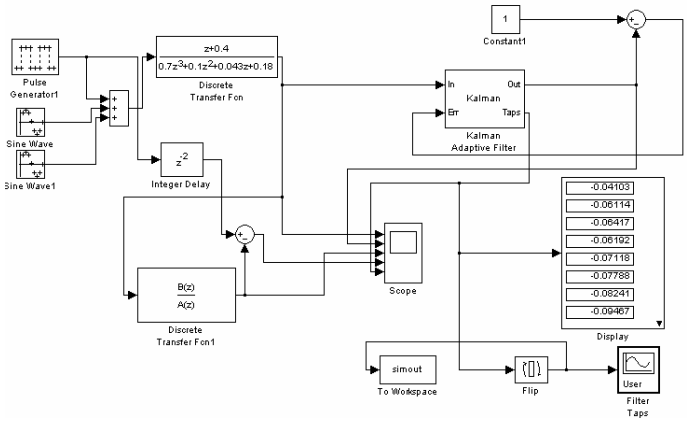


Рис. 7 Модель исследуемой системы

Суть данной модели в том, что конечный результат получается при делении, где делимым является сумма произведений коэффициентов фильтра на соответствующие отсчеты сигнала, а делителем сумма всех коэффициентов фильтра, это отражает следующая формула:

$$X_0 = \frac{\sum_{i=0}^{N} x_i(t) w_{ai}(t) dt}{\sum_{i=0}^{N} w_{ai}(t) dt} \qquad (7)$$

где w_{ai} – коэффициенты адаптивного фильтра,

x_i – отсчеты сигнала,

X_0 – амплитуда зашумленного сигнала.

Модель с параллельно включенным адаптивным фильтром рис.8, полезных результатов не дала, так как в данном случая в результате адаптации получается прямая модель системы. Входное воздействие в виде прямоугольных импульсов подаются на вход рекурсивного звена заданного передаточной функцией и параллельно на вход адаптивного фильтра. В качестве сигнала ошибки для адаптивного фильтра используется разность выходов рекурсивного звена и самого фильтра. В результате адаптации фильтр пытается предсказать следующее значение на выходе рекурсивного звена, при этом адаптивный фильтр становится нерекурсивной моделью рекурсивного звена.

Вернувшись к первой модели и проанализировав получаемые в результате адаптации коэффициенты фильтра, можно сделать вывод, что каждый коэффициент адаптивного фильтра складывается из двух частей, одна из которых служит для нормализации амплитуды входного сигнала к амплитуде образцового, а вторая для удаления искажающей составляющей сигнала. Исходя из этого, можно сделать вывод что первое слагаемое b_i изменяется при изменении амплитуды образцового сигнала и пропорциональна этому изменению, а второе является константой c_i и зависит лишь от типа помехи.

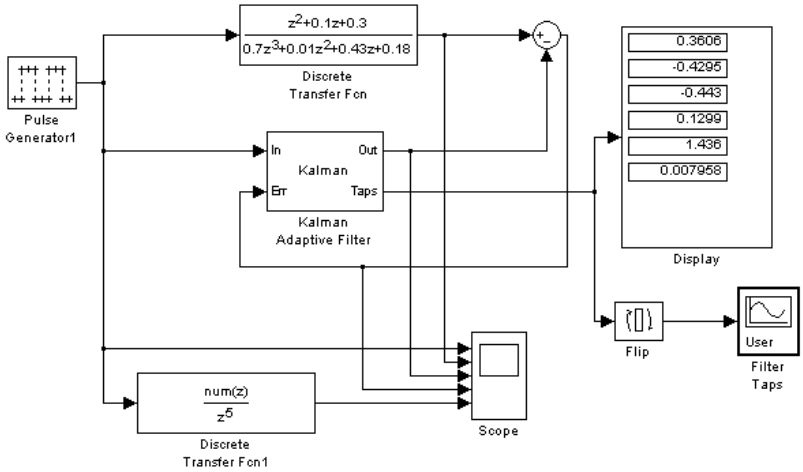


Рис. 8 Модель системы с паралельно включенным адаптивным фильтром

Следовательно, справедливо следующее равенство:

$$\frac{b_{i1}-c_i}{b_{i2}-c_i}=\frac{K_1}{K_2} \tag{8}$$

Откуда получается:

$$b_{i1}=\frac{K_1}{K_2}(b_{i2}-c_i)+c_i \tag{9}$$

$$c_i=\frac{b_{i1}\cdot K_2-b_{i2}\cdot K_1}{K_2-K_1} \tag{10}$$

Проверив полученное выражение экспериментально и сведя результаты эксперимента в таблицу 1, проанализируем погрешность измерения.

Таблица 1

Результаты эксперимента

Входной сигнал	Образцовый		b_1	b_2	b_3	b_4	b_5
1	K_0	0	-0,00942	-0,00938	-0,00929	-0,00919	-0,009
расчет	$c_i=\frac{b_{i2}\cdot K_1-b_{i1}\cdot K_2}{K_1-K_2}$		-0,00942	-0,00934	-0,00941	-0,00918	-0,00906
1	K_1	0,5	0,09069	0,06823	0,05	0,03556	0,02422
расчет	$b_{i1}=\frac{K_1}{K_2}(b_{i2}-c_i)+c_i$		0,09069	0,06823	0,05	0,03556	0,02422
1	K_2	1	0,1908	0,1458	0,10941	0,0803	0,0575
расчет	$b_{i2}=\frac{K_2}{K_4}(b_{i4}-c_i)+c_i$		0,190804	0,145868	0,109332	0,080336	0,057512
1	K_3	2	0,391	0,301	0,2281	0,16986	0,1241
1	K_4	5	0,9917	0,7667	0,5843	0,4384	0,3238

Из таблицы видно, что исходное предположение полностью подтвердилось. То есть коэффициенты являются суммой двух слагаемых, одно из которых константа, а второе пропорционально образцовому сигналу.

 ISBN 7-776-8361-7

Выводы

Анализируя предыдущие исследования в этой области, можно сделать выводы, что задачи такого типа решаются с помощью фильтрации. При этом построение фильтра ведется с использование весовых функций, чаще всего косинусных: Хеннинга, Хэмминга или Блэкмена [5]. Что же касается адаптивной фильтрации, то в литературе описано несколько основных направлений её использования. Однако, адаптивная фильтрация, как таковая, в чистом виде в данном случае не применима. Поэтому, для достижения поставленной цели в этой работе объединены такие области цифровой обработки сигналов, как адаптивная фильтрация и синтез фильтров с использованием весовых функций.

В предложенном методе адаптации получается собственная весовая функция для каждого конкретного случая. Описанный метод используется для определения амплитуды зашумленного сигнала, при этом важность уделяется точности определения амплитуды, а не скорости получения результата, так как данный метод весьма энергоемкий и требует больших программных затрат.

Данный метод может применяться при определении параметров динамических систем. Как правило, определяемый параметр на некотором промежутке времени являются постоянными, но измерить его точно не удается из-за помех различного рода, вызванных например колебаниями всего объекта или его частей. Решить данную задачу можно измерив на определенном промежутке времени искомый параметр, а затем полученную последовательность данных обработать предложенным методом. Такие задачи, как уже было сказано, возникают при измерении веса: движущихся объектов, на движущихся объектах, цистерн с колеблющейся жидкостью, подвешенных грузов и т.д.

Преимуществом данного метода является возможность его применения при периодах помехи, соизмеримых с длиной выборки полезного сигнала. В таких случаях погрешность метода адаптации составляет порядка 0.1%, а метода косинусных окон около 0.5%. В остальных же случаях предложеный метод, дает результат более высокой точностью порядка 0.01%, хотя есть возможность, в каждом конкретном случае, при некоторой доработке устройства адаптации получить результат на порядок лучше. Недостаток метода в его некоторой трудоемкости реализации. Хотя при современых скоростях обработки данных, во многих случаях его трудоемкость не будет существеным недостатком и не скажется на времени получения конечного результата.

The possibility increase exactness of determination permanent of the signals got at measuring the dynamic systems parameters is reflected in the article. In the method uses adaptive filtration. A method allows getting a weight function for every concrete signal. A capable of working model is offered and the results got in the process of design are reflected.

1. А.И. Солонина, Д.А. Улахович, С.М. Арбузов. Основы цифровой обработки сигналов: Курс лекций. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 615 с.
2. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов: Учебник для вузов – СПб.: Питер, 2002. – 608 с.
3. Уйдров Б., Стирнз С. Адаптивная обработка сигналов: пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1989. – 440 с.
4. Сергиенко А.Б. Алгоритмы адаптивной фильтрации: особенности реализации в MATLAB //Математика в приложениях. – 2003. – №1(1). – С.18-28.
5. Айфичер Э., Джервис Б. Цифровая обработка сигналов: Практический подход, 2-е издание. : Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2008. – 992 с.

ЦИФРОВЫЕ И ДИСКРЕТНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

УДК 681.5.015

МЕТОД ОЦІНКИ МАКСИМАЛЬНОГО ЗАПІЗНЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ФІЛЬТРОВАНОГО ВХОДУ НЕЙРОЕМУЛЯТОРІВ З ЗОВНІШНЬОЮ ДИНАМІКОЮ

Щокін В.П.

Моделювання нелінійних динамічних процесів переслідує мету щодо рішення задач прогнозування, імітаційного моделювання, а також побудови систем регулювання та діагностики похибок, що базуються на параметричних та непараметричних моделях. Ідентифікація (емуляція) нелінійних динамічних систем на базі використання штучних нейронних мереж (ШНМ) представляє непараметричне моделювання, оскільки параметри ШНМ не мають безпосереднього фізичного зв'язку з параметрами об'єкта.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями

За теперішнього часу знайшли широке розповсюдження дискретні способи передачі і перетворення сигналів, в яких використовується принцип дискретизації сигналів за часом, за рівнем або за часом і за рівнем одночасно.

Дискретно-неперервні фільтри виконують над вхідними змінними операції зсуву та зважування. Рівняння дискретно-неперервного фільтру визначають у наступній формі:

$$u(t)=\sum_{k=0}^{N}\beta_k y(t-kT)-\sum_{k=0}^{N}\alpha_k u(t-kT), \qquad (1)$$

де $y(t)$ - вхідний сигнал, $u(t)$ - вихідний сигнал, $\beta_k\,(k=0,1,2,...,N)$ та $\alpha_k\,(k=0,1,2,...,N)$ - вагові коефіцієнти вхідних та вихідних ретроспективних змінних відповідно.

Рівняння (1) представляє різницеве рівняння з аргументом *t*, який змінюється в неперервному просторі. Основним елементом дискретного фільтру є елемент пам'яті (затримки), який, не змінюючи форми, проводить операцію зсуву вхідного сигналу на дискрет *T*.

Необхідно зауважити, що проблема визначення вектора стану дискретно-неперервних фільтрів (1) у сучасній літературі не розглядається. Однак дане питання є доволі суттєвим у разі використання рівняння дискретно-неперервного фільтру (1) при ідентифікації об’єктів керування нейромережевими системами прямої та зворотної динаміки.

Аналіз досліджень і публікацій, в яких започатковано розв’язання проблеми

Доведено [1], що цифрові обчислювальні машини (ЦОМ) можуть бути представлені в форматі дискретного фільтра з функціями перетворення вхідної послідовності чисел $y(mT)$ у вихідну $u(mT),\,(m=0,1,2,...)$. Якщо не брати до уваги квантування за рівнем та обмежитися лінійними операціями, рівняння ЦОМ представляють [1] у вигляді (1) з урахуванням заміни $t=mT$

$$u(mT)=\sum_{k=0}^{N}\beta_k y[(m-k)T]-\sum_{k=0}^{N}\alpha_k u[(m-k)T]. \qquad (2)$$

Запропонована [1] програма ЦОМ (1) оперує дискретними функціями входу та виходу, отже, в даному разі операції, що проводяться з використанням ЦОМ, є можливість аналізувати шляхом дослідження відповідних дискретних фільтрів.

Вище зазначено, що рівняння дискретних фільтрів широко застосовують у нейрокеруванні при побудові структур нейронної ідентифікації динаміки об'єктів управління [2,4]. Так, при структурному синтезі моделі прямої динаміки об'єктів управління з викори-

 ISBN 7-776-8361-7

станням парадигм нейронних мереж (НМ) використовують [2] апроксимуючу властивість НМ (3)

$$y(k+1) = F\left(u_k, z^{-1}u_k, ..., z^{-m}u_k; y_k, z^{-1}y_k, ..., z^{-n}y_k; w_i^{(l)}\right). \quad (3)$$

В якості вектору стану мережі обирають [2] вектор

$$col\left(y, z^{-1}y, ..., z^{-n}y\right) = col\left(x_n(k), x_{n-1}(k), ..., x_1(k)\right), \quad (4)$$

де z^{-1} - оператор зсуву.

Результатом ідентифікації динамічної моделі реального об'єкту управління в сенсі наближення функцій виходу $y(t)$ та $y(t)$ з точністю до похибки навчання нейронної мережі $e(t) = y(t) - y(t)$, або функціонала $J(e(t))$ можуть бути параметрично синтезовані [2] за певним алгоритмом значення вагових коефіцієнтів синоптичних зв'язків $w_i^{(l)}$ у шарах НМ $l = \overline{1,K}$ та оцінці вектора стану об'єкта, що описується, в загальному випадку параметрично недовизначеним нелінійним диференційним рівнянням:

$$y(k+1) = f\left[y(k), y(k-1), ..., y(k-n+1); u(k), ..., u(k-m+1)\right]. \quad (5)$$

Необхідно відзначити, що на даний час відсутнє будь-яке пояснення, або теоретичне обґрунтування глибини вектора стану (n та m) нейронної мережі. З метою підтвердження останнього розглянемо постановку задачі динамічного навчання ШНМ з прогнозом похибки навчання [2]. У даній роботі в якості математичної моделі об'єкта управління прийняте різницеве рівняння «вхід-вихід» з посиланням на першоджерело [3]. У роботі доводять, що практично прийнятним буде опис багатопов'язаного об'єкту з n-вхідними та n-вихідними координатами системою різницевих рівнянь порядку v

$$\sum_{j=1}^{n}\left(a_{i,j}^0 z^v + a_{i,j}^1 z^{v-1} + ... + a_{i,j}^v\right) y_j(k) = \sum_{j=1}^{n}\left(b_{i,j}^1 z^{v-1} + ... + b_{i,j}^v\right) u_j(k). \quad (6)$$

де $i = \overline{1,n;}$ z - оператор зсуву на час Δt.

Додатково відзначено [2], що при значеннях Δt, і з запасом, який задовольняє умові теореми Котельникова-Шеннона, та одночасно більших, ніж інерційність хоча б одного циклу навчання, приймають припущення про те, що на інтервалах часу навчання НМ виміряні сигнали $e_y(t), y(t), r(t)$ мають значимі та кінцеві величини похідних не вище другої.

Дане припущення дозволяє обмежити порядки v поліномів $a_{i,j}(z)$ при координатах $y_j(k)$ ($i, j = \overline{1,n}$) у системі (6) значенням $v \le 2$ та, відповідно, обмежити клас можливих математичних моделей об'єкта управління системою n-пов'язаних різницевих рівнянь другого порядку

$$A(z)y(k) = B(z)u(k), \quad (7)$$

де $u(k) = col\left(u_1(k \cdot \Delta t), ..., u_n(k \cdot \Delta t)\right)$ та $y(k) = col\left(y_1(k \cdot \Delta t), ..., y_n(k \cdot \Delta t)\right)$ - вектори вхідних та вихідних сигналів об'єкта управління; $A(z) = \left\|a_{i,j}^0 z^2 + a_{i,j}^1 z + a_{i,j}^2\right\|_1^n = \left\|a_{i,j} z\right\|_1^n$ та $B(z) = \left\|b_{i,j}^1 z + b_{i,j}^2\right\|_1^n = \left\|b_{i,j} z\right\|_1^n$ - матриці поліномів $a_{i,j}z$, $b_{i,j}z$.

Загальне дослідження проблеми визначення вектору стану нейромережевих емуляторів об’єктів управління висвітлено в роботі [4], де зазначено, що за відсутності методики оцінки порядку об'єкту управління і, відповідно, визначення порядку різницевих рівнянь виду

$$y(t+1) = f_p\left[y(t), y(t-1), ..., y(t-\overline{q}+1), u(t), u(t-1), ..., u(t-\overline{p})\right], \quad (8)$$

незначні зміни в початкових умовах, опорних величинах, структурах нейронних мереж, функціях активації нейронів і т.п. призводять до різких змін характеристик системи управління з ШНМ. Разом з тим, у даній роботі також не вирішена проблема оцінки гли-

бини ретроспективного вектору стану нейромережевих емуляторів і запропоновано використовувати другий порядок поліномів $a_{i,j}(z)$ при координатах $y_j(k)$ $(i,j=\overline{1,n})$.

Виділення невирішених раніше частин проблеми та постановка завдання

Зважаючи на викладене вище, слід зауважити, що проблема визначення (оцінки) глибини ретроспективного вектору стану нейромережевих емуляторів є доволі принциповою, що додатково ілюструє наступний модельний приклад.

Модельний приклад. У дискретному просторі динаміка лінійного об'єкту може бути описана у вигляді різницевого рівняння, в основі якого лежить рівняння дискретно-неперервного фільтру (1):

$$y[i]=\sum_{j=0}^{n}a_j y[i-j]+\sum_{j=0}^{m}b_j u[i-j], \qquad (9)$$

де $y[i]$ – поточний вихід об'єкту на і-у дискретному відліку, $u[i-1],u[i-m]$ та $y[i-1],y[i-n]$ – ретроспективні вектори розмірністю m і n, що складаються із затриманих на інтервал дискретності вхідних і вихідних значень об'єкту відповідно, aj і bj – постійні коефіцієнти.

Оскільки вираз (9), що описує пряму динаміку об'єкту в загальному випадку можна розглядати як безінерційну функцію m+n аргументів:

$$y[i]=f_{ПД}\left(y[i-1],...,y[i-n],u[i-1],...,u[i-m]\right), \qquad (10)$$

то за наявності масиву відомих значень вхід/вихід об'єкту (навчальних кортежів) її легко шляхом навчання можна представити і у вигляді статичної нейронної мережі яка входить до структури системи нейроуправління. Причому у загальному випадку ця мережа є нелінійною і представляє нелінійне різницеве рівняння, що дозволяє описувати динаміку нелінійних об'єктів.

Розглянемо результати чисельного моделювання процедур нейроідентифікації прямої динаміки еталонної моделі другого порядку в структурі системи безпосереднього інверсного нейроуправління (рис.1).

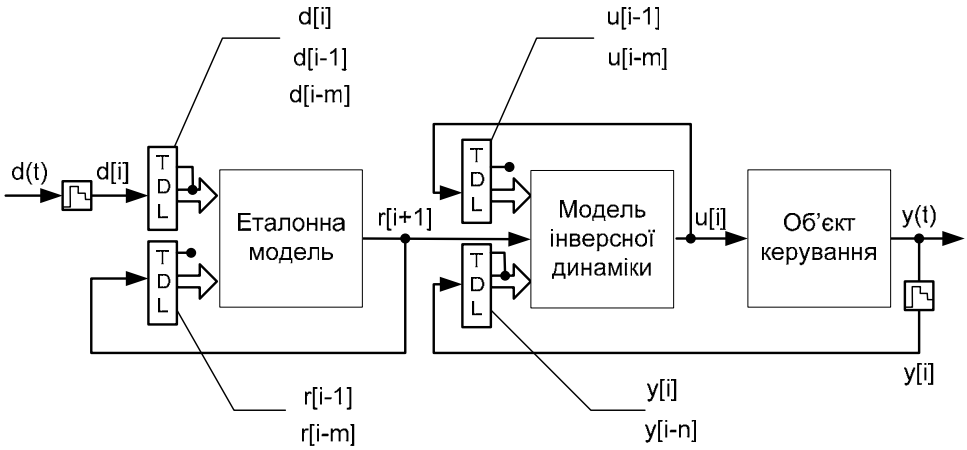


Рис.1 Загальний вид функціональної схеми системи безпосереднього інверсного нейроуправління

У представленій схемі використовується дискретна реалізація еталонної моделі. Блоками з абревіатурою TDL - Tapped Delay Line позначені лінії затримки з відведеннями або ретроспективні вектори, що складаються з серій затриманих на інтервал дискретизації вхідних значень. Верхнє відведення блоку TDL відповідає його поточному вхідному значенню, яке може і не використовуватися.

Завдяки лінійності об'єкту, що підлягає ідентифікації, знімаються питання вибору структури нейромережі, алгоритму та надійності навчання. В якості структури нейромережі використаємо ШНМ Адалайн (зважена сума вхідного вектора) з лінійно-

 ISBN 7-776-8361-7

регресійним алгоритмом навчання. В якості ідентифікаційного сигналу буде використовуватись послідовність ступінчастих дій випадкової амплітуди в діапазоні ±1 з інтервалом 1 с. (загальна тривалість - 100 с).

В якості об'єкту прийнятий динамічний об'єкт другого порядку

$$Wоб(s) = \frac{k}{T^2 s^2 + 2\xi Ts + 1}, \tag{11}$$

в якості еталонної моделі використана аперіодична ланка з постійною часу 0.2с

$$W(s) = \frac{1}{0{,}2s + 1}. \tag{12}$$

Динамічна зміна похибки в процесі навчання для різної глибини ретроспективного вектору стану нейромережевого емулятора інверсної динаміки (19-23) наведена на рис.2.

$$y[i] = f_{ПД}\left(y[i-1], u[i]\right) \tag{13}$$

$$y[i] = f_{ПД}\left(y[i-1], u[i], u[i-1]\right) \tag{14}$$

$$y[i] = f_{ПД}\left(y[i-1], y[i-2], u[i], u[i-1]\right) \tag{15}$$

$$y[i] = f_{ПД}\left(y[i-1], y[i-2], y[i-3], u[i], u[i-1], u[i-2]\right) \tag{16}$$

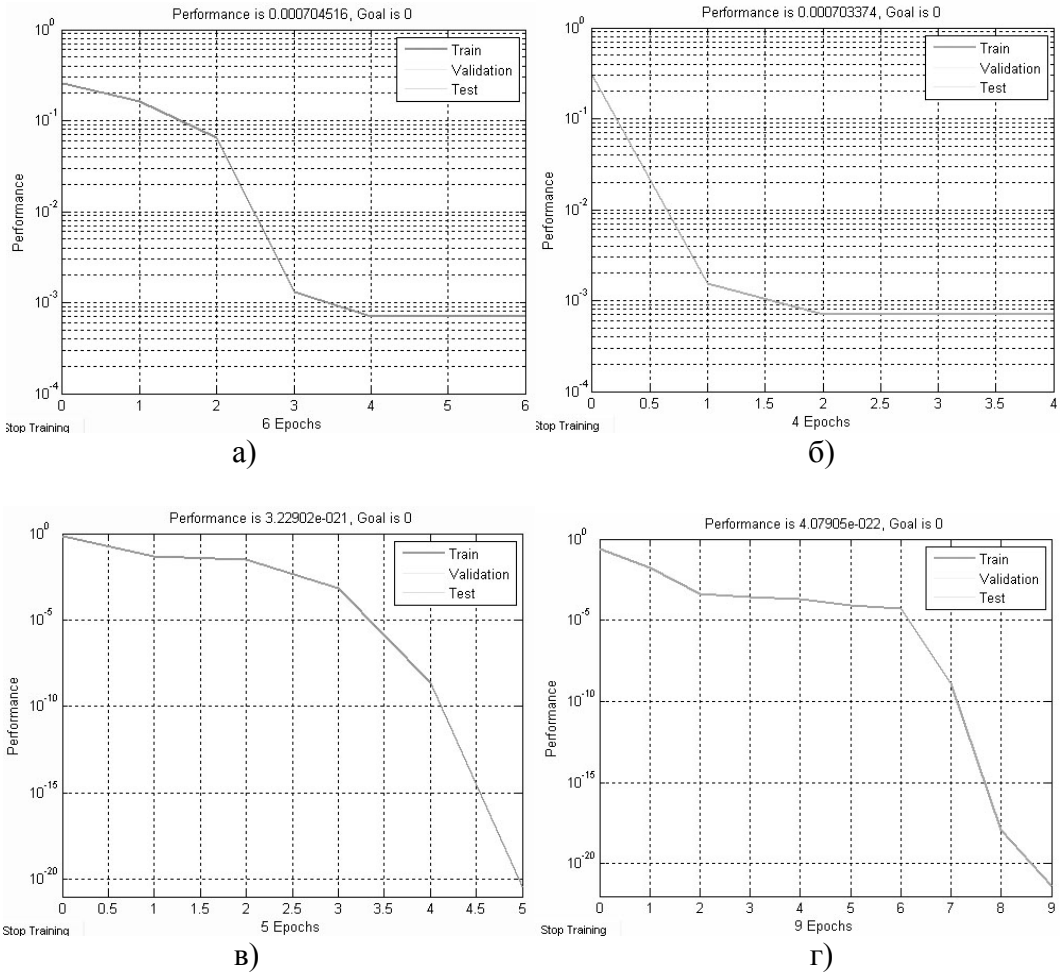


Рис.2 Динаміка зміни похибки нейромережі в процесі її навчання

Результати експерименту свідчать про актуальність проблеми визначення глибини ретроспективного вектору стану нейромережевого емулятора. Так, відповідно до результатів моделювання (рис.2) оптимальним за критерієм «ефективність емуляції-структура нейромережі» є набір навчальних кортежей (15), відповідна динаміка навчання наведена на рис.2.в. Відхилення в бік зменшення або збільшення глибини ретроспектив-

них даних призводить до збільшення похибки емуляції (рис.2,а,б) або до заморожування навчання з одночасним підвищенням кількості нейронів у вхідному шарі (рис.2.г).

Необхідно зауважити, що даний експеримент проведено на базі використання заздалегідь відомої структури об'єкту керування – відомий порядок модельного диференційного рівняння, який відповідає оптимальній, з точки зору обраного критерію, глибині ретроспективного вектору стану нейромережевого емулятора. Однак, за відсутності фактичного математичного опису багатомірної (nD) системи рішення проблеми, визначення глибини ретроспективного вектору стану носить умовний характер [2,4], сутність якого розглянута вище.

Результати попередньо проведених робіт [6,7] дозволяють стверджувати про задовільну інформативність кінцевих різниць перехідної функції об'єкту управління щодо глибини ретроспективного вектору стану нейромережевих та fuzzy емуляторів. Нижче розглядаються теоретичні аспекти запропонованої методики оцінки глибини ретроспективного вектору стану інтелектуальних емуляторів.

Теорема: *якщо будь-яка k-а різниця від перехідної функції $h(t)$ динамічного об'єкта, що визначена в дискретному просторі $\Re$, виявиться приблизно постійною, в межах необхідної точності ε, то перехідна функція об'єкту управління для свого відтворення інтелектуальними емуляторами з похибкою δ потребує k-ої глибини ретроспективного вектору стану.*

Доказ: розглянемо парадигми нейронних мереж прямого розповсюдження з одним внутрішнім шаром та безперервною функцією активації внутрішнього шару, функція активації вихідного шару - лінійна. Доказ наведеної теореми проведемо на базі дослідження задачі апроксимації табличних перехідних функцій за допомогою НМ з даного класу. Для вирішення задачі апроксимації потрібно навчити НМ - тобто оцінити значення параметрів НМ (синоптичних ваг), які настроюються у функції мінімізації помилки апроксимації.

Навчання НМ - процес мінімізації нелінійної багатоекстремальної функції багатьох змінних, причому кількість локальних екстремумів експоненціально залежить від розмірності задачі і кількості інтерполяційних вузлів. Відтворення НМ табличної функції представляють в наступному вигляді:

$$NET(x,v,w)=\sum_{i=1}^{H} v_i f_i\left(\sum_{j=1}^{N} x^{(j)} w_i^{(j)} + w_i^{(N+1)}\right)+v_{H+1}, \qquad (17)$$

де N - розмірність вектора аргументів x; H - кількість нейронів внутрішнього шару; $x\in\Re^N$, $x=\{y[i-1]^{(1)},y[i-1]^{(2)},...,u[i]^{(N-k-1)},u[i-1]^{(N-k)},...,u[i-n]^{(N)}\}$- вхідний вектор; $v\in\Phi^{H+1}$ - (зовнішні ваги) і $w\in\Phi^{(N+1)H}$ - (внутрішні ваги) - параметри функції NET, що настроюються; $f_i(z)$ - функції активації нейронів внутрішнього шару.

Визначимо $SET=\{(x_p,y_p)\}$, p = 1,2..,P - деяка множина вимірювань перехідної функції, яку необхідно апроксимувати. Завдання навчання мережі NET на вибірці SET формулюється як завдання мінімізації середньоквадратичного відхилення MSE вихідних сигналів мережі NET від y-компонентів вибірки SET. Цільова функція даного оптимізаційного завдання має вид:

$$MSE_{SET}(v,w)=\frac{1}{|SET|}\sum_{(x_p,y_p)\in SET}(NET(x_p,v,w)-y_p)^2 . \qquad (18)$$

Визначені та доведені [8] наступні властивості навчання НМ:

- *властивість #1*: при фіксованих значеннях внутрішніх вагових коефіцієнтів w є можливість отримати оптимальні значення зовнішніх вагових коефіцієнтів v, розв’язавши лінійну задачу за методом найменших квадратів.

 ISBN 7-776-8361-7

- *властивість #2*: при «заморожених» значеннях зовнішніх вагових коефіцієнтах v при кількості нейронів внутрішнього шару $H=1$, має місце наступна альтернатива:

1) або існує такий набір внутрішніх вагових коефіцієнтів w^*, для якого $MSE(v,w^*)=0$, і даний набір вагових коефіцієнтів можна отримати в форматі рішення системи лінійних рівнянь;

2) або для будь-яких значень внутрішніх вагових коефіцієнтів w справедливо $MSE(v,w^*)>0$.

- *властивість #3*: за умови справедливості властивості #2, та якщо $P \le (N+1)$ і вектори $\bar{x}=\{y[i-1]^{(1)},y[i-1]^{(2)},...,u[i]^{(N-k-1)},u[i-1]^{(N-k)},...,u[i-n]^{(N)}\}$ лінійно незалежні, то має місце альтернатива 1 ($MSE(v,w^*)=0$) *властивості #2*.

У разі постійного значення дискрету розглянемо питання послідовних різностей перехідної функції $y=\varphi(x)$:

$$\begin{aligned}&\Delta\varphi(x)=\varphi(x+h)-\varphi(x),\\&\Delta^2\varphi(x)=\Delta[\Delta\varphi(x)]=\Delta\varphi(x+h)-\Delta\varphi(x),...\end{aligned}\tag{19}$$

В якості базового емулятора перехідної функції оберемо ШНМ з глибиною ретроспективного вектора стану $n=m=1$, яка є апроксиматором динаміки об'єкту за наступним рівнянням дискретно-неперервного фільтру (2)

$$h(i)=a\cdot y(i-1)+b\cdot u(i).\tag{20}$$

Для спрощення доказу теореми перейдемо у двовимірний простір, припустивши, що рівняння (20) має *властивість #3,* дане припущення дозволяє розглядати (20) з точки зору *інтерполяції* функції $y=\varphi(x)$ поліном другого ступеня

$$y=\varphi(x)=ax^2+bx+c.\tag{21}$$

Перша різниця зводиться до виду

$$\Delta\varphi(x)=\left[a(x+h)^2+b(x+h)+c\right]-\left[ax^2+bx+c\right]=2ah\cdot x+(ah^2+bh).\tag{22}$$

Виходячи з даного представлення, друга кінцева різниця зводиться до постійного значення

$$\Delta^2\varphi(x)=\left[2ah\cdot(x+h)+(ah^3+bh)\right]-\left[2ah\cdot x+(ah^2+bh)\right]=2ah^2.\tag{23}$$

Останнє дозволяє стверджувати, що показник кінцевих різниць, для яких виконується умова (24), відповідає ступеню апроксимаційного полінома який рівномірно апроксимує функцію з точністю ε на інтервалі дослідження.

$$\Delta^n\varphi(x)=const(\pm\varepsilon).\tag{24}$$

Доведено [5], що якщо статистичні дані точно відображаються поліномом k-го ступеня, то побудована за ними k-а різниця повинна бути точно постійною. Однак, з урахуванням неповної відповідності емпіричних формул опитним даним та похибок округлення на абсолютну точність претендувати немає можливості [5].

Виходячи з вищезазначеного у практичних задачах цілком допустимо спиратись на наступне: якщо будь-яка k-а різниця функції виявиться приблизно постійною, в межах необхідної точності ε, можна зробити висновок про те, що перехідна функція або часова характеристика об'єкту управління для свого відтворення з необхідною точністю потребує саме поліному k-го ступеню, отже, глибина ретроспективного вектору стану нейромережевого або fuzzy емулятора може бути визначена також k-им ступенем.

Перевіримо викладені теоретичні аспекти на модельному прикладі який розглянуто вище (рис.1). В якості об'єкту обрана коливальна ланка з передаточною функцією (11), для якої проведена дискретизація перехідної функції $h(t)$ за часом (табл.1) $h[i]$ та розраховані кінцеві різниці. Результати аналізу кінцевих різниць свідчать про те, що значення кінцевої різниці другого порядку $\Delta^2 h[i]$ є приблизно (точність 5%) постійними. Отже, емуляція зворотної динаміки об'єкту управління (11) може бути проведена ШНМ з глибиною вектору стану m=n=2. На ШНМ інверсної динаміки покладені функції апроксимації наступної функції зворотної динаміки об'єкта

$$u[i-1] = f_{ІД}(y[i], y[i-1], y[i-2], u[i-2]) \qquad (25)$$

Таблиця 1

Кінцеві ризниці перехідної функції

$h[i]$	$\Delta h[i]$	$\Delta^2 h[i](\pm 5\%)$	$\Delta^3 h[i]$	$\Delta^4 h[i]$
0,0				
8,6	8,6			
28,8	20,1	11,5		
53,0	24,3	4,1	-7,4	
76,0	23,0	-1,3	-5,4	2,0
94,6	18,5	-4,5	-3,2	2,2
107,2	12,7	-5,8	-1,3	1,9
114,2	6,9	-5,8	0,1	1,4
116,3	2,1	-4,8	1,0	0,9
115,1	-1,2	-3,4	1,4	0,4
111,8	-3,2	-2,0	1,4	0,0
107,9	-3,9	-0,7	1,2	-0,2
104,1	-3,8	0,2	0,9	-0,3
101,0	-3,1	0,7	0,5	-0,4
98,9	-2,1	0,9	0,2	-0,3
97,7	-1,2	0,9	0,0	-0,2
97,3	-0,4	0,8	-0,2	-0,2
97,5	0,2	0,6	-0,2	-0,1
98,0	0,5	0,3	-0,2	0,0
98,7	0,6	0,1	-0,2	0,0

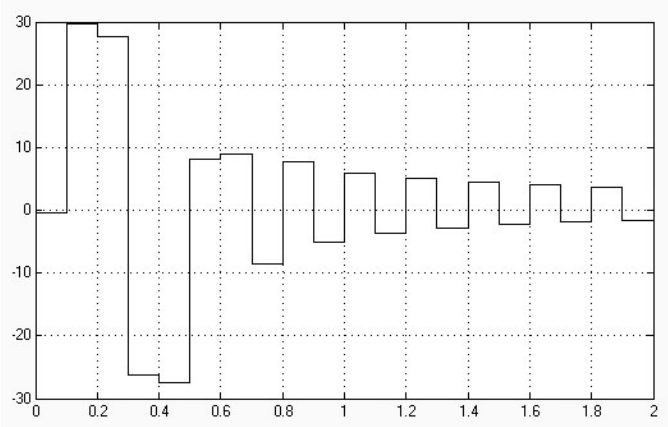
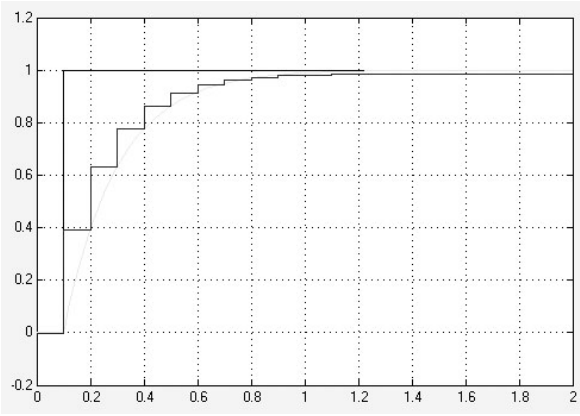
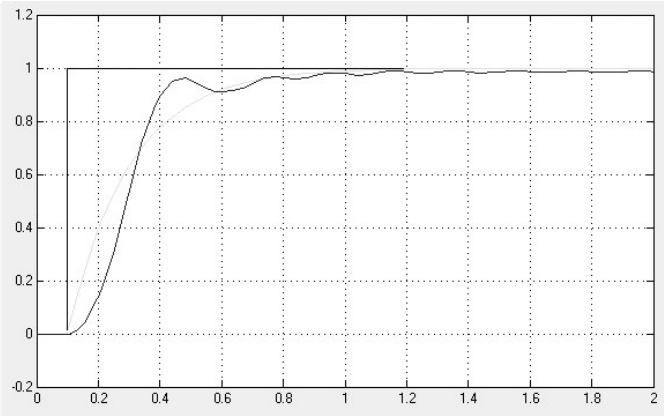


Рис.3.а Графік зміни сигналу управління u[i]



б)



в)

Рис. 3 Графік зміни сигналу завдання і вихідного значення ШНМ еталонної моделі r[i+1] (б) та перехідний процес вихідної координати об'єкта y(t) поєднаний з пп еталонної моделі r[t] (в) при дискретизації 0.1с.

Результати моделювання свідчать про достатню інформативність кінцевих різниць перехідної функції щодо визначення глибини вектору стану нейромережевих та fuzzy емуляторів багатомірних (nd) систем.

 ISBN 7-776-8361-7

Висновки

Наведена методика оцінки глибини ретроспективного вектору стану нейромережевого або fuzzy емулятора, яка ґрунтується на визначенні кінцевих різниць перехідної функції багатомірних (nd) систем. Дана методика дозволяє визначати глибину ретроспективного вхідного вектору емуляторів, орієнтованих на відтворення прямої та зворотної динаміки багатомірних (nd) систем за відсутності їх моделей.

A ground is conducted component retrospective set of data for a construction optimum on a structure and functional possibilities of fuzzy-neural structure for authentication of dynamics of objects.

1. Цыпкин Я.З. Основы теории автоматических систем.-М.: Главная редакція фізико-математической литературы. «Наука», 1977.
2. Терехов В.А., Ефимов Д.В., Тюкин И.Ю. Нейросетевые системы управления. Общая редакция А.И.Галушкина. – М.: ИПРЖР, 2002.-Кн.8.
3. Катковник В.Я., Полуэктов Р.А. Многомерные дискретные системы управления. – М.: Наука, 1966.
4. Омату С., М.Халид, Р.Юсоф. Нейроуправление и его приложения.– М.: ИПРЖР, 2000.- Кн.2.
5. Фихтенгольц Г.М. Математика для инженеров.– Ленинград: ГТТИ, 1933.- Ч.2.
6. Розроблення методології синтезу та обґрунтування доцільності впровадження інтелектуальних гібридних систем автоматичного управління технологічними процесами на основі нейромережевих структур та методів нечіткої логіки: Звіт з НДДКР (відп. вик. Щокін В.П.)/ Криворізький технічний університет. – 5.04.3 № ДР0104U004720. – Кривий Ріг, 2005.-250 с.
7. Розроблення методу та програмного забезпечення нейронечіткого планування енергетичного аудита на об'єктах енергоємних виробництв: Звіт з НДДКР за грантом Президента України № Ф11/11-2006 (наук. керівник Щокін В.П.)/ Криворізький технічний університет. – GP/F11/0002 № ДР0106U009498. – Кривий Ріг, 2006.-155 с.
8. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации / Пер. с польського И.Д.Рудинского. – М.: Финансы и статистика, 2002.

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА, КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

УДК 621.362

ПРИМЕНЕНИЕ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ INGAN В ФОТОВОЛЬТАИКЕ

Аппазов Э.С.

Известно, что максимальная эффективность преобразования солнечного излучения достигается при использовании соединений группы A_3B_5 для изготовления фотоэлектрических преобразователей (ФЭП) [1]. Это обеспечивается, с одной стороны, -подходящими электрофизическими свойствами соединений этой группы, с другой – возможностью создания твердых растворов на их основе, позволяющих варьировать ширину запрещенной зоны и другие важные для фотоэлектрического преобразования параметры в достаточно широком диапазоне значений и создавать многопереходные ФЭП.

Установленное истинное значение ширины запрещенной зоны нитрида индия [2,3] позволяет посмотреть по-новому на приборное использование этого материала [4]. В системе InN-GaN оказалось возможным получение твердых растворов с шириной запрещенной зоны от 0,78 эВ (InN) до 2,2 эВ (GaN) [5], перекрывающих спектральный диапазон от ультрафиолетового до ближнего инфракрасного излучения, т.е., создания ФЭП для любой длины волны в этом диапазоне. В настоящей работе мы определим потенциальные возможности ФЭП на основе $In_xGa_{1-x}N$ при преобразовании солнечного излучения.

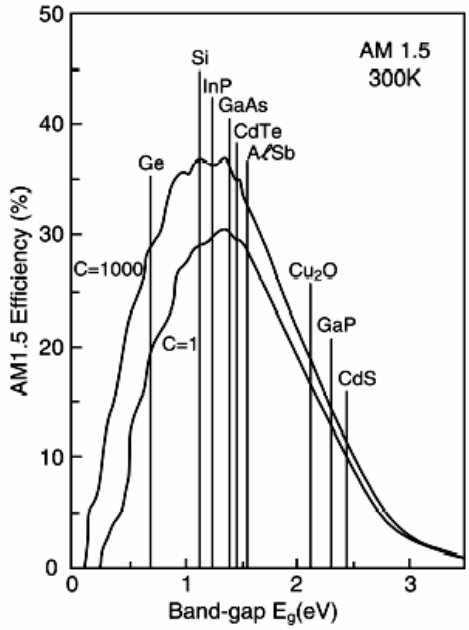


Рис. 1 Зависимость максимального к.п.д. преобразователя солнечного излучения от ширины запрещенной зоны [1]

Рис. 1 демонстрирует зависимость идеального к.п.д. фотопреобразователя от ширины запрещенной зоны Eg материала для однопереходного ФЭП при АМ 1,5 и конкретные значения эффективности для некоторых, наиболее эффективных в фотопреобразовании солнечной энергии материалов. Приведенная зависимость показывает, что максимальная эффективность преобразования солнечного излучения будет достигнута при использовании материала со значением E_g между E_g(InP) = 1,26 эВ и E_g(GaAs) = 1,424 эВ. Легко определить, что ширина запрещенной зоны E_g оптимального для солнечного спектра материала примерно составляет 1,334 эВ. Расчетная зависимость $n(E_g)$ получена при использовании общего термодинамического подхода, при котором поглощение ка-

 ISBN 7-776-8361-7

ждого фотона с энергией $h\nu > E_g$ сопровождается рождением электрона, дающего вклад в фототок [1]. Отметим, что на сравнительно небольшой энергетический интервал, равный разнице ширины запрещенной зоны GaAs и $E_g(In_xGa_{1-x}N) = 1{,}334$ эВ, приходится около 9% всех фотонов, излучаемых Солнцем. Известно, что не для всех твердых растворов закон Вегарда выполняется строго [6]. Особенности изменения ширины запрещенной зоны твердого раствора $In_xGa_{1-x}N$ в настоящее время точно не установлены. Однако, экспериментальные данные фотолюминесценции (ФЛ) [6] твердых растворов $In_xGa_{1-x}N$, в предположении, что краевая полоса ФЛ формируется зона-зонными переходами, позволяет считать, что закон Вегарда выполняется строго, как это обычно происходит в твердых растворах A^3B^5 с подобной зонной структурой бинарных соединений, образующих твердый раствор.

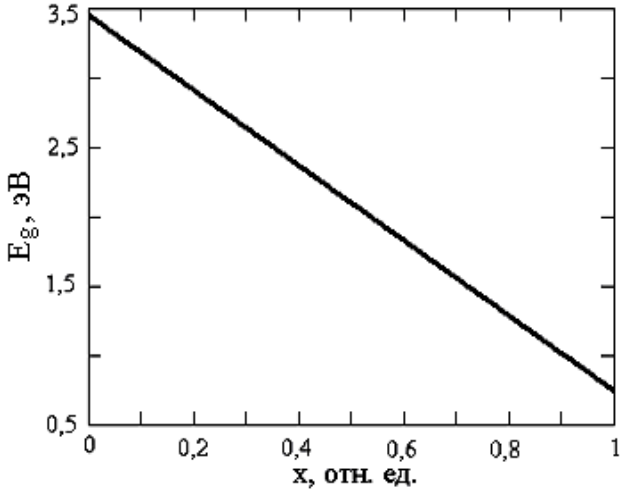
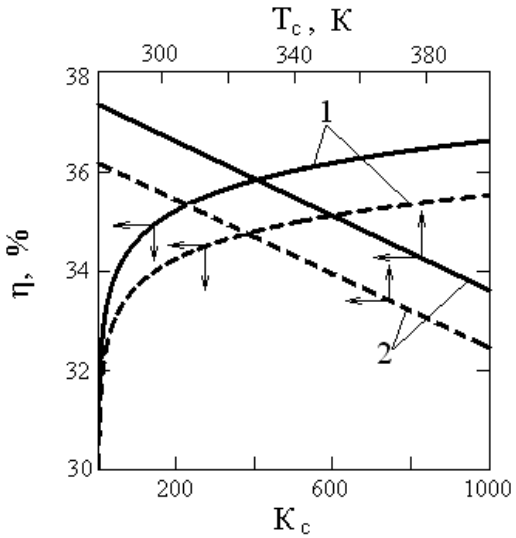


Рис. 2 Зависимость ширины запрещенной зоны твердого раствора InxGa1-xN от концентрации индия

Зависимость E_g твердого раствора $In_xGa_{1-x}N$ от его состава приведена на рис. 2. Таким образом, можно определить, что ширине запрещенной зоны 1,334 эВ будет соответствовать твердый раствор с мольной долей индия x = 0,55. Особенно существенно преимущества $In_{0,55}Ga_{0,45}N$ проявляются при преобразовании концентрированного солнечного излучения, что наглядно демонстрирует рис. 3.



——— $In_{0.55}Ga_{0.45}N$, — — — GaAs.

Рис. 3 Зависимость к.п.д. от:
1 - коэффициента концентрации излучения;
2 - температуры преобразователя

Здесь зависимости к.п.д. от степени концентрации $К_c$ рассчитаны для температуры ФЭП 280 К. С увеличением температуры эксплуатации ФЭП, что является характерным при преобразовании концентрированного солнечного излучения, эффективность ФЭП уменьшается [7], но для $In_xGa_{1-x}N$ снижение к.п.д. происходит медленнее, чем для фотопреобразователя на основе арсенида галлия. Если для Т = 280 К при $К_c$ = разница к.п.д. составляет 0,93 %, то для Т = 340 К эффективность ФЭП на основе твердого раствора выше на 0,95 %.

Таким образом можно утверждать, что фотопреобразователи на основе тверды растворов $In_xGa_{1-x}N$ могут быть использованы при производстве преобразователей солнечного излучения. Кроме того, температурная стабильность данных материалов делает возможным концентрацию солнечного излучения.

Possibility of application of hard solution of $In_xGa_{1-x}N$ for the production of converters of sun radiation is considered. Solution and his efficiency is offered by comparison to a traditional converter on the basis of antimonide gallium is counted.

1. Зи С. Физика полупроводниковых приборов: В 2-х книгах. Кн. 2. Пер. с англ. – 2-е перераб. и доп. изд. – М.: Мир, 1984. – 456с.

2. Davydov V. Yu., Klochikhin A. A., Seisyan R. P., Emtsev V. V., Ivanov S. V., Bechstedt F., Furthmueller J., Harima H., Mudryi A. V., Aderhold J., Semchinova O. // J. Phys. stat. sol. (b). – 2002. -229. – P. 195.

3. Miyajima T., Kudo Y., Liu K.-L., Uruga T., Honma T., Saito Y., Hori M., Nanishi Y., Kobayashi T., and Hirata S. Structure Analysis of InN Film Using Extended X-Ray Absorption Fine Structure Method. // Phys. stat. sol. (b). – 2002. - 234, № 3. - P 801–804.

4. S. Shutov, E. Appazov, V.Shostak. New application of InN. // InN, GaN, AlN and related materials, their heterostructures and devices. E-MRS Spreeng Meeting 2004. May 24-28 2004. –Strasbourg. - L/PII.03.

5. Davydov V. Yu., Klochikhin A. A., Emtsev V. V., Kurdyukov D. A., Ivanov S. V., Vekshin V. A. Band Gap of Hexagonal InN and InGaN Alloys. // Phys. stat. sol. (b). – 2002. - 234, № 3. – P. 787–795.

6. Чопра К., Дас С. Тонкопленочные солнечные элементы. – М.: Мир. - 1986. – 440 с.

7. Wysocki J.J., Rappaport P. Effect of Temperature on Photovoltaic Solar Energy Conversion. // J. Appl. Phus. – 1960. -31. – P. 571

 ISBN 7-776-8361-7

УДК 621.313.1/3

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ВРАЩЕНИЕ РАМКИ С ТОКОМ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ ПОСЛЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА НЕЕ ВНЕШНЕГО ИМПУЛЬСА

Евдокимов А.В., Китаев А.В., Агбомассу В.Л.

Введение. Согласно положений теории известно, что если ток в проводниках рамки не меняет своего направления, то она вращаться не будет. Это суждение легко доказывается при обращении к рис.1. Действительно, согласно закону Ампера на проводники рамки действуют выталкивающие силы. Они то и поставят рамку в состояние устойчивого равновесия, при котором система будет обладать максимальным потокосцеплением (магнитное поле полюсов и самой рамки совпадают по направлению). Известно также, что для обеспечения непрерывного вращения рамки нужно использовать коллектор. В простейшем случае он состоит из двух изолированных друг от друга полуколец, к которым припаяны выводы рамки.

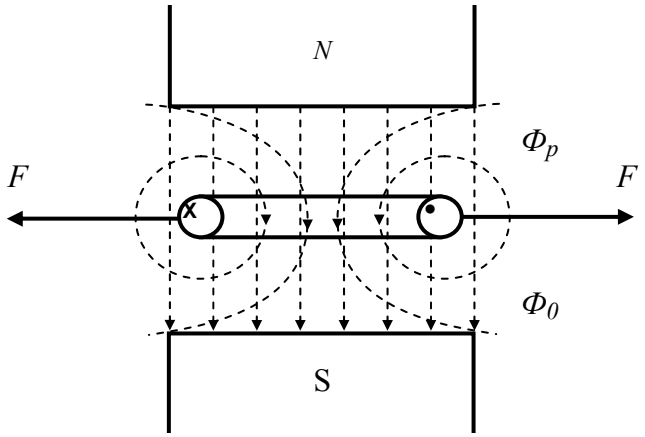


Рис.1 Положение рамки с током при помещении её в магнитное поле

Однако эксперимент показал, что и при отсутствии коллектора рамка будет вращаться. Для этого достаточно вывести ее из состояния устойчивого равновесия воздействием внешнего толчка (импульса). Такой результат был получен на макетном устройстве, конструктивная схема которого приведена на рис.2. Она состоит из двух плоских постоянных магнитов 1, обращенных друг к другу своими разноименными полюсами N и S, непосредственно самой рамки 2, по которой протекает ток I от источника постоянного тока 3, благодаря контактнім стойкам 4. Последние изолированы от тела постоянного магнита прокладками 5.

Полученный итог определил необходимость поиска степени новизны описаного явления и его изученности.

Анализ публикаций. Согласно материала, изложенного во введении были изучены следующие научно-технические источники: учебная литература по физике (раздел „Электромагнетизм”), электротехнике, электрическим машинам и электрическим аппаратам, публикации в форме статей отечественных и зарубежных авторов (в общей сложности более трехсот наименований) и патентная информация. Результаты выполненных исследований позволили сделать вывод, что вопрос устойчивого состояния рамки с током в магнитном поле при малых возмущениях (устойчивость в «малом») подробно рассматривается многими авторами. Однако эффект ее вращения от внешнего толчка (импульса) (неус-

тойчивость в «большом») научной общественности не известен и потому требует подробного описания.

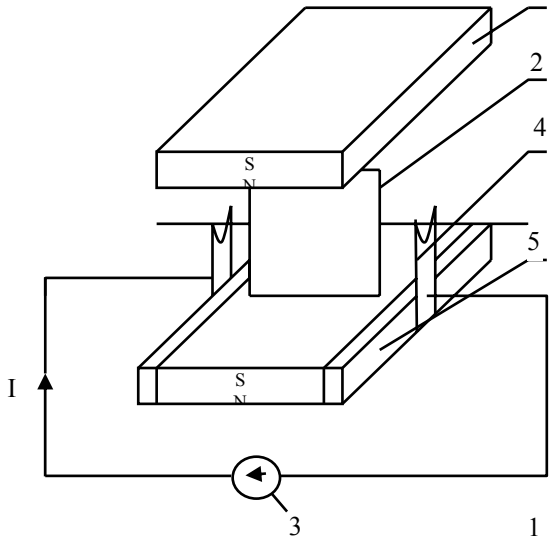


Рис. 2 Принципиальная схема макетного устройства

Постановка задачи. Раскрыть суть физических явлений, определяющих механизм вращения рамки с током в магнитном поле после воздействия на нее внешнего толчка (импульса), и на этой основе построить убедительное научное объяснение.

Изложение материалов исследования. Работа была построена на изучении следующих версий:

- вращение рамки обусловлено её геометрической и магнитной асимметрией;
- моменты вращения и торможения, прикладываемые к рамке за её полный оборот, не равны друг другу из-за разницы сил притяжения и отталкивания взаимодействующих магнитных полей;
- парадокс связан не с рамкой, а с её контактными узлами;
- принятая трактовка механизма формирования воздействующих на рамку механических сил нуждается в уточнении.

Геометрическая асимметрия возможна при исполнении рамки согласно рис.3а. Тогда из-за явно выраженного дебаланса (с одной стороны рамка имеет два проводника, с другой – всего один) рамка всегда будет занимать неизменное стартовое положение, при котором воздействующий на неё момент имеет максимальное значение и зависит от задаваемого направления тока.

При использовании рамки описанной конструкции выгодно создание магнитной асимметрии, например, за счёт удаления верхнего магнитного полюса. Это связано с тем, что тормозной момент, действующий на рамку при прохождении проводником верхнего полюса исчезнет, и тогда она приобретёт на только способность к вращению, но и к самозапуску. Эти явления, следующие из анализа формулы закона Ампера, подтверждает эксперимент. Их действительно можно наблюдать после подбора соответствующего значения тока. Однако исключение магнитной асимметрии, т.е. при возвращении магнитного полюса на предназначенное ему в конструкции место при условии уже вращающейся рамки лишь способствует усилению вращения. А это обстоятельство на основании использования формулы закона Ампера объяснению не поддаётся.

 ISBN 7-776-8361-7

Рассмотренная картина более или менее сохраняется и при использовании рамки симметричной конструкции (см. рис. 3б), но при явно сниженной способности к самозапуску.

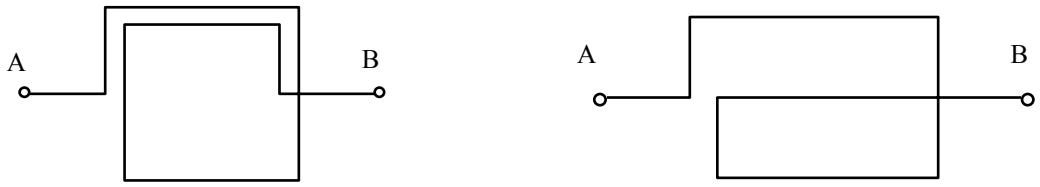


Рис. 3 Возможные конструкции рамок

Вторая версия была рассмотрена в связи с вынужденным отходом от закона Ампера и попыткой объяснить эффект вращения рамки через взаимодействие магнитных полей Ф0 и ФР, полюса которых за один полный оборот то притягиваются, то отталкиваются. В принципе здесь можно было ожидать, что из-за разницы картин магнитных полей произойдёт изменение магнитной проводимости, которая определит отличие в значениях моментов, способствующих вращению и торможению рамки. Но специально поставленный эксперимент по определению сил притяжения и отталкивания при различных воздушных зазорах разницы между ними не выявил.

Причиной создания третьей версии послужила демонстрация А.В.Нетушилом на одной из конференций в 1991 году явления вращения одиночного ротора асинхронного двигателя, сохранившего на своём валу шарикоподшипниковые узлы, к которым и было подведено напряжение питания. Автор объяснил этот феномен особыми физическими процессами, при которых возникающая электрическая дуга толкает шарик, а через него и вал ротора. Так и в нашем случае можно было говорить о создании в месте контакта локального магнитного поля, расположенного перпендикулярно основному от постоянных магнитов. При внешнем толчке рамки место контакта смещается, что ведёт к повороту локального поля. Это определит появление силовой составляющей, толкающей ось (провод рамки) в направлении вращения. Однако, если описанная картина явлений справедлива, то явление вращения сохранится и при замене рамки на одиночный провод, касающийся тех же контактных узлов. Но практическая реализация этого предложения убедила в том, что одиночный провод способностью к вращению не обладает.

Итак, выдвинутые в обход закона Ампера версии себя не оправдали и определили возврат к последнему, но с намерением ввести уточнения в механизм образования выталкивающей силы. Поиск решения задачи заставил обратить внимание на аналогию в формировании векторов выталкивающей силы $\vec{F}$ и вектора Умова-Пойтинга $\vec{\Pi}$ [1, 2]. За приемлемость такой аналогии выступают следующие аргументы:

- единая энергетическая природа обоих процессов;

- использование для их описания системы правоходового винта;

- наличие в них общей компоненты магнитного поля, по отношению к которой результирующие векторы $\vec{F}$ и $\vec{\Pi}$ расположены перпендикулярно и т.д.

Но, как известно, вектор $\vec{\Pi}$ есть результат векторного произведения двух компонент: магнитной и электрической, т.е. $\vec{\Pi}=[\vec{E}\times\vec{H}]$, где $\vec{E}$ и $\vec{H}$ - векторы напряжённости соответственно электрического и магнитных полей.

Согласно предложенной к рассмотрению аналогии при формировании выталкивающей силы также должна участвовать электрическая компонента, вектор которой расположен перпендикулярно по отношению к силе $\vec{F}$ магнитному полю $\vec{H}$. Можно говорить, что по тому же принципу построен и закон Ампера и в качестве электрической ком-

поненты здесь использован ток I, протекающий по виткам рамки. Но ток - скаляр и потому нарушает избранную систему рассуждений. По формальным и физическим понятиям здесь, по нашему мнению, более выгодно использовать другой показатель, а именно: тангенциальную составляющую вектора электрической напряжённости $\vec{E}_t$, которая по своему направлению совпадает с током I и при неподвижной рамке создаётся под воздействием ЭДС источника. Примем для неё обозначение $\vec{E}_{tu}$ и тогда для силы $\vec{F}$ можно написать следующее соотношение пропорциональности:

$$\vec{F} \equiv [\vec{E}_{tu}\ \vec{H}]$$

Если же рамка вращается, то формирование E_t, определят уже два фактора: источник энергии и ЭДС вращения $e_в=Blv$, где B - магнитная индукция; l - активная длина проводника витка рамки; v - линейная скорость движения проводника в магнитном поле. Очевидно, что ЭДС вращения, непосредственно воздействуя на величину тангенциальной составляющей электрической напряжённости значением $E_{te}=e/l$, ведёт себя по разному по отношению к $\vec{E}_{tu}$ любого проводника рамки в зависимости от его положения (см. рис. 4).

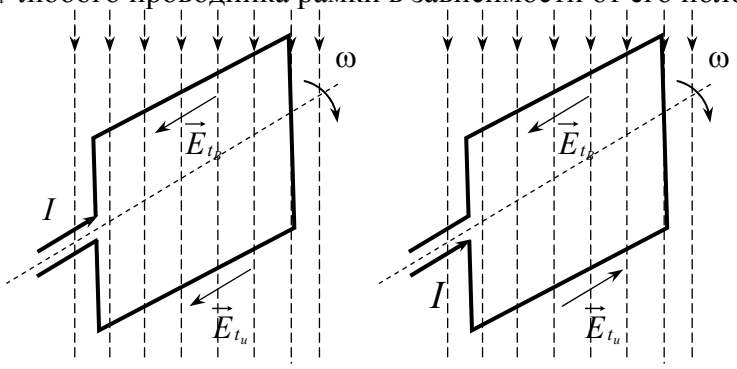


Рис.4 Иллюстрация к суммированию и вычитанию $E_{t_в}$ и E_{t_u} при различных положениях рамки

Анализ рисунка убеждает, что в одном положении рамки $\vec{E}_{tu}$ и $\vec{E}_{tв}$ проводников вычитаются, в другом, наоборот, складываются. Это означает, что аналитическое выражение для силы приобретает вид:

$$\vec{F} \equiv \left[(\vec{E}_{tu} \pm \vec{E}_{tв})\vec{H}\right]$$

т.е. выталкивающие силы, действующие на верхний и нижний проводники при каждом полуобороте рамки разные. В таком случае среднее значение момента за один оборот вращения рамки будет отлично от нуля и, если оно превысит момент сил трения, препятствующих движению, то рамка придет во вращение.

Таким образом, физической причиной вращения рамки в магнитном поле при неизменном по величине и направлению токе является модуляция тангенциальной составляющей электрической напряжённости, развивающая и поддерживающая момент вращения. Описанный принцип открывает возможность построения бесколлекторных двигателей постоянного тока [3] со следующими достоинствами: простота, повышенная надёжность и дешевизна. По своему конструктивному исполнению они имеют сходство с исполнительными двигателями постоянного тока, содержащими полый или дисковый якорь [4]. Их возможный недостаток (недостаточный момент при пуске) может быть прёодолён за счёт введения в состав конструкции известных толкающих устройств (например, пусковой пружины) или за счёт выбора схемных решений.

 ISBN 7-776-8361-7

Выводы:

1). Симметричная рамка с током, помещенная в равномерное магнитное поле, имеет положение устойчивого равновесия и всегда вернется к нему, если относительно малые внешние возмущения приведут к ее отклонению на сравнительно небольшие углы, т.е. она устойчива в «малом».

2). Если воздействующий импульс способен сообщить рамке один и более оборотов, то в дальнейшем она будет вращаться самостоятельно по причине неустойчивости в «большом».

3). Физический механизм вращения рамки обусловлен модуляцией тангенциальной составляющей электрической напряженности.

4). На основе изложенного могут быть построены бесколлекторные двигатели постоянного тока.

In work it is shown, that according to the positions of the theory following from the law of the Ampere, in the stipulated conditions rotation of a framework cannot be. At the same time experiment convinces of the opposite. The analysis of the reasons of this phenomenon is executed and is established, that rotation of a mobile part of the device is defined with modulation of tangential making electric intensity in which creation participate the power supply and EMF, directed in conductors of a framework.

1. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники.- М.: Высшая школа, 1978, с.230.
2. Ионкин П.А. и др. Теоретические основы электротехники.- М.: Высшая школа, 1976, с.383.
3. Євдокімов О.В., Китаєв О.В., Шутов С.В. Електричний двигун постійного струму/ Патент на корисну модель № 33172. Заявка u2008 01873 від 13.02.2008 Бюл.№11 10.06.2008 р.
4. Юферов Ф.М. Электрические машины автоматики.- М.: ГЭИ, 1969, с.270.

УДК: 621.311:681.5

ВРАХУВАННЯ ОБМЕЖЕНЬ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМ РЕГУЛЮВАННЯ ЕНЕРГОБЛОКІВ ТЕС і АЕС

Ковриго Ю.М., Фоменко Б.В.

Підвищення ефективності, надійності і безпеки функціонування ТЕС та АЕС пов'язане з удосконаленням систем керування технологічними процесами енергоблоків. На передній план висуваються високі вимоги до точності регулювання технологічних параметрів в умовах постійно діючих збурень, обумовлених зміною навантаження і умов експлуатації, нестабільністю характеристик технологічних об'єктів керування. Підвищення точності керування технологічними процесами в свою чергу дає можливість підвищити якість функціонування енергоблоків в стаціонарних і перехідних режимах, зниження частоти їх зупинок внаслідок спрацьовування блокувань та захистів, підвищення надійності і безпеки експлуатації ТЕС та АЕС.

Одним із перспективних напрямків підвищення ефективності АСУТП теплоенергетичних процесів є використання нових структур систем регулювання. Удосконалення таких схем шляхом доповнення контурами підстройки параметрів в режимі нормальної експлуатації та в перехідних режимах дозволить суттєво підвищити якість регулювання і розширити область використання.

В системах автоматичного керування використовуються регулюючі органи та виконавчі механізми, які обмежені по амплітуді та/або швидкості наростання сигналу. Нехтування цією особливістю може призвести до серйозних погіршень у випадках, коли вхідний сигнал досягає цих обмежень. Одним загальним наслідком ситуації, в якій вхідний сигнал попадає в межі насичення є випадок, коли інтегратор в регуляторі продовжує інтегрувати в той час, коли вхідний сигнал обмежений. Це означає, що значення командного сигналу регулюючого блоку може досягнути неприпустимо високої величини, що призведе до поганої перехідної реакції. Величина інтегральної складової ПІ- або ПІД- регулятора пропорційна площині, яка обмежена перехідною характеристикою $y(t)$ і заданим значенням $y^*(t)$. Якщо сигнал похибки $e = y^*(t) - y(t)$ додатній, інтегральний член буде зростати, та навпаки. Доки керуючий сигнал необмежений, насичення відсутнє. Якщо керуючий сигнал обмежений, реакція стає більш повільною і інтегральна частина збільшується доти, доки похибка не змінить знак. Після зміни знаку сигналу похибки керуючий сигнал $u(t)$ залишається великим та додатнім на протязі тривалого часу, що призводить до значного перерегулювання по $y(t)$ та до збільшення часу регулювання [1].

До методів врахування обмежень відносяться алгоритми умовного інтегрування, компенсації інтегрального насичення та модельного прогнозуючого керування.

Метод умовного інтегрування полягає в вимиканні інтегратора при визначених умовах. В межах цього методу можна виділити чотири алгоритми, а саме, коли:

- інтегральна складова обмежена заздалегідь встановленим значенням;
- інтегратор зупиняється, коли похибка більша, ніж заздалегідь визначена границя, коли вихідна величина далеко від сигналу завдання;
- інтегратор зупиняється, коли насичується керуюча змінна, коли $u \neq \hat{u}$;
- інтегратор зупиняється, коли насичується керуюча змінна, і похибка керування і сигнал керування мають той же знак, тобто коли $u \cdot e > 0$.

Техніка компенсації інтегрального насичення може використовуватись в системах, в яких ефективно використовуються стандарті алгоритми регулювання, і можлива проста реалізація за рахунок використання стандартних блоків в програмному забезпеченні про-

 ISBN 7-776-8361-7

мислових контролерів. Методика розробки систем автоматичного керування з компенсацією інтегрального насичення зводиться до наступної процедури [2]:

1). Розробити систему автоматичного керування припускаючи, що лінеарізована модель адекватно відображає динаміку реальної замкнутої системи;

2). Додатковий нелінійний зворотній зв′язок розробляється з метою покращення реакції доти, доки не будуть виконані вимоги до системи. Загальний вигляд системи керування та регулятора з компенсацією інтегрального насичення показаний на рис. 1, 2, більш детально ці алгоритми розглянуті в [3] .

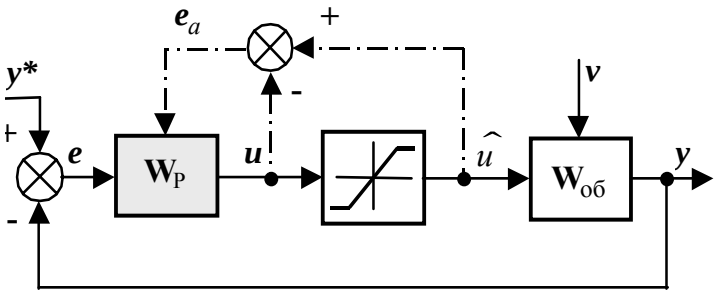


Рис. 1 Система керування з компенсацією інтегрального насичення

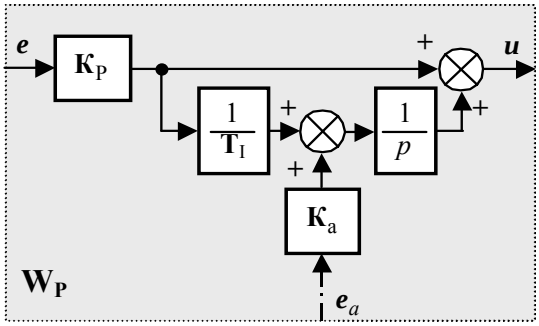


Рис. 2 Структура регулятора з компенсацією інтегрального насичення

Рівняння для регулятора з компенсацією інтегрального насичення:

$$u(p) = K_P e(p) + \frac{K_P}{T_I p} e(p) + \frac{K_a}{p}\left(\hat{u}(p) - u(p)\right) = \frac{(T_I p + 1)K_p e(p) + K_a T_I \hat{u}(p)}{T_I p + T_I K_a}$$

Якщо $K_a = \frac{1}{T_I}$, $u(p) = K_P e(p) + \frac{1}{T_I p + 1}\hat{u}(p)$

Для врахування вихідних обмежень (рис. 3) система, що представлена на рис. 1, може бути модифікована:

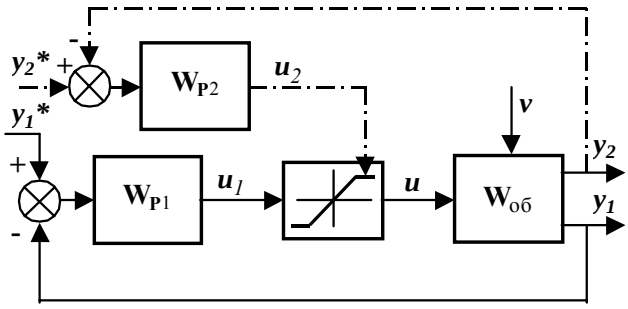


Рис. 3 Система керування з врахуванням вихідних обмежень

Інший клас стратегій, пов′язанних з обмеженнями – алгоритми модельного прогнозуючого керування. Основна ідея цих алгоритмів полягає в тому, щоб сформулювати задачу проектування регулятора як задачу оптимізації в реальному масштабі часу, що вирішується при умові заданих жорстких обмежень. До переваг використання модельного

прогнозуючого керування можна віднести: можливість керування багатомірними і багатозв′язними об′єктами зі складною структурою, що враховують нелінійності; оптимізація в реальному часі при обмеженнях на керуючі та керовані змінні; враховування невизначеності в завданні об′єктів і збурень; враховування транспортного запізнення та зміну критеріїв якості в ході процесу.

Алгоритм для модельного прогнозуючого керування наступний [4]:

1. Прогнозуюче керування на деякому інтервалі часу розраховується за математичною моделлю об’єкта;

2. Використовується оптимізація керування, метою якого служить наближення керованих змінних прогнозуючої моделі до відповідних сигналів завдання на горизонті прогнозу;

3. На кроці розрахунку реалізовується знайдене оптимальне керування і здійснюється вимір фактичного стану об’єкта на кінець кроку;

4. Горизонт прогнозу переміщується на крок вперед, і пункти 1-3 послідовності повторюються. Ілюстрація методу модельного прогнозуючого керування представлена на рис. 4.

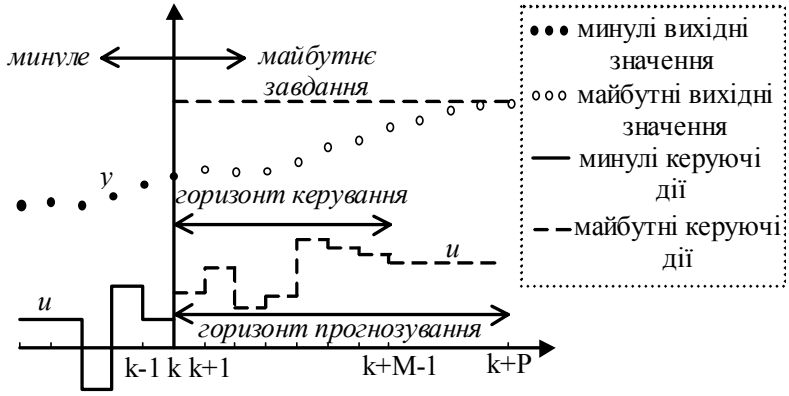


Рис. 4 Графічне представлення модельного прогнозуючого керування

Вищезазначена схема може бути об’єднана з попереднім проведенням ідентифікації рівнянь моделі, які використовуються для прогнозу. Підхід передбачає мінімізацію функціоналу, що характеризує якість процесу керування, в режимі реального часу, тому для роботи в реальному масштабі часу необхідно, щоб вирішення оптимізаційної задачі здійснювалось в межах допустимого запізнення.

Більш детально розглянемо в математичному вигляді вищезазначені кроки 1 та 2.

Крок 1. Знаходимо прогнозований вихід процесу за моделлю, що представлена у вигляді передатної функції [5]. Номінальна модель дана у вигляді:

$$a(z)y_k = b(z)u_k \tag{1.1}$$

Тоді якщо $A(z) = a(z)\Delta(z)$, то різницева форма рівняння

$$A(z)y_k = b(z)\Delta u_k \tag{1.2}$$

Визначимо $A(z)$, $b(z)$, якщо $b_0 = 0$

$$\begin{aligned} A(z) &= 1 + A_1 z^{-1} + A_2 z^{-2} + \cdots + A_{n+1} z^{-n-1} \\ b(z) &= b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2} + \ldots + b_n z^{-n} \end{aligned} \tag{1.3}$$

Для прогнозування на 1 крок вперед запишемо різницеве рівняння для (1.1)

$$y_{k+1} = -A_1 y_k - \ldots - A_{n+1} y_{k-n} + b_1 \Delta u_k + \ldots + b_{n-1} \Delta u_{k-n+1} \tag{1.4}$$

Виділимо компоненти, які є відомими, і компоненти, які залежать від ступеня свободи d.o.f. (приріст майбутніх керуючих дій)

$$y_{k+1} = \underbrace{-[A_1, \cdots, A_{n+1}]\underset{\leftarrow k}{y} + [b_2, \cdots, b_n]\Delta \underset{\leftarrow k-1}{u}}_{відомі} + \underbrace{b_1 \Delta u_k}_{d.o.f.} \tag{1.5}$$

 ISBN 7-776-8361-7

Для прогнозування на багато кроків вперед розраховуємо y_{k+1}, підставляємо в (1.5) на кроці $k+2$, щоб отримати y_{k+2}, використовуємо прогнозування на 2 кроки вперед для розрахунку y_{k+3}, і т.д. В результаті отримуємо:

$$\underbrace{\begin{bmatrix} 1 & 0 & \cdots & 0 \\ A_1 & 1 & \cdots & 0 \\ A_2 & A_1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \end{bmatrix}}_{C_A} \underbrace{\begin{bmatrix} y_{k+1} \\ y_{k+2} \\ \vdots \\ y_{k+n_y} \end{bmatrix}}_{\underset{\rightarrow k}{y}} + \underbrace{\begin{bmatrix} A_1 & A_2 & \cdots & A_{n+1} \\ A_2 & A_3 & \cdots & 0 \\ A_3 & A_4 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \end{bmatrix}}_{H_A} \underbrace{\begin{bmatrix} y_k \\ y_{k-1} \\ \vdots \\ y_{k-n} \end{bmatrix}}_{\underset{\leftarrow k}{y}} = \tag{1.6}$$

$$= \underbrace{\begin{bmatrix} b_1 & 0 & \cdots & 0 \\ b_2 & b_1 & \cdots & 0 \\ b_3 & b_2 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \end{bmatrix}}_{C_{zb}} \underbrace{\begin{bmatrix} \Delta u_k \\ \Delta u_{k+1} \\ \vdots \\ \Delta u_{k+n_y-1} \end{bmatrix}}_{\underset{\rightarrow k-1}{\Delta u}} + \underbrace{\begin{bmatrix} b_2 & b_3 & \cdots & b_n \\ b_3 & b_4 & \cdots & 0 \\ b_4 & b_5 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \end{bmatrix}}_{H_{zb}} \underbrace{\begin{bmatrix} \Delta u_{k-1} \\ \Delta u_{k-2} \\ \vdots \\ \Delta u_{k-n+1} \end{bmatrix}}_{\underset{\leftarrow k-1}{\Delta u}}$$

Знаходимо прогнозований вихід із виразу (1.6)

$$\underset{\rightarrow k}{y} = H\Delta \underset{\rightarrow k-1}{u} + P\Delta \underset{\leftarrow k-1}{u} + Q\underset{\leftarrow k}{y} \tag{1.7}$$

де $H = C_A^{-1}C_{zb}$, $P = C_A^{-1}H_{zb}$, $Q = -C_A^{-1}H_A$

Крок 2. Далі приведемо послідовність дій, необхідних для розрахування закону керування.

Запишемо функціонал:

$$J = \| \underset{\rightarrow}{r} - \underset{\rightarrow}{y} \|_2^2 + \lambda \| \Delta \underset{\rightarrow}{u} \|_2^2 \tag{1.8}$$

Підставимо (1.7) в (1.8):

$$J = \| \underset{\rightarrow}{r} - H\Delta \underset{\rightarrow}{u} - P\Delta \underset{\rightarrow}{u} - Q\underset{\leftarrow}{y} \|_2^2 + \lambda \| \Delta \underset{\rightarrow}{u} \|_2^2 \tag{1.9}$$

Розгорнувши рівняння (1.9), отримуємо:

$$\min_{\Delta \underset{\rightarrow}{u}} J = \Delta \underset{\rightarrow}{u}^T (H^T H + \lambda I)\Delta \underset{\rightarrow}{u} + 2\Delta \underset{\rightarrow}{u}^T H^T [P\Delta \underset{\rightarrow}{u} + Q\underset{\leftarrow}{y} - r] + k \tag{1.10}$$

$k = \| \underset{\rightarrow}{r} - P\Delta \underset{\rightarrow}{u} - Q\underset{\leftarrow}{y} \|_2^2$ містить параметри, що не залежать від $\Delta \underset{\rightarrow}{u}$, тому далі не враховуються.

Всі обмеження можна об′єднати і записати у вигляді системи лінійних нерівностей:

$$C\Delta \underset{\rightarrow}{u} - d_k \le 0 \tag{1.11}$$

де

$$C = \begin{bmatrix} I \\ -I \\ C_{I/\Delta} \\ -C_{I/\Delta} \\ H \\ -H \end{bmatrix}; \; d = \begin{bmatrix} \overline{\Delta U} \\ -\underline{\Delta U} \\ \overline{U} - Lu_{k-1} \\ -\underline{U} - Lu_{k-1} \\ \overline{Y} - Q\Delta \underset{\leftarrow}{u} - P\underset{\leftarrow}{y} \\ -\underline{Y} - Q\Delta \underset{\leftarrow}{u} - P\underset{\leftarrow}{y} \end{bmatrix}, \; C_{I/\Delta} = \begin{bmatrix} I & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ I & I & 0 & \cdots & 0 \\ I & I & I & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ I & I & I & \vdots & I \end{bmatrix}, \; L = \begin{bmatrix} I \\ I \\ \vdots \\ I \end{bmatrix}, \quad \begin{matrix} \underline{\Delta U} \le \Delta \underset{\rightarrow}{u} \le \overline{\Delta U} \\ \underline{U} \le u \le \overline{U} \\ \underline{Y} \le y \le \overline{Y} \end{matrix}$$

I - одинична матриця.

Для оптимізації керування використовується вираз (1.10) та обмеження (1.11). Таким чином, для знаходження оптимального керування необхідно розв′язати задачу квадратичного програмування:

$$\min_{\Delta \underline{u}} J = \Delta \underline{u}^T S \Delta \underline{u} + 2\Delta \underline{u}^T f \qquad (1.12)$$

$$C\Delta \underline{u} - d_k \le 0, \text{ де } S = H^T H + \lambda I, \; f = [P\Delta \underline{u} + Q\underline{y} - \underline{r}]$$

В системах автоматичного керування теплоенергетичними процесами зазвичай використовуються ПІ- та ПІД- закони регулювання, які не завжди задовольняють вимогам до якості регулювання складними системами. Навіть, якщо при розробці та моделюванні системи автоматичного керування без врахування обмежень були знайдені оптимальні параметри регулятора, то в реальних умовах ці настройки призведуть до не найкращого перехідного процесу. До того ж відомо, що динамічні властивості об′єкта керування змінюються в часі при зміні режимів роботи і це може викликати необхідність підстроювання АСР у процесі експлуатації.

Таким чином, виникає необхідність підвищення ефективності існуючих ПІ- та ПІД-регуляторів за рахунок маловитратної модернізації та з використанням нових принципів при розробці систем автоматичного керування теплоенергетичними процесами. В статті розглядається розробка систем автоматичного керування з використанням алгоритмів регулювання з врахуванням обмежень і надаються рекомендації щодо їх реалізації.

Робота вищезазначених алгоритмів розглядалась на прикладі системи автоматичного регулювання теплового навантаження котла ТПП-210А. В якості структури АСР теплового навантаження була обрана триконтурна схема, яка детально описана в роботі з маловитратної модернізації котла ТПП-210 А [6].

Система пилоподачі котла в умовах експлуатації підлягає дії багатьох керуючих і збурюючих впливів, до яких можна віднести зміни подачі палива і первинного повітря, якість палива, режим роботи системи пилоприготування, характер витікання пилу з бункера та ін. Ці збурення мають випадковий характер і впливають на рівномірність розподілу палива по пальниках, і стабілізацію пилоподачі в часі, що призводить до зміни експлуатаційних показників котла, що визначають надійність та економічність його роботи. Враховуючи вищезазначене, висуваються підвищенні вимоги до якості регулювання теплового навантаження.

Моделювання та дослідження АСР теплового навантаження проводились з використанням мови програмування пакету Matlab та середовища Simulink.

Дослідження алгоритмів умовного інтегрування на прикладі вищезазначеної системи дали наступні результати. Перші два алгоритми мають недолік – вони можуть впливати на статичну похибку. Насправді, в першу чергу обмеження на інтегральну складову не повинні перешкоджати досягненню заданого значення. Також необхідно уникнути залипання регулятора на такому значенні, при якому похибка керування все ще більша, ніж граничне значення. Виходить, що обидва методи потребують використання додаткових параметрів, які обираються з вимогою забезпечення компромісного рішення між необхідністю уникнути насичення інтегратора та необхідністю забезпечити нульову статичну похибку. Можна уникнути цих проблем, якщо використовувати 3 та 4 алгоритм. Але відносно третього алгоритму, четвертий має велику перевагу, яка полягає в тому, що інтегратор не зупиняється, щоб допомогти увести керуючий сигнал від насичення. Перехідні процеси з використанням 4-го алгоритму умовного інтегрування в порівнянні з алгоритмом компенсації інтегрального насичення майже не відрізняються, тому результати в таблиці приводяться тільки для одного алгоритму.

Далі дослідження проводились за наступною схемою: 1 - в системи були введені обмеження на керуючий вплив, 2 - за рахунок використання алгоритмів компенсації інтегрального насичення були покращені перехідні процеси, 3 - для регулювання вищезазначених параметрів було використане модельне прогнозуюче керування з обмеженнями. Отримані результати були зведені в табл. 1.

 ISBN 7-776-8361-7

Також було проведене моделювання АСР теплового навантаження з врахуванням вихідних обмежень. Результати – зменшується динамічна похибка, але час регулювання майже не зменшується.

Таблиця 1

Прямі показники якості для розглянутої АСР

Вид АСР	АСР теплового навантаження			
	Збурення-вихід		Завдання-вихід	
	$\Delta_{дин}$	$T_{рег}$, с.	П, %	$T_{рег}$, с.
1. АСР з обмеженнями	1,13	2800	8	2950
2. АСР з алгоритмом компенсації інтегрального насичення	1,1	1520	8	1670
3. АСР з модельним прогнозуючим керуванням	0,88	750	1	500

Як видно з табл. 1, використання алгоритмів компенсації інтегрального насичення та модельного прогнозуючого керування значно покращують якість регулювання, а саме – зменшують динамічну похибку $\Delta_{дин}$, перерегулювання П та час регулювання $T_{рег}$.

З використанням алгоритму компенсації інтегрального насичення в порівнянні з ПІД-законом регулювання зменшились: динамічна похибка на 12%; час регулювання на 45%. З використанням алгоритму МПК з обмеженнями в порівнянні з ПІД-законом регулювання зменшились: динамічна похибка на 22%; перерегулювання на 88%; час регулювання на 73% (збурення-вихід) та 83% (завдання-вихід).

Враховуючи результати досліджень, можна зробити наступні рекомендації по використанню алгоритмів для підвищення якості функціонування систем автоматичного керування теплоенергетичними процесами.

Алгоритми умовного інтегрування та компенсації інтегрального насичення слід використовувати:

1). В системах, де стандартні ПІ- та ПІД-регулятори задовольняють вимогам регулювання;

2). З алгоритмами автопідстройки.

Модельне прогнозуюче керування слід застосовувати:

1). Коли використання стандартного ПІ- або ПІД-закону регулювання не задовольняє поставленим вимогам. Коли об′єкту керування властива велика інерційність, наявність великого запізнення, інверсна реакція.

2). Коли незначна зміна керуючого сигналу викликає значну зміну керованої величини.

3). Врахування обмежень на вихідні параметри та керуючі змінні важливе для нормального регулювання.

До того ж, перевагою використання алгоритмів умовного інтегрування та компенсації інтегрального насичення є простота реалізації як на існуючих системах регулювання з використанням промислових контролерів, так і на етапі їх проектування. Оскільки ці методи сформульовані як у вигляді структурних схем, так і в алгоритмічному вигляді, то їх можна достатньо легко реалізувати на промислових контролерах як за допомогою технологічних, так і стандартних мов програмування. Кращі результати дає використання модельного прогнозуючого керування, але вирішення задачі оптимізації в режимі on-line потребує використання сучасних обчислювальних комплексів з високою швидкодією. Таким чином, при розробці систем автоматичного керування для підвищення ефективності функціонування енергоблоків ТЕС і АЕС доцільно використовувати вищерозглянуті алго-

ритми, враховуючи доступні технічні засоби, складність процесів та технологічні вимоги до них.

Основна увага в статті приділяється розробці регуляторів для систем з обмеженнями. В роботі розглядаються алгоритми умовного інтегрування, компенсації інтегрального насичення та модельного прогнозуючого керування, які враховують обмеження, на прикладі системи автоматичного регулювання теплового навантаження котла.

Основное внимание в статье уделяется разработке регуляторов для систем с ограничениями. В работе рассматриваются алгоритмы условного интегрирования, компенсации интегрального насыщения и модельного прогнозирующего управления, которые учитывают ограничения, на примере системы автоматического регулирования тепловой нагрузки котла.

This article deals with the problem of designing controllers to systems with constraints. The algorithms of conditional integrating, anti-windup and model predictive control are considered for the control system of boiler.

1. Гудвин Г.К. Проектирование систем управления / Гудвин Г.К., Гребе С.Ф., Сальгадо М.Э.-М.: БИНОМ, 2004. - 911 с.

2. Glattfelder A.H. Control systems with input and output constraints / Glattfelder A.H., Shaufelberger W. – London.: Springer, 2003. – 499 p.

3. Ковриго Ю.М., Фоменко Б.В., Полищук И.А. Математическое моделирование систем автоматического регулирования с учетом ограничений на управление в пакете Matlab // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. - 2007. - №2. -С.21-28.

4. Веремей Е.И. Пособие “Model predictive control toolbox” [електронний ресурс] / Веремей Е.И., Ермеев В.В., Сотников М.В. – Електрон. дан. – Режим доступу: http://matlab.exponenta.ru/modelpredict/book1/index.php, вільний.

5. Rossiter J.A. Model-based predictive control: a practical approach. CRC Press, 2003. – 344 p.

6. Свириденко В.П., Попутников А.Б. Опыт модернизации схемы регулятора тепловой нагрузки котла ТПП-210А при работе на угольной пыли // Энергетика и электрофикация. - 2001. -№4. – С.20-23.

 ISBN 7-776-8361-7

УДК681.513.8

УПРАВЛІННЯ АВТОМАТИЗОВАНИМИ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ КОМПЛЕКСАМИ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ НА ОСНОВІ СЦЕНАРНОГО ПІДХОДУ

Ладанюк А.П., Українець А.І., Кишенько В.Д.

Технологічні комплекси (ТК) харчової промисловості (цукрових заводів, спиртових, хлібопекарських та інш.), за показниками функціонування, структурою, методами управління та оцінками техніко-економічних показників відносяться до складних організаційно-технічних (технологічних) систем.

Організаційно-технологічні процеси (ОТП) мають риси як технічних, так і організаційних систем:

- багатовимірність;
- складність та змінюваність структури;
- наявність та зміна багатьох цілей;
- недетермінованість;
- активність та інш.

Наявність особи, що приймає рішення (ОПР) у системах управління ОТП має позитивні аспекти:

- адаптивність, толерантність до зміни структури;
- суб'єктивна оптимізація рішень, які приймаються.

Але не можна не враховувати суттєві недоліки:

- нездатність до переробки значних масивів інформації;
- зниження надійності в зв'язку із втомлюваністю ОПР;
- недостатня кваліфікація персоналу;
- запізнювання у прийнятті рішень.

Серед багатьох проблем, пов'язаних з управлінням ТК, головними є формування ефективних управлінь (прийняття рішень) в умовах високого рівня невизначеностей, ідентифікація ситуацій та прогнозування їх розвитку з урахуванням множини цілей та існуючих ресурсів [1,2].

Для ефективного функціонування ТК необхідна оперативна достовірна інформація як технологічного, так і техніко-економічного характеру, що реалізується в рамках ієрархічних систем управління з розподілом функцій та задач між рівнями та підсистемами.

В технічній літературі останніх років виділяються різні підходи до управління організаційно-технічними (технологічними) системами:

- - структурний;
- - системний;
- - директивний;
- - процесний;
- - ситуаційний.

Структурний підхід орієнтований на створення ієрархічних систем, які відповідають ієрархії об'єкта (ТК, підприємства) та задач управління, але існує множина структур, в рамках кожної з яких можна забезпечити виконання певних функцій. Віддати перевагу будь-якій структурі або визначити оптимальну структуру практично неможливо.

Процесний підхід орієнтований безпосередньо на кінцевий результат, тому можна оперативно оцінювати показники техніко-економічних ефектів. При цьому в загальному випадку процеси відображають шляхи досягнення результатів, і до стандартних процесів відносяться:

- процес управління;
- процес закупок (сировини, матеріалів, послуг інших організацій);

- процес збуту, тобто реалізації продукції і отримання прибутку;
- процес виробництва, тобто створення продукції (товарів і послуг).

Названі процеси є стратегічними і поділяються на ключові процеси, наприклад, управління ТК або підприємством включає:

- управління технологічними процесами;
- управління ресурсами;
- фінансовий менеджмент;
- облік (бухгалтерський, податковий);
- юридичну експертизу і супроводження.

Процесний підхід в управлінні дає можливість досягти таких результатів:

- всі процеси можна оцінювати за їх ефективністю, визначаючи «вузькі місця»;
- структура систем управління стає більш простою, скорочуються зайві потоки інформації на верхні рівні, підвищується відповідальність виконавців, скорочується кількість проміжних ланок керування;
- спрощується взаємодія між підрозділами, а часом стираються межі між ними;
- стає можливим оцінювати діяльність підрозділів та окремих співробітників за збалансованою системою показників, передавати їх на верхні рівні та отримувати безпосередньо відомості про стратегію системи в цілому.
- В рамках сучасних структур комп'ютерно-інтегрованих систем управління створюються можливості поєднання позитивних сторін структурного та процесного підходів на основі сценарно-ситуаційного управління. При цьому управління ТК в основних експлуатаційних режимах передбачає використання систем прийняття рішень в класі «ситуація - дія» або «ситуація – стратегія – дія», у тому числі на основі нечітких моделей з використанням нечітких когнітивних карт.

Найбільшою практичною проблемою в сучасних умовах є управління складноорганізованими системами в умовах невизначеності, які в різних проявах характерні для харчових виробництв (не можна достовірно передбачити реакцію об'єкта управління на зовнішні дії; різноманітні конфлікти, що виникають в процесі управління, не можуть бути розв'язані однозначно на користь тих чи інших складових систем (необхідні компромісні варіанти організацій стратегій управління; досягнення цільового стану повинно здійснюватись по ефективній траєкторії). Виходячи із принципу еквіфінальності [3], розв'язання задач управління в умовах невизначеності теоретично повинно дозволити здійснити опис всієї допустимої множини станів об'єкта, що, звісно, приводить до недопустимого рівня багатомірності варіантів стратегій управління. Тому, доцільно застосувати сучасні підходи до організації ефективних управлінь: синергетичне управління і сценарний підхід [4, 5]. Загальна постановка задачі управління складними організаційно-технічними об'єктами при таких підходах полягає в наступному. Визначаються описи структур системи управління у вигляді початкового атрактора, який визначається як певна стабільна просторово-часова структура. Далі задається на основі досліджень деяка послідовність кроків (дій) переходу від попередніх структур – атракторів до цільових атракторів (історія переходу), а також опис умов цих переходів та їх часових параметрів. Експертним опитуванням встановлюються відносно стійкі структури – атрактори у фазовому просторі середовища, а також області їх притягування. Необхідно визначити: як виконати послідовність дій, щоб здійснити перехід від початкової до спланованої структури – атрактора; які умови і часові параметри такого переходу; яким чином можна оцінити достовірність кожного послідовного кроку такого переходу; яка ймовірність та можливість попадання із початкової структури в область притягування запланованої структури – атрактора; яка ймовірність стійкості системи при її атрактивній поведінці і за допомогою яких параметрів порядку можна описати області притягування системи в фазовому просторі середовища; яким чином можна оцінити ефективність, послідовність та подолання конфліктності при міжатрактивних переходах з урахуванням встановлених обмежень (часові, ресурсні, критеріальні, інформаційні); який кінцевий ефект всіх дій при варіанті переходу в цільовий стан системи. По-

 ISBN 7-776-8361-7

дібні визначення задач управління потребують відповідного функціонального забезпечення (моніторинг, діагностика, планування, реконструкція, прогнозування, прийняття рішень) у вигляді спеціальних схем – алгоритмів.

Загальна задача прийняття рішень по управлінню в умовах невизначеності Z(S,R) [6] полягає в тому, що для будь-якої ситуації S необхідно знайти таке рішення $r \in R$, яке є найкращим в деякому розумінні. Вся допустима множина ситуацій і безпосередньо зв'язаною з нею множиною рішень, що приймаються, можна визначити через S=(I, L, P), де I – множина інформації, L – множина об'єктів, P – множина предикатів. Конкретні ситуаційні стани об'єктів представляються із множини варіацій вище наведених базових елементів.

В харчовій промисловості широке застосування в різних виробництвах знайшли біотехнологічні процеси. Особливість формування сценаріїв управління біотехнологічними процесами вимагає всестороннього розгляду можливих підходів формування самоорганізаційних структур з урахуванням ризику та невизначеності. Важливим чинником формування стратегії управління з урахуванням ситуаційної невизначеності є включення механізмів синтезу управляючих сценаріїв поведінки параметрів біотехнологічних процесів. Врахування такого роду характеру поведінки біотехнологічних процесів дозволяє побудувати множину стратегічних сценаріїв управління.

При цьому розглядаються система моделей, що описує процеси зміни параметрів та умов функціонування біотехнологічних процесів, дискретно фіксуючи принципові з точки зору розробника системи управління біотехнологічними процесами моменти переходу на новий якісний рівень функціонування та режимів роботи. При розробці інтелектуальної підсистеми слід розрізняти сценарії управління і сценарії поведінки об'єкта [5]. Перший формується в залежності від цілі управління і правил вибору управляючих дій, в той час коли інший орієнтується на дескриптивне дослідження об'єкта управління. Основна різниця між ними полягає в тому, що в сценарії управління присутня ОПР, приймаючи активну участь в досягненні поставленої цілі управління.

Формування сценарію управління біотехнологічними процесами будується за суб'єктивно-об'єктивною схемою, яка застосовується в процесі аналізу та прийняття рішень, тобто спочатку із множини входів X та множині виходів Y формуємо розширений фазовий простір $Z = X \times Y$, в якому здійснюється дослідження поведінки параметрів біотехнологічного процесу [7]. На наступному етапі розбиваємо простір Z на підмножини, які характеризують якісно експертно значущі властивості біотехнологічних процесів.. При цьому експертним шляхом визначаємо робочу область $Z^0 \subseteq Z$, в якій розглядається функціонування об'єкта.

В основі експертного опису поведінки біотехнологічних процесів лежить поняття експертно значущої розбивки (ЕЗР) Q_r простору Z та експертно значущих подій (ЕЗП) Q_p, що проходять в послідовності, вказаній в системі впорядкування S_{vp}, яка визначається об'єктивними законами природи (фізикою проходження самого процесу) [8].

Представивши ЕЗР заданим набором показників (характеристик S_p), встановлюється центр елементарної розбивки, який задає нормальний стан виділених показників об'єкта, формуємо як стандартний стан деякої векторної згортки розширених фазових координат (наприклад, фазовий простір зміни координат системи).

Наступним кроком генерування сценарію є визначення зв'язків між елементами ЕЗР. Процедура розвитку ЕЗП може бути оцінена з різних точок зору [8]. Виділяють дві крайні можливості:

- слідування екзогенним шляхом (синергетичний підхід);
- слідування ендогенним шляхом, що ґрунтується на детальному описі перехідних процесів (в окремому випадку це можуть бути процеси управління з бажаною ціллю), які лежать в основі атрактивного підходу.

Між цими точками зору лежить цілий спектр можливих варіантів моделей. Для побудови сценарію формально пропонується використання двох часових шкал:

- шкала Z_t, за допомогою якої описуються динамічні траєкторії ОУ розширеного фазового простору Z (як правило, це шкала безперервного часу);
- шкала R_t дискретного часу, у відповідності з якою проходять всі події сценарію, що формується.

При формуванні сценарію послідовно виділяються фактори невизначені $a \in N_0$ і випадкові $b \in B_0$. Далі визначаються умовне рішення $R = (a,b) \in \Gamma_0 = N_0 \times B_0$, очікувана подія $J^i(x^{(i)}(t_i), y^{(i)}(t_i), t_i)$ в момент часу $t_i \in Z_t$, образ ситуації $S(t)$, образ обстановки $I(t_i)$ в момент часу $t \in Z_t$ [9].

Ефективним методологічним прийомом при визначенні елементів сценарію поведінки біотехнологічних процесів (БТП) може слугувати магістральний підхід до аналізу проблеми [6], зміст якого полягає в тому, що визначаються окремі спеціальні багатообрази (зони стійкості фазових портретів) фазового простору, які описують ефективні з точки зору заданих цільових функцій траєкторії розвитку системи. Визначення таких елементів дозволяє здійснити синтез оптимального управління і вказати відповідні оптимальні траєкторії проходження біотехнологічних процесів.

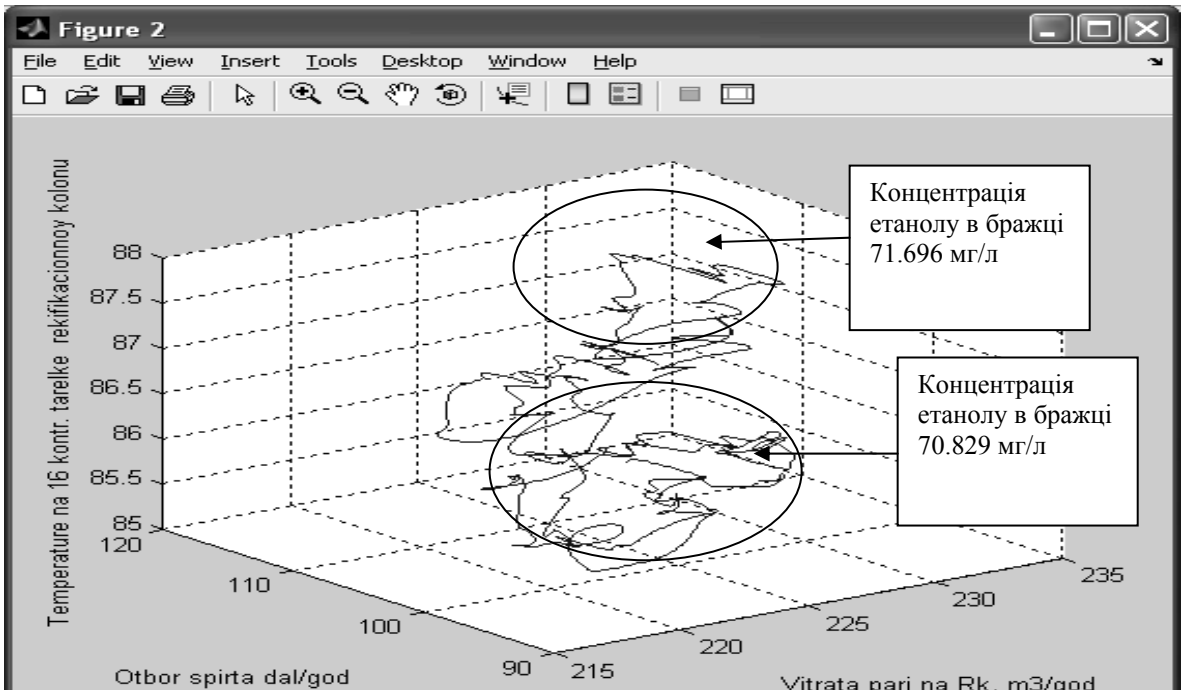


Рис. 1 Зміна температури на контрольній тарілці ректифікаційної колони (період спостереження 24 години)

На прикладі фазових портретів процесів брагоректифікації, як кінцевої стадії біотехнологічних процесів спиртового виробництва були виявлені характерні ситуаційно значущі зони (рис. 1).

Технологічна ситуація $S(t)$ як образ описується вектором ознак, що характеризують відповідний об'єкт, та визначається деяким відношенням на множині параметрів *{Y}*, яка характеризується множиною класів ситуацій $\{K_S\}$, що відображені в сценарії управління, множиною алгоритмів класифікації $\{K_A\}$, а також правилами вибору алгоритмів класифікації $\{P_K\}$.

$$\{Y\}=\{K_S,K_A,P_K\}, \quad (1)$$

 ISBN 7-776-8361-7

В даній предметній області в якості образу приймається множина станів роботи брагоректифікаційної установки, що дозволяє однозначно ідентифікувати ситуацію і віднести її до певного класу.

Для представлення даного підходу введемо поняття сценарію, як основної структурної одиниці бази знань. Сценарієм називається формалізований опис стандартної (прийнятної в даному контексті) послідовності взаємопов'язаних фактів, що визначають типову ситуацію предметної області. Це можуть бути послідовності дій або процедур, що описують способи досягнення цілей діючих осіб.

Характерними їх особливостями є врахування семантичних закономірностей та самоорганізаційних особливостей біотехнологічних процесів.

Виходячи з особливостей біотехнологічних процесів та їх дослідження, системи такого типу можна характеризувати наявністю русел та джокерів, які є властивими для хаотичних систем [10]. Тому доцільним методом побудови сценаріїв є сценарний аналіз, що базується на концепції сценарного обчислення: визначення пучків сценаріїв (сценарних просторів) і відповідних їм обраним пакетам невизначеностей та стратегій. В свою чергу над кожним з сценаріїв здійснюються певні операції.

Стратегії сценаріїв управління біотехнологічними процесами будуються на основі стратегії ОПР, в рамках повного циклу прийняття рішення та характерних властивостей біотехнологічного процесу визначених шляхом комп'ютерної обробки результатів експерименту.

При класифікації цілей управління біотехнологічними процесами можна виділити такі аспекти:

- - сценарії за масштабом охоплення подіями;
- - локальні сценарії, які складаються виключно для окремо взятої підсистеми управління біотехнологічними процесами і є основою для прийняття рішення локальною системою управління;
- - міжоб'єктні, що складаються для опису взаємодії та управління режимами їх взаємодії і є основою при управлінні розподіленою системою управління біотехнологічними процесами.

Побудова сценаріїв управління невід'ємно пов'язана з теоретичними та практичними основами управління хаосом, і оскільки запропоновані сценарії управління будуються шляхом їх синтезу на основі мережевого підходу [11], такий підхід дозволить оптимізувати конструктивний синтез сценаріїв управління шляхом структурування отриманих результатів моделювання біотехнологічних процесів, та вирішення задач багатоцільового управління в умовах невизначеності та ризику.

Побудова сценарію управління біотехнологічними процесами ґрунтується на концепціях самозародження хаосу в просторі режимних станів біотехнологічного процесу. Процеси виникнення та розвитку хаосу в нелінійних середовищах, до яких можна віднести біотехнологічні процеси, класифікуються в залежності від характеру росту розмірності атрактора в просторі. Якщо динаміка поля ускладнюється вздовж одного або декількох напрямків і, наприклад, розмірність реалізації збільшується вздовж координат, то такий сценарій розвитку доцільно назвати конвективним. Очевидно, що такий характер проходження процесів доцільно розглядати з точки зору вивчення „зсувної" турбулентності гідродинамічних потоків в біотехнологічних процесах, а також врахування особливостей масообміну. Такий характер поведінки доцільно врахувати при формуванні сценаріїв управління біотехнологічними процесами.

У випадку, коли при проходженні біотехнологічних процесів виникає хаотична поведінка нелінійного поля в локалізованих областях, і поступово підпорядковує сусідні ділянки, в кінцевому випадку в середовищі встановлюється просторово - часовий хаос з однорідними, в середньому, в просторі характеристиками, що в свою чергу приводить до встановлення стаціонарного режиму перебігу біотехнологічних процесів. Змістовну тео-

рію просторово-часового хаосу вдається використати в першу чергу в тих ситуаціях, коли динаміку нелінійного поля можна розглядати як динаміку ансамблю взаємодіючих стабільних та метастабільних структур, які виникають в результаті проходження складних процесів масообміну. В результаті розвитку первинної нестійкості в потоці формується ансамбль динамічних елементів - вихорів пов'язаних один з одним за рахунок збурень, які розповсюджуються вниз по потоку. Індивідуальна динаміка таких вихорів може бути досить різноманітною. Зокрема, на вихорах можуть виникати періодичні та квазіперіодичні коливання, це характерно видно з результатів моделювання біотехнологічних процесів. Якщо вихори взаємодіють між собою, то коливання можуть ускладнюватися, поки на одному з них не стануть хаотичними – утворюється дивний атрактор. При деяких спрощеннях вдається показати, що розвиток хаосу вздовж потоку здійснюється шляхом кінцевого числа біфуркацій (перебудов потоків), які розвертаються не при зміні керуючої змінної, а в просторі - вздовж ланцюга структур.

Виходячи з комп'ютерних експериментів поблизу критичної точки (точки виникнення хаосу) конкретні особливості нерівноважного середовища не відображаються на деталях того або іншого реалізованого в середовищі сценарію переходу. Кожному управляючому сценарію переходу до турбулентності відповідає деякий універсальний оператор, який не залежить від конкретного середовища, а визначається лише типом критичної поведінки. Цей універсальний оператор повинен бути нерухомою точкою, який відповідає рівнянням ренормгрупи, що є математичним виразом гіпотези про просторово - часову інваріантність в критичній точці і яка враховує інформацію про тип переходу [4].

Один з основних механізмів, які закладаються при розробці сценаріїв, є динамічна стратегія управління об'єктом, тобто організація послідовності управляючих діянь на біотехнологічних процесах, представлених у вигляді сценарію.

Послідовність певних дій в сценарії має властивість причинності(каузальності), що передбачає зв'язок попередньої дії з наступною. Така послідовність дій має чітко виражену направленість, що підпорядкована стратегії управління біотехнологічними процесами. Каузальний сценарій (КСЦ) управління має чітко структуровану (фреймову) будову. В КСЦ можуть бути реалізовані різні типи агрегативних відношень між елементами сценарію, що визначаються механізмами формування причинно – наслідкових зв'язків між елементами сценарію.

Реалізація КСЦ системи управління біотехнологічними процесами здійснюється на основі нечіткої моделі представлення знань. Такий спосіб є достатньо гнучким та зручним для представлення логічних відношень між елементами сценаріїв.

Формування управляючої послідовності інструкцій для системи управління біотехнологічними процесами проходить при допомозі процедури логічного висновку на етапі роботи інтелектуальної системи управління БТП. Основою для запуску машини висновку є виникнення ситуації і її повне розпізнання. При цьому проходить побудова деякої послідовності вигляду:

$$S_w = \sum_{i=1}^{n} S_i + \sum_{j=1}^{m} S_j + \sum_{k=1}^{p} S_k \ , \qquad (2)$$

де, i - номер блоку сценаріїв, виходячи з пріоритетної стратегії вибору, j - номер сценарію, виходячи із ознак образу ситуації; k -тий крок виконання обраного фрагмента сценарію. У основі методу побудови послідовності S_w, є принцип деталізації, який полягає у виборі альтернатив при побудові розширеного сценарію на основі укрупненої послідовності дій у відповідності з послідовністю:

$$S_w \to \Omega S_l \to \textit{деталізація процедур.}$$

 ISBN 7-776-8361-7

Для побудови сценаріїв управління БТП будемо користуватися методологією Юдицького С.А [12]. В основі даного підходу лежить методика побудови А та С сценарію. В основі А - сценарію лежить макропредставлення послідовності управлінь для досягнення поставлених цілей управління БРУ, а в основі С сценарію лежить представлення деталізації цих послідовностей, які впливають на виконання простих цілей управління БТП і визначають режими роботи та можливість оптимізації біотехнологічних процесів.

Разом з тим, кількість простих цілей та факторів впливу, навіть при невеликій кількості вихідних цілей може бути дуже великою. Виникає задача кількісної оцінки та ранжування для вибору найбільш значущих цілей та найбільш ефективніших факторів.

Сценарій управління БТП характеризується такими складовими:

- цілями управління БТП;
- факторами впливу на біотехнологічні процеси;
- операціями;
- міжопераційними зв'язками.

На наступному етапі розробки сценаріїв формується графічне представлення. Для формування А – сценарію біотехнологічного процесу слід виділити об'єктні потоки.

Основні елементи, з яких складається сценарій мають такі характеристики:

1) окремі фактори, які входять в сценарій, виражені лінгвістичною змінною, що характеризує його нечітку належність до певного лінгвістичного поняття(„низько", „нижче норми", „норма", „вище норми", „високо") або в більш розширеному варіанті;

2) на основі експертного опитування вводяться бальні оцінки пріоритету цілей та експертні імовірності оцінки досягнення цілей при різних значеннях факторів впливу на протікання біотехнологічного процесу.

В ході управління БТП може виникнути множина ситуацій, які в свою чергу викликають необхідність розгляду та розробки алгоритмів для поточного аналізу ситуацій в реальному масштабі часу.

Процеси сценарного управління, що протікають в автоматизованій системі управління БТП, слабко формалізуються через свою недетермінованість(динаміку зміни можливих стратегій). Ця обставина приводить до складності апарата, що моделює логічну структуру управління цим процесом. Як інструмент для моделювання й дослідження якісних характеристик динамічних дискретних систем і процесів широко використається апарат мереж Петрі [12], який доцільно закласти в реалізацію сценаріїв по управлінню БТП. Разом з тим, класичний апарат мереж Петрі не вільний від недоліків, що обмежують можливості рішення практичних завдань. Проблема може бути вирішена шляхом накладення деяких обмежень на клас розв'язуваних завдань, що дозволяє виділити із всієї множини мереж Петрі певний підклас із додатковими властивостями.

В процесі синтезу та аналізу сценаріїв необхідним є виділення поняття зв'язування сценаріїв. Сценарій S_i називається зв'язаним через перехід t_k з сценарієм $S_j(S_j \xrightarrow{tk} S_j$, якщо деяка підмножина s_i^k складається з вершин, які входять у сценарій,

$$S_i : s_i^k = \left\{p_i^{k1}, p_i^{k2}, \ldots p_i^{kr}\right\} \subseteq S_i, \tag{3}$$

активізує деяку підмножину вершин, що входять у сценарій $S_j : \left\{p_j^{m1}.p_j^{m2}, \ldots p_j^{m5}\right\} \subseteq S_j$.

Виділений клас обмежених *TS-мереж* має ряд властивостей, які полягають в тому, що в обмеженій *TS-мережі* Петрі для $\forall t_j$, дозволеного в рамках сценарію S_i, виконані дві умови:

- всі вершини $p_{i1} \ldots p_{ik}$, що становлять сценарій *Si* і визначають спрацьовування переходу t_j або існує хоча б один інший перехід t_i такий, що вершини $p_{i1} \ldots p_{ik}$ здобувають розмітку одночасно в результаті спрацювання цього переходу t_i;

- розмітка M_i, що визначає сценарій *Si*, який збігається з вектором-стовпцем матриці *F*, що відповідає переходу t_j, $\forall p_i \in PM_i(p_i) = F(p_i, t_j)$. Причому можливо існування іншого, відмінного від t_j, переходу t_k

$$\forall p_i \in PF(p_i, t_k) = F(p_i, t_j), \tag{4}$$

де, $t \neq k$.

Це означає, що обмежена *TS-мережа* в процесі функціонування переходить від стану до стану в результаті послідовного спрацьовування ланцюжка переходів. Зміна станів системи спричиняє зміну сценаріїв: всі фішки, що позначили вершини сценарію *Si* в результаті спрацьовування переходу t_i перейдуть до вершин сценарію *Sj* в результаті спрацьовування дозволеного в рамках сценарію *Si* переходу.

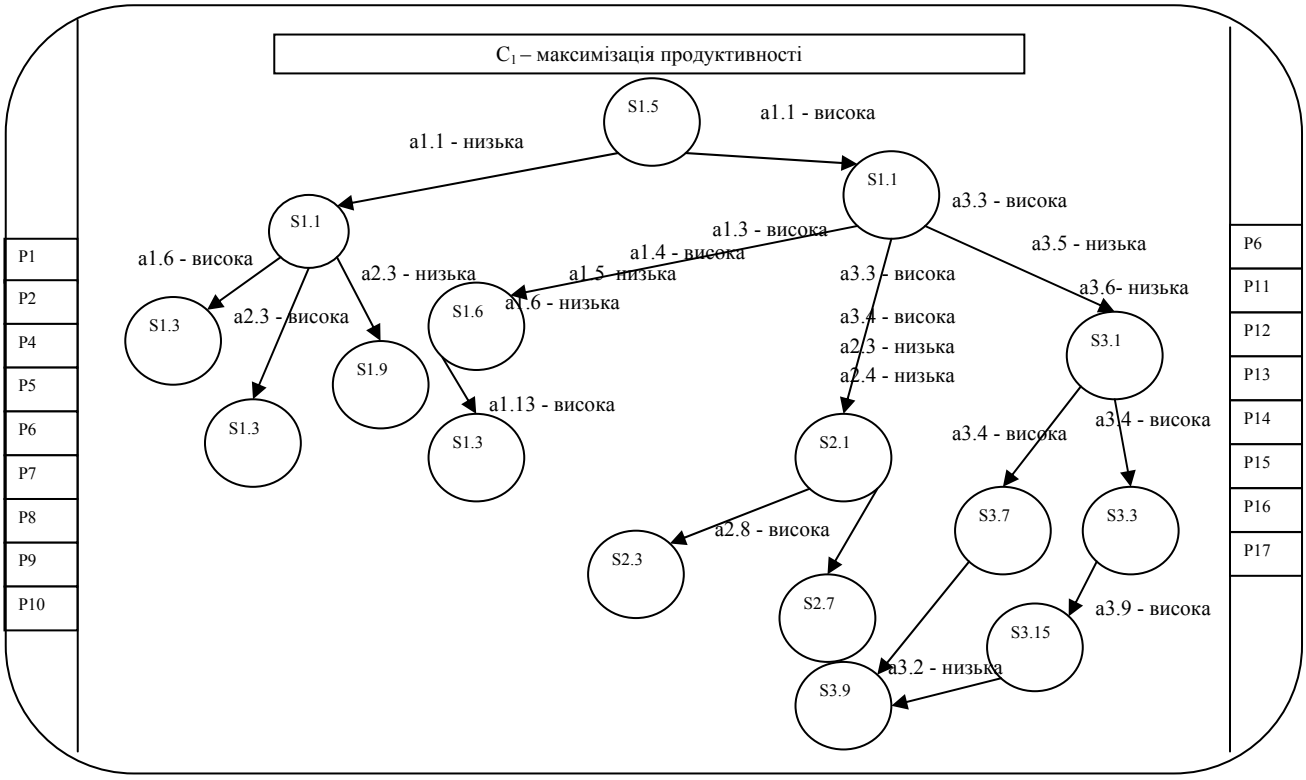


Рис.2. Узагальнений С – сценарій максимізації продуктивності брагоректифікації

На рис. 2 наведений С-сценарій забезпечення максимальної продуктивності роботи брагоректифікаційної установки, коли провідною є витрата сировини – бражки.

Множина переходів в обмеженій *TS-мережі* Петрі є множиною, що динамічно сформована в процесі конструювання або в процесі формування структури мережі.

Розглянутий апарат обмежених TS-мереж Петрі дозволяє побудувати алгебру для адекватного логічного моделювання динамічних недетермінованих структур і процесів. У даному дослідженні обґрунтовано виділення класу мереж, що володіють деякими спеціальними властивостями, істотними для класу розглянутих завдань. Ці властивості дозволяють визначити набір операцій для конструювання коректних мереж і мереж для реалізації сценаріїв управління.

В таблицях показані компоненти наведеного С-сценарію.

Отже, сценарний підхід дозволяє організувати ефективні стратегії управління складними технологічними комплексами харчових виробництв в умовах ситуаційної невизначеності.

 ISBN 7-776-8361-7

Таблиця 1

Основні об'єктні потоки брагоректифікаційної установки

Потік	Зміст
P1	Витрата бражки
P2	Витрата пари на брагоректифікаційну установку
P3	Витрата пари на бражну колону
P4	Витрата пари на епюраційну колону
P5	Витрата ефіро-альдегідної фракції
P6	Витрата пари на ректифікаційну колону
P7	Витрата охолодної води на брагоректифікаційну установку
P8	Витрата охолодної води на дефлегматор бражної колони
P9	Витрата охолодної води на дефлегматор епюраційної колони
P10	Витрата охолодної води на дефлегматор ректифікаційної колони
P11	Відбір спирту-ректифікату
P12	Відбір непастеризованого спирту
P13	Витрата бражного дистиляту
P14	Витрата епюрату
P15	Витрата барди із бражної колони
P16	Витрата лютерної води із ректифікаційної колони
P17	Витрата сивушних. масел із ректифікаційної колони

Таблиця 2

Стани функціонування брагоректифікаційної установки

Позначення стану	Зміст стану
S1.1	Збільшення подачі пари на бражну колону
S1.3	Збільшення подачі охолодної води на дефлегматор бражної колони
S1.5	Збільшення подачі бражки
S1.6	Зменшення подачі бражки
S1.9	Збільшення відбору бражного дистиляту
S2.1	Збільшення температури низу бражної колони
S2.3	Збільшення подачі охолодної води на дефлегматор епюраційної колони
S2.7	Збільшення відбору ефіро-альдегідної фракції
S3.1	Збільшення подачі пари на ректифікаційну колону
S3.3	Збільшення подачі охолодої води на дефлегматор ректифікаційної колони
S3.7	Збільшення відбору сивушних масел
S3.9	Збільшення відбору спирту
S3.15	Збільшення відбору непастерізованого спирту

Таблиця 3

Атрибути об'єктів

Позначення атрибута	Зміст атрибута
1	2
a1.1	Концентрація спирту в бражці, %об
a1.3	Тиск низу бражної колони, м.в.ст.
a1.4	Тиск верху бражної колони, м.в.ст.
a1.5	Температура низу бражної колони, °С
a1.6	Температура верху бражної колони, °С
a1.13	Міцність барди, %об

Продовження табл.3

1	2
a2.3	Температура низу бражної колони, °С
a2.4	Температура верху бражної колони, °С
a2.8	Кількість домішок, моль
a3.2	Температура в кубі ректифікаційної колони, °С
a3.3	Тиск низу ректифікаційної колони, м.в.ст.
a3.4	Тиск верху ректифікаційної колони, м.в.ст.
a3.5	Температура низу ректифікаційної колони, °С
a3.6	Температура верху ректифікаційної колони, °С
a3.9	Домішки в дистиляті, моль

The article is devoted the questions of forming of effective managements in the conditions of high level of vaguenesses, authentication of situations and prognostication of their development, taking into account the plural of aims and existent resources.

1. Ладанюк А.П., Трегуб В.Г., Кишенько В.Д. Управление технологическими комплексами в компьютерно-интегрованных системах //Проблемы управления и информатики, 2000, №2, с.72-79

2. Ладанюк А.П., Українець А.І., Кишенько В.Д. Сучасні методи керування біотехнологічними процесами// Наукові праці НУХТ, 2004, №15, с. 82-86

3. Клименюк О.В. Системний підхід до інтенсифікації технологічних процесів. – Тернопіль: Лілея, 1998. – 264 с.

4. Колесников А.А. Синергетическая теория управления. – М.: Энергоатомиздат, 1994. – 343 с.

5. Методы формирования сценариев развития социально-экономических систем /В,В. Кульба, Д.А. Кононов, С.А. Косяченко, А.Н. Шубин. – М.: СИНТЕГ, 2004. – 296 с.

6. Силов В.Б. Принятие стратегических решений в нечеткой обстановке. – М.: ИНПРО-РЭС, 1995. – 228 с.

7. Максимов В.И. Когнитивный аналіз и управление развитием ситуации // Мат. 1-й междунар. Конференции в 3-х томах. Том 2 / Сост. В.И. Максимов. – М.: Інститут проблем управления РАН, 2001, - С. 10-22.

8. Кононов Д.А. Эффективные стратегии формирования сценариев поведения сложных систем в АСУ ЧС. // Автоматика и телемеханика. – 2002. - №2. – С. 170-181.

9. Косяченко С.А., Кузнєцов Н.А., Кульба В.В., Шелков А.Б. Модели, методы и автоматизация управления в условиях чрезвычайных ситуацій // Автоматика и телемеханіка. – 1988. - №6. – С.3-66.

10. Малинецкий Г.Г. Хаос. Структуры. Вычислительный експеримент. Введение в нелинейную динамику. М.: Наука, 1997. – 256 с.

11. Клименюк В.Е., Бутов М.В. Современные сетевые технологи и их использование при решении задач управления экономикой: Учеб. Пособие / Харьковский гос. Экономический ун-т. –Х.: Издательство ХГЭУ, 2001. – 70 с.

12. Э.А. Трахтенгерц. Компьютерная поддержка принятия решений: Научно-практическое издание. Серия “Информатизация России на пороге XXI века”. – М.: СИНТЕГ, 1998 – 376 с.

 ISBN 7-776-8361-7

ЭКОНОМИКА НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОГРЕССА

УДК 330.46

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ В ЭКОНОМИКЕ

Данилец Е.В.

Качество определяется действием многих случайных, местных и субъективных факторов. Для предупреждения влияния этих факторов на уровень качества необходима система управления качеством. При этом нужны не отдельные разрозненные и эпизодические усилия, а совокупность мер постоянного воздействия на процесс создания продукта с целью поддержания соответствующего уровня качества.

Современное управление качеством исходит из того, что деятельность по управлению качеством не может быть эффективной после того, как продукция произведена, эта деятельность должна осуществляться в ходе производства продукции. Важна также деятельность по обеспечению качества, которая предшествует процессу производства.

Большой вклад в разработку теории управления качеством внесли зарубежные и отечественные ученые. Работы русских ученых П. Л. Чебышева и А. М. Ляпунова являются теоретической основой выборочного контроля качества. Большой вклад в разработку применяемых в настоящее время систем управления качеством внесли отечественные ученые И. Г. Венецкий, А. М. Длин, американские ученые У. А. Шухарт, Э. Дэминг, А. Фейгенбаум [1].

Управление качеством неизбежно оперирует понятиями: система, среда, цель, программа и др. Различают управляющую и управляемую системы. Управляемая система представлена различными уровнями управления организацией (фирмой и др. структурами). Управляющая система создает и обеспечивает менеджмент качества.

С конца 80-х годов предприятия стран с рыночной экономикой стали заниматься разработкой, внедрением и сертификаций систем менеджмента качества. Тогда начал сформировываться системный подход к менеджменту качества.

Серьезное внимание стало уделяться не только качеству продукции, но и качеству предоставления услуг. Это обусловлено тем, что прошедшее десятилетие во многих странах с рыночной экономикой характеризуется бурным ростом сферы услуг. При этом предоставление услуг не противопоставляется производству продукции.

Система управления качеством продукции опирается на следующие взаимосвязанные категории управления: объект, цели, факторы, субъект, методы, функции, средства, принцип, вид, тип критериев и др.

Под управлением качеством продукции понимают постоянный, планомерный, целеустремленный процесс воздействия на всех уровнях на факторы и условия, обеспечивающий создание продукции оптимального качества и полноценное ее использование [2].

Система управления качеством продукции включает следующие функции:

- Функции стратегического, тактического и оперативного управления.
- Функции принятия решений, управляющих воздействий, анализа и учета, а также информационно-контрольные функции.
- Функции специализированные и общие для всех стадий жизненного цикла продукции.
- Функции управления по научно-техническим, производственным, экономическим и социальным факторам и условиям.

Система управления качеством продукции представляет собой совокупность управленческих органов и объектов управления, мероприятий, методов и средств, направ-

ленных на установление, обеспечение и поддержание высокого уровня качества продукции. В этой связи, при проектировании и анализе систем управления, в том числе и системами управления маркетинговыми процессами, ведущую роль начинают играть методы моделирования таких систем. Так как учесть значительное количество параметров, влияющих на обеспечение качества систем управления можно только путем применения различных численных методов.

Имитационное моделирование является одним из мощнейших методов анализа экономических систем. В общем случае, под имитацией понимают процесс проведения на ЭВМ экспериментов с математическими моделями сложных систем реального мира.

Системное исследование всякой проблемы начинается с ее расширения до совокупности взаимосвязанных проблем, т.е. нахождения системы проблем, существенно связанных с исследуемой проблемой, без учета которых она не может быть решена [3]. Понятие системы давно стало привычным термином. Мы используем его всякий раз, когда необходимо описать какое-нибудь сложное явление или объект, обладающий многими составными частями различного назначения, связанными между собой общими законами функционирования [4]. Мы говорим “система управления предприятием” и подразумеваем: совокупность лиц и подразделений административного аппарата управления (директор, главный инженер, плановый отдел, отдел труда и заработной платы, начальники производственных подразделений и т.п.); сочетание различных уровней и видов субординации между ними, обусловленное конкретными задачами каждого подразделения; структуру информационных связей и взаимосвязей, необходимых для функционирования всей системы управления в соответствии с общей целью управления предприятием.

При экономико-математическом моделировании понятие системы дается в более формализованном виде, очищенном от содержательных характеристик элементов, отношений порядка и связей между ними. Рассмотрим логическую последовательность определений, из которых вытекает понятие системы [4].

Первым, самым элементарным уровнем описания системы является множество элементов или разнообразие элементов множества. Под разнообразием элементов множества понимают совокупность каких-либо объектов, которые являются составными частями системы. Народное хозяйство тоже является системой и состоит из множества разнообразных элементов или объектов, таких, как отрасли, управляющие органы, органы материально-технического снабжения и т.п.

Если все разнообразие элементов множества рассредоточить в определенном порядке, т.е. упорядочить по каким-либо признакам, например по решаемым задачам, подчиненности, ответственности и т.п., то получим упорядоченную совокупность элементов множества. Например, в системе народного хозяйства каждая отрасль имеет определенные задачи и цели. Следовательно, частью упорядоченной совокупности элементов системы народного хозяйства можно назвать описание отраслей в определенной последовательности.

Дополнение упорядоченного множества элементов совокупностью связей и взаимосвязей образует некоторую организацию. Таким образом, под организацией понимают совокупность разнообразия элементов множества, отношений порядка и связей между элементами.

Системой [4] будем называть организацию, образующую целостное единство и имеющую общую цель функционирования. Организация становится системой только при наличии общей цели функционирования для всех ее элементов. Из этого определения системы берет свое название системный подход — метод исследования организаций, имеющих общую цель. Понятия организации и системы относительны, так как элементы и связи между ними всегда могут быть агрегированы в более крупные и расчленены на более мелкие. Поэтому в зависимости от степени дробления элементов и связей внутри каждой организации и системы в них всегда можно выделить другие организации и системы.

Если в системе меняются отношения порядка между элементами или взаимосвязи, то говорят, что система изменяет свою структуру. Например, на предприятии произошла реорганизация аппарата управления, изменена ответственность и подчиненность с целью

 ISBN 7-776-8361-7

сокращения числа промежуточных звеньев прохождения информации. Предприятие выпускает одну и ту же продукцию, цель функционирования предприятия осталась прежней. В этом случае налицо изменение структуры системы управления предприятием.

Таким образом, под структурой системы будем понимать способ ее существования, фиксирующий вполне определенные приоритеты и взаимосвязи ее элементов. Для каждой системы можно построить несколько типов структур.

Понятие структуры можно использовать не только для системы, но и для организации. Структура организации — это способ составления организации из ее элементов.

После определения проблемы, полученной на этапе формирования системы, следующим по важности этапом анализа становится выявление целей.

Наиболее трудным и наиболее творческим этапом системного анализа является формирование альтернатив и поиск самой лучшей альтернативы в заданном множестве с помощью критериев. От критериев требуется как можно большее сходство с целями, чтобы оптимизация по критериям соответствовала максимальному приближению к цели.

Следующий этап — процесс создания модели реальной системы и проведение экспериментов на этой модели с целью понять поведение системы и оценить различные стратегии, обеспечивающие функционирование данной системы. В процессе исследований модель непрерывно корректируется и модифицируется, чтобы отображать только те аспекты, которые соответствуют задачам исследования.

Конечная цель системного анализа — изменение существующей ситуации в соответствии с поставленными целями. Поэтому окончательное суждение о правильности и полезности системного анализа или о его неправильности можно сделать на основании результатов его практического применения.

С созданием методологии системного подхода и появлением современных ЭВМ при проведении исследований стал доступен тот уровень сложности математических моделей, который определяется понятием “имитационная модель”. Какие же основные принципы, применяются в аппарате и методике использования имитационного моделирования.

Под моделью понимается представление объекта, системы или какого-либо понятия в некоторой форме, отличной от формы их реального существования. Она служит средством, помогающим в объяснении, понимании или совершенствовании системы. Так как имитация является одним из видов моделирования, первоначально рассмотрим ряд общих вопросов построения моделей.

Среди многочисленных функций моделей в качестве основных можно отметить такие, как средство осмысления действительности, средство общения, средство обучения и тренажа, инструмент прогнозирования, средство постановки экспериментов и др. Все эти функции, в свою очередь, порождают два типа моделей: описательные и предписывающие.

В первом случае модель служит для объяснения и лучшего понимания объекта, а во втором модель позволяет предсказать характеристики объекта, определяющие его поведение. Модель предписывающего типа, разумеется, является и описательной, но не наоборот.

Классификация моделей может быть осуществлена многочисленными способами, каждый из которых служит определенной цели. Среди типовых групп моделей, которые могут быть положены в основу системы классификации, следующие [5,6]:

- статические и динамические (в последнем случае входные и выходные переменные модели являются функциями времени);
- дискретные (значения переменных модели берутся только из конечного множества) и непрерывные (с непрерывностью переменных);
- детерминированные и стохастические (моделирование сложных систем с учетом случайных возмущающих факторов);
- натурные, аналоговые, математические и др.

Максимально похожими на реальный изучаемый объект оказываются натурные модели. К ним относятся как макеты в натуральную величину (например, наземная модель

космического корабля), так и уменьшенные или увеличенные модели объектов, выполненные в определенном масштабе.

Более абстрактными являются аналоговые модели, в которых свойство одного реального объекта представляется другим свойством аналогичного по поведению объекта. Аналоговую модель другого типа представляет любой график, где расстояние между точками отображает такие характеристики реального объекта, как время, количество единиц, прирост денежных средств, увеличение числа покупателей и т. п. Еще одним примером являются различного рода схемы.

Дальнейшее увеличение уровня абстрактности приводит к моделированию, часто называемому играми (планировочные, военные, управленческие). Здесь во взаимодействие вступают люди и машинные компоненты. Так, например, в деловых играх человек взаимодействует с информацией, поступающей от ЭВМ, которая моделирует все другие свойства системы, и принимает решения на основе полученной информации. Продолжая процесс увеличения степени абстрактности, приходим к полностью машинному моделированию.

Вершиной этого процесса являются математические модели, в которых для представления исходного объекта используются символы, а не физические устройства. Обычным примером таких моделей являются различного рода уравнения: алгебраические, дифференциальные, разностные и т. п. В таком же виде записываются и имитационные динамические модели.

В свою очередь, математические модели могут классифицироваться по целому ряду признаков. Так, например, по характеру отображаемых свойств реального объекта они делятся на функциональные модели, отображающие процессы функционирования объекта и часто имеющие вид уравнений, и на структурные модели, отображающие только структурные (в частности, геометрические), где свойства объекта и часто представляемые в виде различных графов.

Процесс моделирования включает в себя этапы создания модели реальной системы, проведения на этой модели экспериментов с целью осмысления поведения системы, оценки различных стратегий управления системой и пр. Все это подсказывает ряд существенных черт, которыми должна обладать хорошая модель. Так, ей следует быть:

- простой и понятной для пользователя;
- целенаправленной;
- надежной в эксплуатации (в смысле наличия гарантий от абсурдных результатов);
- удобной в управлении и обращении (общение с ней должно быть легким);
- полной с точки зрения возможностей решения главных задач;
- адаптивной (легкий переход к другим модификациям и обновление данных);
- допускающей постепенные изменения (будучи сначала простой, она может во взаимодействии с пользователем становиться все более сложной).

Необходимость выполнения большинства этих требований очевидна, вместе с тем следует учитывать, что они часто противоречат друг другу. Так, требование полноты может приходить в противоречие с простотой и целенаправленностью модели. На практике прибегают к разумному компромиссу в зависимости от целей решаемой задачи.

В числе отмеченных требований, одним из наиболее важных требований является свойство целенаправленности модели. В связи с этим следует обратить пристальное внимание на цели и задачи, которые должна решать данная система, а также на соответствие модели и исходного объекта.

Перечисленные выше критерии относятся к моделям произвольного вида. Основными требованиями, предъявляемыми к математическим моделям, являются адекватность, универсальность, экономичность. Первое из них отражает степень совпадения

 ISBN 7-776-8361-7

предсказанных с помощью модели значений параметров объекта с истинными значениями этих параметров и хорошо связывается с обеспечением приемлемой точности.

Универсальность определяется применимостью модели к анализу многочисленных однотипных объектов для многих режимов их работы.

Основоположником имитационного динамического моделирования в экономике по праву считается Дж. Форрестер [7,8,9]. В этих монографиях он не только разработал технологию построения имитационных моделей (кибернетика предприятия), но и сумел реализовать их на ЭВМ, создав специальный язык динамического программирования DYNAMO. В дальнейшем технология Дж. Форрестера применялась и применяется при решении задач управления предприятием, отраслью и т.п. За годы, прошедшие с момента создания имитационного динамического моделирования оно стало необходимым инструментом в экономике и экологии.

Сущность метода имитационного динамического моделирования состоит в следующем: модель представляет собой систему уравнений, связывающих между собой основные выбранные нами основные переменные модели, называемые уровнями модели и темпами (характеризующими скорости изменения уровней модели с течением времени). Процесс моделирования в этом случае состоит в решении этой системы уравнений на компьютере. При использовании метода имитационного динамического моделирования приоритетной задачей является разработка модели, установление связей между переменными и составление уравнений функционирования этой модели. На рис.1 изображена процедура построения имитационной модели.

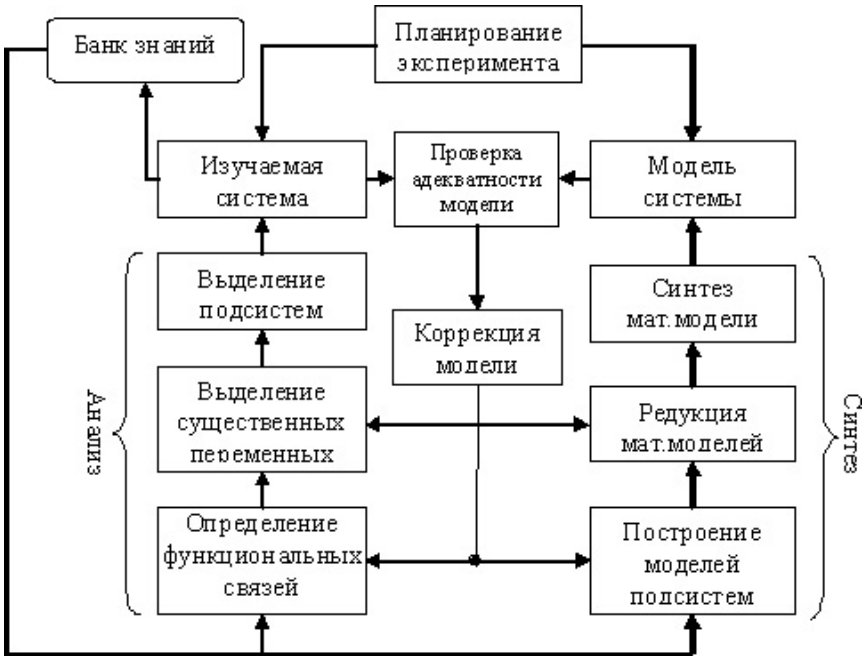


Рис. 1. Процедура построения имитационной динамической модели.

Алгоритм имитационного моделирования схематически можно представить следующим образом:

1. Постановка задачи и определение типа модели. На этом этапе главным является способность формулировать проблему. Постановка задачи, как правило, оказывается непрерывным процессом, не прекращающимся в ходе исследования. Новая информация, касающаяся ограничений задач и возможных альтернативных вариантов, периодически используется для обновления формулировки и постановки задачи.

2. Формулирование модели. Модель представляется в форме, удобной для применения числовых методов, определяются последовательности вычислительных и логических операций, которые необходимо осуществить, чтобы получить искомые величины с заданной точностью.

3. Проверка модели. Здесь важна “правдивость результатов”, функциональная полезность модели, а не доказательство справедливости самой структуры модели. Необходимо также установить исходные предположения, на основе которых строилась данная модель. При оценке адекватности модели необходимо выполнить серию проверок. Например, следует убедиться в отсутствии абсурдных ответов, если параметры модели будут принимать предельные значения. Используются также такие методы оценки адекватности, как проверка исходных предположений и проверка преобразований информации от входа к выходу.

4. Экспериментирование и анализ чувствительности. Так как практически в любой модели есть параметры, задаваемые с невысокой точностью, важно определить степень чувствительности результатов к их вариации. При сильном влиянии погрешности исходных данных на результат может быть поставлена задача определения исходных данных с более высокой точностью.

5. Реализация замысла и документирование. Сформулированные выше положения носят самый общий характер. При разработке каждой конкретной модели следует учитывать высокую степень индивидуальности процесса моделирования.

Таким образом, цель моделирования экономических процессов состоит в получении устойчивой схемы, позволяющей обеспечить качество управления маркетинговой системы. Важной процедурной концепцией анализа эффективности является определение периода неустойчивой работы и устранение искажения, вносимого статистическими данными, собранными за такой период.

Полученное с помощью модели конкретное оптимальное решение является наилучшим только в рамках использования именно этой модели. Другими словами, оно является наилучшим из всех возможных только тогда, когда выбранный критерий оптимизации можно считать полностью адекватным целям организации, в которой возникла исследуемая проблемная ситуация. Также следует помнить о том, что любая модель экономической системы независимо от ее сложности и адекватности системе-оригиналу принесет мало пользы при отсутствии необходимой информации.

Control system of quality of products and services is considered, its basic functions are described. It is shown that an imitation modeling is one of the most powerful methods of analysis of the economic systems, including control system of quality. Basic principles and method of the use of imitation modeling are considered. Essence of dynamic simulation technique is exposed and procedure of construction of simulation model is resulted. It is marked that the purpose of modeling of economic processes is a receipt of steady chart, providing a quality management.

1. Круглов, М.Г. Менеджмент систем качества: Учеб. пособие / М. Г. Круглов, С.К. Сергеев, В.А. Такташов и др. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1997. - 368 с.
2. Курицин, А.Н. Секреты эффективной работы: опыт США и Японии для предпринимателей и менеджеров / А.Н. Курицин. – М.: изд-во Стандартов,1994. – 320 с.
3. Моррис, Р. Маркетинг : ситуации и примеры / Р. Моррис ; пер. с англ. – М. : Банки и биржи, ЮНИТИ, 1996. – 192 с.
4. Кобелев, Н.Б. Основы имитационного моделирования сложных экономических систем / Н.Б. Кобелев. – М. : Дело, 2003. – 336 с.
5. Ансофф, И. Новая корпоративная стратегия / И. Ансофф; пер. с англ.; под ред. Ю.Н. Каптуревского. – СПб.: Питер, 1999. – 468 с.
6. Колмогоров, А.Н.. Теория информации и теория алгоритмов / А.Н. Колмогоров. – М.: Наука, 1987. – 304 с.
7. Форрестер, Дж. Динамика развития города / Дж. Форрестер. – М.: Прогресс, 1974. – 287 с.
8. Форрестер, Дж. Мировая динамика / Дж. Форрестер. – М.: Наука, 1978. – 167 с.
9. Форрестер, Дж. Основы кибернетики предприятия / Дж. Форрестер. – М.: Прогресс, 1971. – 340 с.

 ISBN 7-776-8361-7

УДК 681.31.001.8

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ОРГАНИЗАЦИОННОГО МЕХАНИЗМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫМ ПРОИЗВОДСТВОМ

Прохоренко Д.В.

Введение

В связи с переходом на экономические методы управления народным хозяйством намечен новый перспективный этап комплексной автоматизации производства на основе создания и использования систем обработки информации и управления (СОИУ), в которых реализуются основные направления технического прогресса в промышленности: интеграция проектирования и изготовления объектов производства (ОП); управление производственными системами; совершенствование организации производства на базе широкого применения многоцелевого технологического оборудования.

Основные задачи синтеза СОИУ, как иерархических систем управления производством соответствуют государственным научно-техническим программам, сформулированным в Законе Украины “О научно - производственной деятельности”. Поэтому актуальность данной работы очевидна.

Анализ предшествующих публикаций и постановкап задачи

На основании анализа данных, приведенных в литературных источниках [1-4] нами установлено, что в настоящее время синтез структуры СОИУ выполняется:

1. Использованием агрегативно-декомпозиционного подхода [1], включающего последователь- ную декомпозицию выполняемых системой целей, функций и задач; агрегатирование (объединение) элементов на соответствующем уровне детализации для генерирования вариантов построения системы на основе выбранных критериев эффективности.
2. Параметризацией исходной задачи по размерности вектора управляющих переменных для отдельных элементов, которые входят в состав сложного объекта [2]. Критерий оптимальности параметризированной задачи экспоненциально зависит от ее размерности и включает коэффициенты, учитывающие сложность алгоритмов оптимизации различных уровней системы управления.
3. На представлении системы в виде графа сигналов. В основе методологического решения данной задачи лежит идея последовательного расширения структуры системы путем присоединения к заданной структуре дополняющейся части придающей системе требуемые свойства [3].
4. На основе эвристических правил, нередко приводящих к структурно-порочным системам [4].

Общие недостатки известных подходов – огромные затраты и несовершенство, требующие последующей доработки и не всегда заканчивающихся удовлетворительными результатами.

Целью статьи является разработка строго формализованного метода, основанного на теоретико-множественных конструкциях.

В качестве объекта исследования нами принят процесс синтеза структуры управления производством.

В качестве предмета исследований – аппарат и математические модели принятия решений.

Для решения поставленной задачи использовали методы теории системного анализа и синтеза оптимизации организованных структур.

Научная новизна работы состоит в разработке подходов и методов автоматизированного синтеза структуры СОИУ.

Решение представленной задачи базируется на теоретико-множественном подходе в основе которого лежит представление системы в виде совокупности множества элементов, соответственная структура которых определяется как совокупность поверхностей различных классов и множеств сопряжения, определенных на элементах структуры, а процедура синтеза в виде теоретико-множественных операций над множествами [4].

Основная часть

Структуру системы обработки информации и управления (СОИУ) промышленным производством (ПП) можно представить в виде совокупности организационной (ОС), информационно-управляющей (ИУС) и исполнительной (ИС) систем (рис. 1).

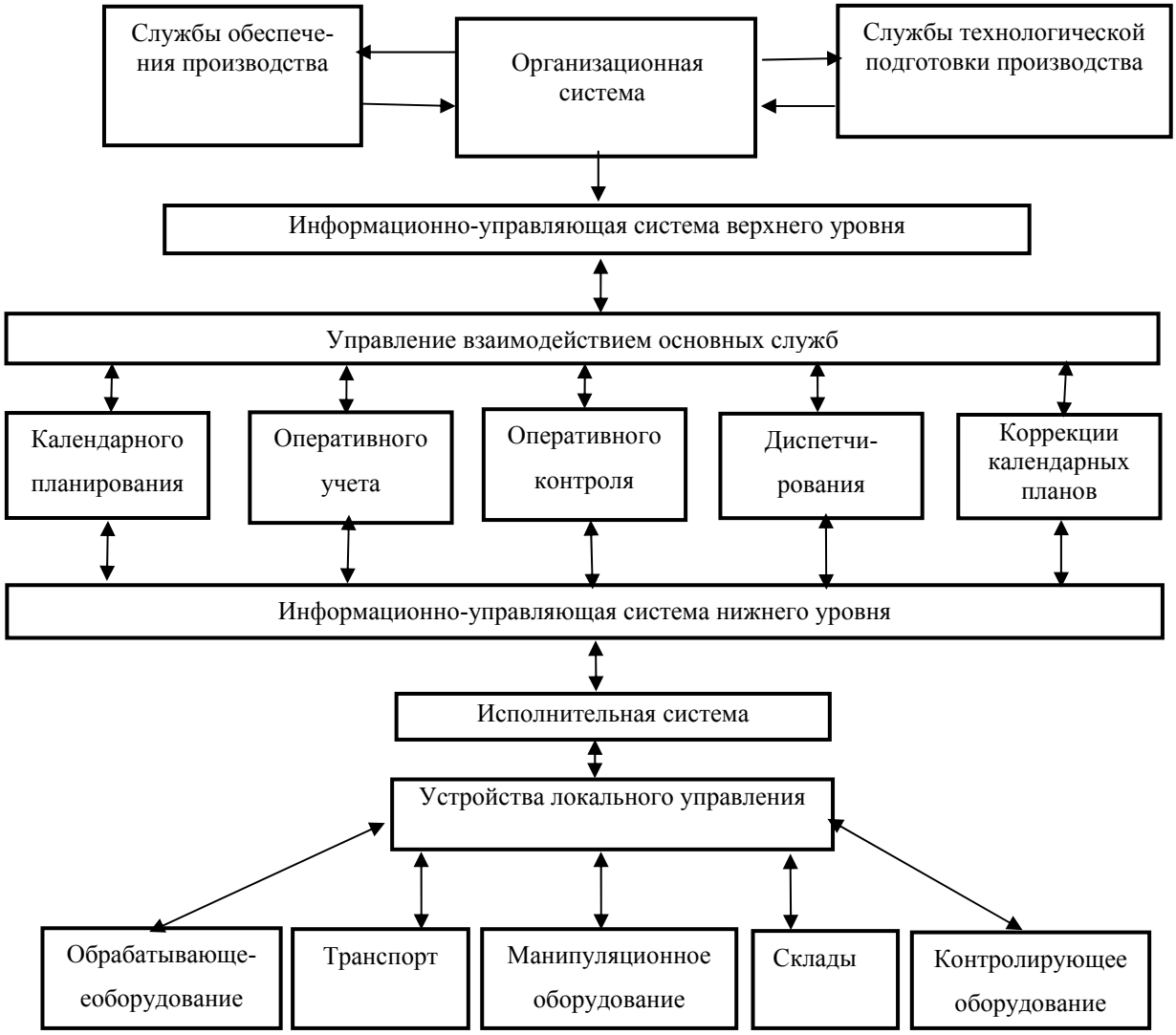


Рис. 1 Функциональная схема организационного механизма управления промышленным производством

Организационная система (ОС) – совокупность средств и методов, определяющая цели и критерии функционирования ПП на основе целевого задания и его текущего состояния. Основная функция ОС - формирование для ИУС формализованного целевого задания. Для ее реализации требуется ряд вспомогательных функций: получение и анализ информации от ИУС о состоянии системы; получение и интерпретация целевых заданий с верхних уровней управления; получение программ обработки и описаний маршрутов техпроцессов от автоматизированной системы технологической подготовки производства (АСТПП) [130] на новые объекты обработки и включение их в библиотеку ИУС и базу данных. При этом организационная система должна поддерживать работоспособность ПП

 ISBN 7-776-8361-7

при состояниях системы, на которые не рассчитана ИУС, для этого она должна выполнять следующие функции: распознавание экстремальных ситуаций; принятие решения по их устранению, обеспечивать реакцию на различные запросы с вышестоящих уровней управления, т.е. осуществлять получение запросов, обеспечивать их формализацию для ИУС, передачу данных из ИУС в вышестоящую систему управления.

Исполнительная система (ИС) – совокупность исполнительных средств, способная обеспечить выполнение всех требуемых операций заданного набора из плановых заданий. Исполнительные средства – все виды оборудования и люди с навыками работы. Входными параметрами для ИС являются материальные потоки (заготовки, инструмент, приспособления), плановое задание и информация о незавершенном производстве.

Информационно – управляющая система (ИУС) – система, обеспечивающая взаимодействие управляющих элементов между собой, в процессе выполнения целевого задания в соответствии с целями и критериями функционирования, заданными организационной системой. Управляемыми параметрами являются порядок и сроки запуска в производство всех деталеопераций из планового задания.

Для синтеза оптимальной структуры СОИУ использован теоретико-множественный подход, который является одним из наиболее эффективных, поскольку обеспечивает возможность наиболее полно наделять полученные конструкции конкретными математическими структурами и предельно обобщенно подойти к проблеме описания сложных систем, к которым относятся СОИУ.

При этом мы исходили из понятия системы S как подмножества декартового произведения некоторого семейства множеств

$$\{V_i | i \in I\} \quad \mathrm{S} \subset \prod_{\mathrm{i=I}} \mathrm{V_i} \quad ,$$

где I – множество индексов, принимая во внимание существование глобальной реакции системы

$$R : X \times \prod_{i \in I_1} V_i \to \prod_{j \in I_2} V_j \ ,$$

где $I_1 \bigcup I_2 = I$ и $I_1 \bigcap I_2 = \varnothing$;

X - некоторое абстрактное множество, называемое множеством состояний.

Иерархическая n - уровневая система U представляет собой пятерку:

$$U = (X, Z, \Omega, \varphi, \psi), \tag{1}$$

где X – множество состояний системы является декартовым произведением множеств $X = \prod_{i=1}^{n} X_i$.

Множество управлений Z и множество внешних воздействий Ω являются множествами отображений

$$\forall z \in Z \quad Z : X \to X,$$

$$\forall \omega \in \Omega \quad \omega : X \to X .$$

Причем

$$Z = \prod_{i=1}^{n} Z_i \ , \ \Omega = \prod_{i=1}^{n} \Omega_i \ ,$$

так что

$$z(x) = (z_1(x_1), z_2(x_2), \ldots, z_n(x_n));$$

$$\omega(x) = (\omega_1(x_1), \omega_2(x_2), \ldots, \omega_n(x_n)),$$

для всех $x=(x_1,x_2,\ldots,x_n)\in X$, где $z_i \ni Z_1 : X_i \to X_i$, $\Omega_i \ni \omega_i : X_i \to X_i$.

Будем полагать, что множества Z_i и Ω_i содержат элемент $\wedge$ такой, что $\wedge(x)=x$, для всех $x\in X_i$ и для $i=1,2,\ldots,n$.

Далее,

$$\varphi : X \to P(X),\ \psi : X \to P(Z),$$

где $P(\cdot)$ - совокупность всех непустых подмножеств, множества m, φ и ψ являются диагональными произведениями

$$\varphi = \mathop{\Delta}_{i=1}^{n} \varphi_i,\ \psi = \mathop{\Delta}_{i=1}^{n} \psi_i$$

отображений

$$\varphi_i : X \to P(X_i),\ \psi_i : X \to P(Z_i),\ (i=1,2,\ldots,n).$$

Так что для каждого $x=(x_1,x_2,\ldots,x_n)$ $\varphi(x)=\prod_{i=1}^{n}\varphi_i(x)$, $\psi(x)=\prod_{i=1}^{n}\psi_i(x)$, $\varphi_i(x)$ определяются значениями многозадачных отображений

$$\varphi_{ki} : X_k \to P(X_i),\ (k=1,2,\ldots,n), \tag{2}$$

как первое непустое множество в последовательности

$$A_n \subseteq A_{n-1} \subseteq \ldots \subseteq A_1,$$

$$A_m = \bigcap_{k=1}^{m} \varphi_{ki}(x_k),\ (m=1,2,\ldots,n).$$

Аналогично $\psi_i(x)$ – первое непустое пересечение

$$B_m = \bigcap_{k=1}^{m} \psi_{ki}(x_k)$$

в последовательности

$$B_n \subseteq B_{n-1} \subseteq \ldots \subseteq B_1.$$

Таким образом, иерархическую систему (1) можно рассматривать как систему, состоящую из n - уровней $(i=1,2,\ldots,n)$

$$U_i = \left(X_i, Z_i, \Omega_i, \{\varphi_{ij}\}, \{\psi_{ij}\}_{1\le j\le n}\right) \tag{3}$$

Будем называть множество X_i множеством состояний i - го уровня, Z_i – множеством возможных управлений i - м уровнем и Ω_i – множеством внешних воздействий на i - й уровень. $\varphi_{i_j}(x)$ можно интерпретировать как множество j - го уровня, удовлетворяющих требованиям i - ому уровню, находящемуся в состоянии $x\in X_i$. В частности множество $\varphi_{i_i}(x)$ будем называть собственной целью i - го уровня, отвечающей его состоянию x. Если $\varphi_{i_j}(x)=X_j$, то это будет означать инвариантность состояний x i - го уровня к состояниям j -го уровня (отсутствие целеуказаний).

 ISBN 7-776-8361-7

Множество $\psi_{i_j}(x)$ является множеством допустимых управлений на j - ом уровне, определяемым состоянием x уровня U_i. Отсутствие ограничений на управляемость j - м уровнем со стороны уровня U_i, находящегося в состоянии x, выражается равенством $\psi_{i_j}(x) = Z_j$.

Отображения φ_i и ψ_i определяют приоритетность уровней (3). Действительно, при определении значения $\varphi_i(x)$ (соответственно $\psi_i(x)$) ($x = (x_1, x_2, \ldots, x_n)$) прежде всего учитываются элементы множества $\varphi_{1i}(x_1)$, затем $\varphi_{2i}(x_2)$ и т.д. до $\varphi_{ni}(x_n)$ (соответственно $\psi_{1i}(x_1)$, $\psi_{2i}(x_2)$,..., $\psi_{ni}(x_n)$.

Сохраняя принятую индексацию, мы будем говорить, что уровень U_k является вышестоящим по отношению к $U_k^{'}$, если $k < k^{'}(U_k > U_k^{'})$. Следовательно, можно говорить об упорядоченном множестве уровней (3) системы U

$$U_1 > U_2 > \ldots > U_n,$$

взаимосвязь которых как сверху вниз, так и снизу вверх характеризуется функциями φ_{ij} и ψ_{ij} $(i, j = 1, 2, \ldots, n)$ и не ограничивается при этом взаимодействиями между соседними уровнями.

Состояние x системы U будем называть идеальным (или решение системы), если x является неподвижной точкой многозначного отображения φ, т.е. $x \in \varphi(x)$. Если множество неподвижных точек отображения φ не пусто $(F_{ix}\varphi \neq 0)$, то система U называется разрешимой.

Иерархическая система потенциально управляема в состоянии x, когда существует такое управление $z \in \psi(x)$, что $z(x) \in \psi(z(x))$, и полностью управляема в состоянии x, если $\forall \omega \in \Omega \;\; \exists z \in \psi(x)$, то $z(\omega(x))$ – неподвижная точка отображения φ.

В общем случае под управлением иерархической системы можно понимать конечную последовательность управлений $z_1, z_2, \ldots, z_p$, которая приводит состояние x системы в состояние x_p так что

$$z_i(x) = x_1, \; z_l(x_{l-1}) = x_l \;\; (l = 1, 2, \ldots, h).$$

Если ввести в рассмотрение функцию

$$f : Z \to R$$

множества Z во множество действительных чисел, то можно говорить, например, о „стоимости” управлений и решать задачу об оптимальном управлении в иерархических системах.

Для разрешимости системы U необходимо, чтобы $(F_{ix}\varphi_{11} \neq 0)$. Действительно, если $x = (x_1, x_2, \ldots, x_n)$ – неподвижная точка отображения φ, то $x_1 \in \varphi_1(x)$. В силу определения φ_1

$$\varphi_1(x) \cap \varphi_{11}(x_1) \neq 0 \text{ и } \varphi_1(x) \subseteq \varphi_{11}(x_1).$$

Следовательно $x_1 \in \varphi_{11}(x_1)$.

Пусть $x_1, x_2, \ldots, x_n$ являются непустыми компактными выпуклыми множествами в банаховых пространствах $x_1, x_2, \ldots, x_n$. Тогда для того, чтобы иерархическая система (1) была разрешимой, достаточно, чтобы отображение (2) φ_{ki} $(1 \le i,\ k \le n)$ были замкнутыми и выпуклыми.

Действительно, при этих условиях множество состояний X иерархической системы является компактным выпуклым множеством в банаховом пространстве $x = \prod_{i=1}^{n} x_i$.

В силу определения отображений φ_j $(j = 1, 2, \ldots, n)$, для всех $x \in X$ $\varphi_j(x)$ непусто и для каждого j

$$\exists_k : \varphi_j(x) = \bigcap_{i=1}^{k} \varphi_{ij}(x),$$

поэтому для всех $\varphi_j(x)$ является замкнутым и выпуклым как непустое пересечение выпуклых множеств. Тогда отображение $\varphi = \underset{j=1}{\overset{n}{\Delta}} \varphi_j$ будет удовлетворять условиям замкнутости и компактности. И по теореме Какутани о неподвижных точках имеем: $F_{ix}\varphi \ne \varphi$.

Выводы

Предложенный подход позволяет предельно общо подойти к проблеме описания сложных систем к которым относятся СОИУ, дает возможность наделять полученные конструкции конкретными математическими структурами, что способствует детальному изучению и получению конкретных результатов, обеспечивает снижение временных и денежных затрат.

In work is presented теоретико-plural approach to the synthesis of the system of treatment of information and industrial operations management.

1. Мессарович М., Такахара Я. Общая теория систем: математические основы. - М.: Мир, 1978. - 311с. 2. Теоретические и прикладные проблемы создания систем управления технологическими процессами // Тезисы докладов Всесоюзного научно-технического совещания. – Челябинск, 1990. Часть 1. - 128с.

2. Ильясов Б.Г., Бабак С.Ф. Синтез динамических систем методом последовательного расширения структуры: – Сб.: Вопросы проектирования информационных и кибернетических систем. – Уфа: Техника, 1987. – С. 21-26.

3. Математические методы оптимизации и структурирования систем / Межвузовский сб. – Калинин: КГУ, 1980. – С. 115-119.

 ISBN 7-776-8361-7

РЕФЕРАТЫ

Квасницкий В.В., Ермолаев Г.В., Матвиенко М. В., Бугаенко Б.В., Квасницкий В.Ф. Оценка применимости метода компьютерного моделирования к исследованию напряженно-деформиррованного состояния цилиндрических узлов

Методами аналитическим и компьютерного моделирования определено распределение напряжений в узлах типа однослойных, нагруженных внутренним давлением или неравномерно нагретых по толщине, и двухслойных втулок, равномерно нагретых. Установлено, что компьютерное моделирование, по сравнению с аналитическим решением не уступается ему по точности, но и является более совершенным, так как позволяет учитывать фактически существующие граничные условия.

Китаев А.В., Глухова В.И. Анализ работы трансформатора по данным каталога

В работе приведен подробный алгоритм исследования трансформатора по справочным данным, которые приводятся в каталоге. Решены задачи по определению параметров схемы замещения, нагрузочного сопротивления номинального режима и поведению показателей работы трансформатора при переменной нагрузке. Материал статьи представляет интерес для специалистов, занимающихся проектирования систем электроснабжения.

Хомченко А.Н., Колесникова Н.В. Явление «сверхсходимости» в задаче Прандтля для уравнения Пуассона

Описан алгоритм поиска узлов суперсходимости в процедуре гармонического усреднения граничных потенциалов.

Михайловская Т.В., Михалев А.И., Гуда А.И. Исследование правил клеточных автоматов для моделирования процессов затвердевания квазиравновесных бинарных сплавов

Приведены термодинамические основы построения правил клеточных автоматов при математическом моделировании затвердевания. Сформулированы правила взаимосвязи удельной энергии клетки и ее состояния с учетом фазового перехода при затвердевании. Проведено исследование правил клеточных автоматов для моделирования затвердевания квазиравновесных бинарных сплавов.

Передерий В.И., Еременко А.П. Математические модели и алгоритмы принятия релевантных решений пользователями автоматизированных систем с учетом личностных и внешних факторов на базе генетических алгоритмов

Разработаны математические модели и алгоритмы формализации взаимосвязи внешних факторов и психофункциональных характеристик пользователей на основе теории нечетких множеств и генетических алгоритмов при определении наибольшей релевантности принимаемых решений. Созданы программные средства автоматизации расчета релевантности при управлении автоматизированными системами.

Передерій В.І., Касап А.М. Математична модель та алгоритм автоматизації розрахунку параметрів комп’ютеризованих систем працюючих у реальному часі

Розроблена математична модель та алгоритм автоматизації, за допомогою якого визначаються динамічні характеристики та параметри комп’ютеризованих систем, працюючих у реальному часі.

Рудакова А.В. Проблемы интеграции сложных систем

В статье рассматриваются вопросы формализации описания процедуры интеграции систем, пригодной для разработки методов корректной композиции сложных систем с сохранением основных свойств. Приведена методика получения уравнений состояния новой системы с учетом новых коммутационных связей, определенных при интеграции. Определено влияние новых межсистемных связей на изменение структуры матриц, описывающих систему в пространстве состояний.

Селін Ю.М. Використовування контекстних марківських моделей для аналізу дії промислових вибухів на будівельні конструкції

Наведено приклад застосування алгоритму контекстних марківських моделей, який можна використовувати для вирішення задач аналізу поведінки часових рядів, які представлено в графічному вигляді. Зокрема його було застосовано для аналізу вібросигналу горизонтальної віброшвидкості перекриття споруд в м. Кривий Ріг.

Беляев А.В. Построение навигации для иерархических структур в WEB-системах и системах управления WEB-сайтом

Предложен метод постороения навигации по древовидной, иерархической структуре, который позволяет организовать навигацию для ресурсов повышенного объема, сохраняя возможность динамического перестроения структуры ресурсов, копирования и перемещения веток дерева.

Лубяный В.З., Голощапов С.С. Прямоотсчетные измерители расхождений емкостей

Рассмотрены структуры измерителей расхождений вольтфарадных характеристик варикапов в комплекте на основе схем емкостно-омического и емкостного делителей с пространственным и временным разделением каналов измерения. Разработаны схемы измерителей и алгоритм комплектования варикапов. Произведен анализ их точностных характеристик и определены области применения рассмотренных измерителей.

Литвиненко В.И., Дидык А.А., Захарченко Ю.А. Компьютерная система для решения задач классификации на основе модифицированных иммунных алгоритмов

В статье описана компьютерная система для решения задач классификации на основе модифицированных алгоритмов иммунной сети и алгоритма клонального отбора. Описана архитектура системы, программные модули и параметры настройки алгоритмов обучения.

Луцкий М.Г., Пономаренко А.В., Филоненко С.Ф. Обработка сигналов акустической эмиссии при определении положения сквозных дефектов

Приведены результаты исследований по использованию акустической эмиссии при определении места положения сквозных дефектов в продуктопроводах работающих под давлением. Показано, что расположение источника акустического излучения по толщине продуктопровода приводит к возникновению систематической ошибки. Для ее учета необходимо построение номограмм изменения систематической ошибки при известной толщине продуктопровода и определенном расстоянии до источника излучения. Рассмотрены результаты обработки взаимной корреляционной функции при расположении источника акустического излучения на линии, которая соединяет датчики, а так же на противоположной стороне продуктопровода. Показано, что для уменьшения ошибки определения места положения источника излучения, пиковый сигнал необходимо определять с учетом положительных и отрицательных амплитуд взаимной корреляционной функции.

 ISBN 7-776-8361-7

Полякова М.В., Волкова Н.П., Іванова О.В. Сегментація зображень стохастичних текстур амплітудно-детекторним методом у просторі вейвлет-перетворення

Запропоновано метод сегментації зображень стохастичних текстур на основі амплітудного детектування та кореляційно-екстремального методу контурної сегментації у просторі гіперболічного вейвлет-перетворення.

Соколов А.Є. Деякі аспекти систезу комп'ютеризованої адаптивної системи навчання

Розглянуто деякі аспекти побудови комп'ютеризованої системи навчання з елементами адаптації до вимог людини, що навчається. Описані основні частини електронного підручника, який може використовуватися як навчальна система, і основні вимоги до тестування в такій системі.

Сосюк А.В. Інтелектуальний автоматизований контроль знань в системах дистанційного навчання

Розглянуті концептуальний і практичний підходи до реалізації систем автоматизованого контролю знань, застосування яких необхідне при впровадженні в учбовий процес дистанційного навчання. Приведений короткий огляд методів і моделей інтелектуального контролю знань.

Тверезовский В.С., Бараненко Р.В. Технические аспекты проектирования устройства для разбраковки варикапов по емкостным параметрам и добротности

Проведен анализ измерителей емкости и добротности полупроводниковых приборов, на основании которого для устранения недостатков существующих устройств разработано устройство для разбраковки варикапов по емкостным параметрам и добротности с расширенными функциональными возможностями.

Гончаренко А.В. Вплив суб'єктивних переваг на показники роботи суднової енергетичної установки

Запропоновано врахування впливу суб'єктивних переваг вибору судноремонтних баз на ймовірності знаходження суднової енергетичної установки у відповідному стані. Моделювання здійснено для системи з дискретними станами. Розглянуто графи станів системи та переходів для трьох та чотирьох станів. Наведено приклади розрахунків. Отримано результати прикладного характеру дослідження. Побудовано відповідні графіки.

Мотылев К.И., Михайлов М.В., Паслен В.В. Обработка избыточной траекторной информации в измерительно-вычислительных системах

Данная работа направлена на повышение точности определения параметров положения и движения летательных и космических аппаратов. Разработанный метод может применяться при проведении летных испытаний, контроле траекторий и анализе различных внештатных ситуаций. Цель достигается путем учета избыточной траекторной информации.

Биленко М.С., Серов А.В., Рожков С.А., Буглов О.А. Многоканальная система контроля качества текстильных материалов

Статья посвящена разработке многоканальной системы для контроля дефектов на перемещающихся плоских рулонных материалах с использованием CIS-модулей. Реализованный алгоритм обработки изображения выполнен в виде схемы многоканального дискриминатора с последующей морфологической обработкой. Система контроля предназначена для работы в составе автоматической системы управления технологическим процессом.

Фарионова Н.А. Системный подход построения алгоритмов и моделей систем поддержки принятия решений при возникновении нештатных ситуаций

Рассмотрен системный подход к построению алгоритмов и созданию адекватных методов работы систем поддержки принятия решений при возникновении нештатных ситуаций. Определена основная идея подхода и формализировано понятие «нештатная ситуация».Сформулированы этапы разработки информационной технологии автоматического обнаружения возникновения нештатных ситуаций.

Михайленко В.С., Ложечников В.Ф. Сравнительный анализ комплексного и нечеткого регуляторов при управлении многомерным объектом

Статья посвящена анализу эффективности работы САР с комплексным регулятором, функционирующим на основе теории модального управления и САР с нечетким контроллером. Результатом статьи является разработка базы правил для нечеткого регулятора и ее апробация в, а также расчет настроек регулятора сложной структуры.

Балтовский А.А. Выбор критериев эффективности функционирования адаптивной автоматизированной системы управления, ее подсистем и промышленного производства

Статья посвящена вопросам статистического моделирования с целью получения обобщенного показателя качества соответствующей подсистемы адаптивной автоматизированной системы управления косвенным методом.

Клименко А.К. Об устранении колебательности адаптивной системы в промежутках дискретного времени

Рассматривается система адаптивного управления циклически повторяющимися технологическими процессами с использованием обратной модели автоматизированного объекта. Предлагается техническое решение по устранению колебательности системы при сохранении высокой скорости сходимости процесса адаптации.

Митрахович М.М. Интеграция методов при синтезе сложных систем в условиях априорной неопределенности

Рассмотрены особенности синтеза сложных систем в условиях априорной неопределенности на основе трех подходов, а именно на нечетком выводе информации, нейросетевом и адаптивном. Предложена схема интеграции методов, которая позволит повысить такие показатели эффективности системы управления, как точность и продолжительность процесса управления.

Шутеев Э.И., Белокопытов Д.О. Определение постоянной составляющей сигналов методом адаптации

Рассмотрена возможность повышения точности определения постоянной составляющей сигналов, полученных при измерении параметров динамических систем. Приведено аналитическое описание метода, использующего адаптивную фильтрацию. Метод позволяет получить весовую функцию для каждого конкретного сигнала. Предложена работоспособная модель и отражены полученные в процессе моделирования результаты.

Щокін В.П. Метод оцінки максимального запізнення елементів фільтрованого входу нейроемуляторів з зовнішньою динамікою

Проведено обґрунтування складових ретроспективного набору даних для побудови оптимальної за структурою та функціональними можливостями штучної нейромережевої структури для ідентифікації динаміки об'єктів.

 ISBN 7-776-8361-7

Аппазов Э.С. Применение твердых растворов InGaN в фотовольтаике

Рассмотрена возможность применения твердого раствора InxGa1-xN для производства преобразователей солнечного излучения. Определен состав раствора и показана его эффективность в сравнении с традиционным преобразователем на основе антимонида галлия.

Евдокимов А.В., Китаев А.В., Агбомассу В.Л. Исследование причин, определяющих вращение рамки с током в магнитном поле после воздействия на нее внешнего импульса

В работе показано, что согласно положениям теории, вытекающим из закона Ампера, в оговоренных условиях вращение рамки не может быть. В то же время эксперимент убеждает в обратном. Выполнен анализ причин этого явления и установлено, что вращение подвижной части устройства определяет модуляция тангенциальной составляющей электрической напряжённости, в создании которой участвуют источник питания и ЭДС, наводимая в проводниках рамки.

Ковриго Ю.М., Фоменко Б.В. Врахування обмежень для підвищення якості функціонування систем регулювання енергоблоків ТЕС і АЕС

Основна увага в статті приділяється розробці регуляторів для систем з обмеженнями. В роботі розглядаються алгоритми умовного інтегрування, компенсації інтегрального насичення та модельного прогнозуючого керування, які враховують обмеження, на прикладі системи автоматичного регулювання теплового навантаження котла.

Ладанюк А.П., Українець А.І., Кишенько В.Д. Управління автоматизованими технологічними комплексами харчових виробництв на основі сценарного підходу

Стаття присвячена питанням формування ефективних управлінь в умовах високого рівня невизначеностей, ідентифікації ситуацій та прогнозування їх розвитку з урахуванням множини цілей та існуючих ресурсів.

Данилец Е.В. Имитационное моделирование систем управления качеством в экономике

Рассмотрена система управления качеством продукции и услуг, описаны ее основные функции. Показано, что имитационное моделирование является одним из мощнейших методов анализа экономических систем, в т.ч. и систем управления качеством. Рассмотрены основные принципы, применяющиеся в аппарате и методике использования имитационного моделирования. Раскрыта сущность метода имитационного динамического моделирования и приведена процедура построения имитационной модели. Отмечено, что целью моделирования экономических процессов является получение устойчивой схемы, обеспечивающей управление качеством.

Прохоренко Д.В. Определение структуры и свойств организационного механизма управления промышленным производством

В работе представлен теоретико-множественного подход к синтезу системы обработки информации и управления промышленным производством.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Агбомассу В.Л. – Кафедра энергетики и электротехники Херсонского национального технического университета.

Аппазов Э.С. – Кандидат техн. наук, доцент кафедры метрологии и информационно–измерительных технологий Херсонского национального технического университета.

Бараненко Р.В. – Кандидат техн. наук, старший преподаватель кафедры Информационных технологий Херсонского национального технического университета.

Белокопытов Д.О. – Аспирант, ассистент каф. КС Одесского национального политехнического университета.

Беляев А.В. – Компания СіМ, г. Киев.

Биленко М.С. – Аспирант кафедры технической кибернетики Херсонского национального технического университета.

Бугаенко Б.В. – Кандидат техн. наук, доцент НУК, г. Николаев.

Буглов О.А. – Директор по производству ЗАО”Тиротекс”, г. Тирасполь.

Волкова Н.П. – Старший преподаватель кафедры прикладной математики и информационных технологий в бизнесе Института бизнеса, экономики и информационных технологий, Одесский национальный политехнический университет.

Глухова В.И. – Старший преподаватель кафедры энергетики и электротехники Херсонского национального технического университета.

Голощапов С.С. – Кандидат техн. наук, доцент кафедры метрологии и информационно–измерительных технологий Херсонского национального технического университета.

Гончаренко А.В. – Кандидат техн. наук, заведующий кафедрой судовых энергетических установок Херсонского государственного морского института.

Гуда А.И. – Кандидат техн. наук, доцент, Национальная металлургическая академия Украины.

Данилец Е.В. – Кандидат техн. наук, доцент кафедры экономической кибернетики Херсонского национального технического университета.

Дидык А.А. – Кандидат технических наук, доцент кафедры информационных технологий Херсонского национального технического университета.

Евдокимов А.В. – Херсонский национальный технический университет.

Еременко А.П. – Национальный университет кораблестроения им. адм. Макарова.

Ермолаев Г.В. – Кандидат техн. наук, профессор НУК, г. Николаев.

Иванова Е.В. – Аспирант кафедры прикладной математики и информационных технологий в бизнесе Института бизнеса, экономики и информационных технологий, Одесский национальный политехнический университет.

Касап А.Н. – Кандидат техн. наук, доцент кафедры технической кибернетики Херсонского национального технического университета.

Квасницкий В.В. – Кандидат техн. наук, доцент НТУУ «КПИ», г. Киев.

 ISBN 7-776-8361-7

Квасницкий В.Ф. – Доктор техн. наук, профессор, проректор НУК, г. Николаев.

Китаев А.В. – Кандидат техн. наук, профессор кафедры энергетики и электротехники Херсонского национального технического университета.

Кишенько В.Д. – Кафедра Автоматизации и компьютерно–интегрированных технологий Национального университета пищевых технологий.

Клименко А.К. – Кандидат технических наук, старший научный сотрудник, доцент кафедры компьютерных систем и сетей Бердянского госпедуниверситета.

Ковриго Ю.М. – Кандидат техн. наук, профессор, заведующий кафедрой автоматизации теплоэнергетических процессов, , Национальный технический университет Украины "КПИ", г. Киев.

Колесникова Н.В. – Заведующий лаборатории интегрированных сред обучения Научно – исследовательского института информационных технологий Херсонского государственного университета, старший преподаватель кафедры информатики.

Ладанюк А.П. – Профессор, заведующий кафедрой Автоматизации и компьютерно–интегрированных технологий Национального университета пищевых технологий.

Литвиненко В.И. – Кандидат техн. наук, доцент кафедры технической кибернетики Херсонского национального технического университета.

Ложечников В.Ф. – Кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматизации технологических процессов» Одесского национального политехнического университета.

Лубяный В.З. – Доктор техн. наук, профессор, заведующий кафедры метрологии и информационно–измерительных технологий Херсонского национального технического университета.

Матвиенко М. В. – Младший научный сотрудник, аспирант НУК, г. Николаев.

Митрахович М.М. – Доктор техн. наук, профессор Национального авиационного университета, Государственная компания по экспорту и импорту продукции и услуг военного и специального назначения, г. Киев.

Михайленко В.С. – Кандидат технических наук, доцент кафедры «Отопления, вентиляции и охраны воздушного бассейна» Одесской государственной академии строительства и архитектуры.

Михайлов М.В. – Магистрант факультета компьютерных информационных технологий и автоматизации, Донецкий национальный технический университет.

Михайловская Т.В. – Кандидат техн. наук, старший преподаватель, Национальная металлургическая академия Украины.

Михалев А.И. – Доктор техн. наук, профессор, Национальная металлургическая академия Украины.

Мотылев К.И. – Аспирант, ассистент кафедры радиотехники и защиты информации, Донецкий национальный технический университет.

Паслен В.В. – Доцент кафедры радиотехники и защиты информации, Донецкий национальный технический университет.

Передерий В.И. – Кандидат технических наук, доцент; Национальный университет кораблестроения им. адм. Макарова.

Полякова М.В. – Кандидат техн. наук, доцент кафедры прикладной математики и информационных технологий в бизнесе Института бизнеса, экономики и информационных технологий, Одесский национальный политехнический университет.

Прохоренко Д.В. – Аспирант кафедры экономической кибернетики Херсонского национального технического университета.

Рожков С.А. – Кандидат техн. наук, доцент кафедры технической кибернетики Херсонского национального технического университета.

Рудакова А.В. – Кандидат техн. наук, доцент кафедры технической кибернетики Херсонского национального технического университета.

Селін Ю.М. – Научный сотрудник Учебно – научного комплекса «Институт прикладного системного анализа».

Серов А.В. – Аспирант кафедры технической кибернетики Херсонского национального технического университета.

Соколов А.Е. – Аспирант кафедры информационных технологий Херсонского национального технического университета.

Сосюк А.В. – Криворожский институт Кременчугского университета экономики, информационных технологий и управления, г. Кривой Рог.

Тверезовский В.С. – Кандидат техн. наук, доцент кафедры информационных технологий Херсонского национального технического университета.

Украинец А.И. – Кафедра Автоматизации и компьютерно–интегрированных технологий Национального университета пищевых технологий.

Фарионова Н.А. – Стариший преподаватель, Кременчугский университет экономики, информационных технологий и управления”, г. Кривой Рог.

Фоменко Б.В. – Аспирант кафедры автоматизации теплоэнергетических процессов. Национальный технический университет Украины “КПИ”, г. Киев.

Хомченко А.Н. – Заслуженный деятель науки и техники, доктор физико–математических наук, профессор, заведующий кафедрой прикладной математики и математического моделирования Херсонского национального технического университета.

Шутеев Э.И. – Кандидат техн. наук, доцент каф. КС Одесского национального политехнического университета.

Щекин В.П. – Кандидат техн. наук, доцент кафедры электромеханики Криворожского технического университета, лауреат премии Президента Украины для молодых ученых.

 ISBN 7-776-8361-7

ВНИМАНИЮ АВТОРОВ ЖУРНАЛА!

ТРЕБОВАНИЯ К РУКОПИСЯМ СТАТЕЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ЖУРНАЛА «АВТОМАТИКА. АВТОМАТИЗАЦИЯ. ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ»:

1. Тексты статей (до 10 стр.) представляются в электронном и печатном виде. Аннотации - на украинском, русском и английском языках, экспертное заключение о возможности опубликования, рецензия. Сведения об авторах должны включать: Ф.И.О., адрес, телефон (домашний и служебный), место работы, научные степень и звание, должность.
2. Статьи должны отражать (Постановление ВАК Украины № 7-06/1 от 15 января 2003г.): постановку проблемы в общем виде и ее связь с важными научными практическими заданиями; анализ последних исследований и публикаций; выделение нерешенных ранее частей общей проблемы, которым посвящается данная статья; формулировку целей статьи; изложение основного материала исследования с обоснованием полученных научных результатов; выводы и перспективы дальнейших исследований в данном направлении.
3. Материалы, полученные некомплектно, оформленные небрежно и не в соответствии с настоящими правилами, редколлегией не рассматриваются.
4. Авторы представляют в редакцию текст статьи и аннотации в виде файла формата Microsoft Word на дискете 3,5 дюйма.

ТРЕБОВАНИЯ К ТЕКСТОВОМУ ФАЙЛУ.

Страницы: размер бумаги - 210 х 297 мм (А4), без нумерации, переносы не допускаются.
Поля: верхнее – 2 см, нижнее – 2 см, правое – 2 см, левое – 2,5 см.
Шрифт – Times New Roman. Интервал – одинарный.
Материалы представляются в следующем порядке:

- **УДК.** Шрифт – 12 пт., прописные. Абзац – без отступов, выравнивание по левому краю, интервал после – 12 пт.
- **Название статьи.** Шрифт – 14 пт., прописные. Абзац – без отступов, выравнивание по центру.
- **Фамилии и инициалы авторов.** Шрифт – 12 пт. Абзац – без отступов, выравнивание по центру, интервал до и после – 12 пт.
- **Текст статьи.** Шрифт – 12 пт. Абзац – 1,25 см, выравнивание по ширине.
- **Литература.** Слово «ЛИТЕРАТУРА»: шрифт – 12 пт, прописные; абзац – без отступов, выравнивание по центру, интервал до -12 пт., после – 6 пт. Список источников: нумерованный список, шрифт – 12 пт.; абзац – 1,25 см, выравнивание по ширине. Список источников оформляется в соответствии с требованиями ВАК Украины.
- **Рисунки.** Формат – Рисунок Microsoft Word, объект Corel raw (версия не старше 10, текст должен быть преобразован в кривые) или точечный рисунок. Положение рисунка – в тексте. Под рисунком располагается надпись вида: «Рис. 1 Название рисунка». Абзац – без отступов, выравнивание по центру, интервал до и после – 6 пт.
- **Формулы.** Набираются в редакторе формул Microsoft Equation 3.0. параметры настройки редактора: обычный – 12 пт., крупный индекс – 7 пт., мелкий индекс – 5 пт., крупный символ – 18 пт., мелкий символ – 12 пт. Абзац – без отступов, выравнивание по центру. Справа от формулы в скобках указывается её порядковый номер.
- **Таблицы.** Формат – Microsoft Word или Excel. Над таблицей справа указывается номер таблицы вида: «Таблица 1». Ниже, по центру, размещается её название. Интервал до и после – 6 пт.
- **Аннотации.** Абзац – 1,25 см, выравнивание по ширине, интервал до и после – 6 пт. Аннотации представляются на украинском, русском и английском языках.

Шаблон документа для оформления материалов можно взять в редакции.

Редакция ААЭКС

Индекс 48389

Научно-технический журнал для публикации принимает работы по следующим научным направлениям:

- моделирование объектов и систем управления
- информационно-измерительные системы
- информационно-управляющие комплексы и системы
- оптимальное управление объектами и системами
- методы построения адаптивных систем управления
- цифровые и дискретные системы управления
- современные технические средства, комплексы и системы
- энергетический менеджмент
- экономика научно-технического прогресса

Научно-технический журнал "Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы" приглашает к сотрудничеству организации на взаимовыгодных условиях. Журнал имеет общегосударственную сферу распространения.

Обращаться по адресу:

73008, г. Херсон, Бериславское шоссе, 24
ХНТУ, Редакция журнала ААЭКС
Бражнику Александру Михайловичу
т.: (0552) 552968, 326937
E-mail: aaecs@yandex.ru, app@kstu.edu.ua

Рефераты научно-технического журнала аннотируются по сети INTERNET

Работы следует направлять в редакцию журнала по адресу:

73008, г. Херсон, Бериславское шоссе, 24, ХНТУ, Редакция журнала ААЭКС
E-mail: aaecs@yandex.ru, app@kstu.edu.ua
Справки по телефонам: (0552) 552968, 326937