

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АБУ РАЙХАНА БЕРУНИ**

На правах рукописи

УДК 62-50: 681.3

МАКСУМОВ Алишер Хамидуллаевич

**СИНТЕЗ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ НЕЛИНЕЙНЫМИ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ НА ОСНОВЕ
МОДЕЛЕЙ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ С УЧЕТОМ
ФАКТОРА ВРЕМЕНИ ПРЕБЫВАНИЯ**

Специальность 05.13.07 - "Автоматизация технологических
процессов и производств"

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

ТАШКЕНТ - 2000

Работа выполнена на кафедре "Автоматизация производственных процессов" Ташкентского Государственного технического университета имени Абу Райхана Беруни и в лаборатории "Управление и конструирование процессов" химико-инженерного факультета Калифорнийского университета в г. Дэвисе (США).

Научный руководитель:

доктор те.

Нуритдинов Ш.

доктор техн
кандидат те

Захидов Б.А.
Тохиридзонов М.

A | A/2415
M176 | Максумова
Синтез систем
управлен. нелинейн
1000 | 5/15

Защи
в 10⁰⁰ часе
присуждени
Государств
адресу: 700
ТашГТУ.

С ди
Государств
Университе

Авто

Учен
Специализ
доктор техн

1 по
ком
и по
пус

кого
ул.

0 г.

Р.К.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Технологически непрерывные обменные (тепло-, массо-, влагообменные и др.) процессы занимают значительное место в химико-технологических схемах производства. Анализ типовых процессов химической технологии и типовых систем их автоматического управления позволяет обнаружить наличие для ряда тепло- и массо-обменных процессов установленных фундаментальных соотношений между основными показателями процессов и необходимыми и достаточными требованиями к системам автоматического их управления. Известное правило устанавливает связь числа степеней свободы процесса с количеством необходимых контуров регулирования в системах автоматизации. В то же время ресурсы учета особенностей технологических процессов для оптимального их осуществления далеко не исчерпаны. Это также относится и к совершенствованию методов математической формализации объектов с учетом их химико-технологического характера.

Достигнутые результаты детерминированного подхода к формализации статических и динамических характеристик технологических аппаратов и протекающих в них обменных процессов по различным каналам позволяют в качестве основного принципа отметить базирование на модели гидродинамической структуры потоков и ее идентификацию, исходя из анализа экспериментально снятой функции распределения времени пребывания. Из этого можно сделать вывод о возможности совершенствования современных универсальных методов моделирования (например, моделей нейронных сетей) на основе их рационального сочетания с особенностями формализации обменных процессов.

Не меньший эффект может быть получен от применения системы автоматического управления непрерывными обменными процессами, основанной на идее использования фактора времени пребывания как важного канала воздействия на процесс. Результаты компьютерного анализа указанного канала регулирования показывают возможность улучшения чувствительности и быстродействия систем автоматического воздействия на процесс, что в свою очередь позволяет создавать эффективные структуры САУ для рассматриваемого класса процессов и совершенствовать алгоритмы их синтеза.

Следует особо подчеркнуть, что канал "расход-состояние" является существенно нелинейным. В связи с этим разработка новых методов и алгоритмов синтеза систем управления непрерывными химико-технологическими процессами является актуальной научно-технической задачей.

Работа выполнена в рамках ГНТП ГКНТ РУз в соответствии с заданием 7.14 "Разработка и реализация высокоэффективных оптимальных систем контроля и управления промышленными объектами" (№ Гос. регистрации 01.97.0005795) и в соответствии с планом научно-исследо-

вательских работ Химиико-инженерного факультета Калифорнийского университета в г. Дэвисе (США) по заказу Национального научного фонда США (NSF).

Объект исследования составляют системы автоматического управления непрерывными химиико-технологическими процессами, протекающими в двухфазных обменных аппаратах (теплообменный аппарат рубашечного типа, нейтрализатор pH среды, барабанный увлажнитель).

Цель и задачи исследований. Целью диссертационной работы является исследование и разработка систем управления нелинейными технологическими процессами, основанных на моделях искусственных нейронных сетей с учетом фактора времени пребывания, и их практическое применение для целей автоматизации технологических процессов.

Достижение поставленной основной цели предполагает решение следующих основных задач исследования:

– разработка и исследование систем автоматического регулирования, где в качестве регулирующего воздействия используется время пребывания частиц потока;

– исследование и усовершенствование методов идентификации динамических объектов на основе использования фактора времени пребывания;

– выбор и обоснование общей схемы синтеза систем управления нелинейными технологическими объектами, основанного на использовании динамических моделей нейронных сетей;

– разработка устойчивых алгоритмов идентификации структуры и параметров объектов управления, формализуемых в виде динамических нейронных сетей;

– практическая апробация разработанных методов в прикладных задачах идентификации и синтеза систем управления конкретными технологическими процессами и оценка их эффективности.

Методы исследований. Для решения поставленных в работе задач использованы методы анализа структуры обменных потоков, идентификации моделями нейронных сетей и теории управления нелинейными объектами.

Научная новизна результатов диссертации заключается в разработке систем автоматического управления нелинейными технологическими процессами и совершенствовании методов их синтеза на основе моделей нейронных сетей с учетом фактора времени пребывания.

На защиту выносятся:

– способ автоматического регулирования теплообменных процессов на основе использования времени пребывания в качестве регулирующего воздействия;

– алгоритмы оценивания параметров структуры динамических моделей нейронных сетей с использованием фактора времени пребывания;

– алгоритмы синтеза системы управления нелинейными технологическими объектами на основе динамической модели объекта;

– система автоматического управления процессом увлажнения табака, синтезированная на основе динамической модели нейронной сети.

Практическая ценность. Предложенные математические модели, алгоритмы идентификации моделей динамических нейронных сетей, способ автоматического регулирования теплообменными аппаратами и алгоритмы синтеза систем управления нелинейными объектами на основе использования моделей нейронных сетей с учетом фактора времени пребывания существенно расширяют и углубляют функциональные возможности АСУТП непрерывных химических производств и позволяют повысить уровень автоматизации и эффективность системы управления непрерывными динамическими процессами. Разработанные системы управления нелинейными объектами, реализованные применительно к специфике процессов нейтрализации pH среды и увлажнения табака, посредством прикладных программ на базе MATLAB обеспечивают надежность управления процессами в оптимальных технологических режимах. Результаты диссертационной работы могут быть с успехом использованы научно-исследовательскими и проектными организациями, специализирующимися разработкой и внедрением АСУТП химических и смежных производств.

Реализация результатов работы. Полученные в работе конкретные результаты переданы на предприятие БАТ Узбекистан (British American Tobacco Uzbekistan) - Самаркандскую сигаретную фабрику для их практического использования при реализации системы управления процессом увлажнения табака в цехе первичной обработки табака.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы докладывались, обсуждались и получили одобрение на: Международной научно-теоретической и технической конференции студентов "Высокая духовность – фундамент будущего" (Ташкент, 1995); Республиканской научной конференции "Интеллектуализация систем управления и обработки информации" (Ташкент, 1998); Международном симпозиуме DYCOPS-5 "5th IFAC Symposium on Dynamics and Control of Process Systems" (Греция, 1998); научных семинарах химико-инженерного факультета Калифорнийского университета в г. Дэвисе (США, 1998); и на научных семинарах кафедр факультета электроники, автоматики и вычислительной техники ТашГУ.

Публикации. Основные результаты диссертации опубликованы в 7 научных работах. Разработанный в рамках выполнения диссертационной работы способ автоматического регулирования теплообменных аппаратов зарегистрирован в Патентном Ведомстве Республики Узбекистан.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы из

160 наименований. Работа изложена на 157 страницах машинописного текста, проиллюстрированного 33 рисунками и 4 таблицами.

Автор выражает глубокую благодарность академику АН РУз, доктору технических наук, профессору Надырбеку Рустамбековичу Юсупбекову за научные консультации и внимание к работе.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи исследования и приведена общая характеристика работы.

В первой главе диссертационной работы проанализировано современное состояние вопроса синтеза систем автоматического управления нелинейными технологическими процессами. Выполнен анализ существующих методов моделирования и управления нелинейных технологических объектов. При этом рассматриваются как линейные, так и нелинейные модели объектов с точки зрения их дальнейшего использования в задачах синтеза систем управления. На основе проведенного анализа современных методов моделирования выделен отдельный класс нелинейных нейронно-сетевых моделей.

Анализ и изучение различных архитектур и алгоритмов обучения нейронных сетей позволяет заключить, что модели нейронных сетей могут быть с успехом использованы в задачах идентификации нелинейных динамических объектов. Таким образом, сделав вывод о том, что совершенствование алгоритмов идентификации моделями нейронных сетей заслуживает особого внимания и требует проведения дальнейших исследований в области решения задач идентификации нелинейных технологических объектов и возможности их использования в задачах синтеза высокоэффективных систем автоматического управления.

В соответствии с вышеотмеченным, естественным образом возникает стремление проанализировать особенности задачи синтеза систем управления нелинейными технологическими объектами. По результатам проведенного анализа был выделен отдельный тип систем управления в виде ИМС-структуры, который использует динамическую модель объекта в контуре регулирования.

Вышеизложенные выводы обусловили постановку цели настоящей диссертационной работы, посвященной разработке и исследованию методов и алгоритмов синтеза систем управления нелинейными технологическими процессами на основе моделей нейронных сетей с учетом фактора времени пребывания и их практическому применению при решении задач автоматизации конкретными процессами производства.

Вторая глава диссертации посвящена разработке подходов применения времени пребывания в качестве управляющего и идентифицирующего фактора для непрерывных обменных технологических аппаратов.

Анализ функций распределения времени пребывания (РВП) частиц в аппаратах и передаточной функции позволяет заключить, что функция РВП является эквивалентом весовой функции при линейном представлении динамики канала регулирования. Показанная достаточная тождественность этих двух показателей динамики не затеняет отличий моделей динамики в плане их детерминированности: функция РВП, как результат определения структуры потоков в аппарате, содержит информацию о внутреннем механизме протекания технологического процесса. Поскольку методы химической кибернетики обосновывают модели гидродинамики как основу математических описаний технологических процессов, то исследования статики и динамики технологических процессов с целью их оптимальной организации могут извлечь полезную информацию из модельных представлений о гидродинамической обстановке (даже от показателя функции РВП, допускающей различные структурные интерпретации в смысле характера перемешивания потоков, т.е. в плане допущений о типе распределения параметров в пространстве аппарата).

Рассмотрим способ использования фактора времени пребывания в качестве регулирующего воздействия для класса непрерывных двухфазных обменных процессов на примере теплообменного процесса, протекающем в теплообменнике рубашечного типа. Математическая модель процесса строится в соответствии со схемой организации потоков аппарата (рис. 1).

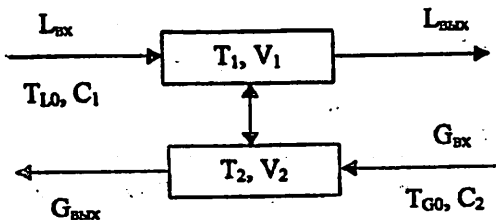


Рис. 1. Схема организации потоков теплообменника.

- $L_{вх}, L_{вых}$ — расход вещества на входе и выходе аппарата;
- $G_{вх}, G_{вых}$ — расход теплоагента на входе и выходе рубашки теплообменника;
- T_{10}, T_{00} — температура вещества при входе в аппарат, температура теплоагента при входе в рубашку;
- T_1, T_2 — температура частиц первой и второй фаз;
- V_1, V_2 — объем аппарата и рубашки соответственно;
- C_1, C_2 — теплоемкость вещества и теплоагента.

Составим математическую модель процесса при условии идеального перемешивания в виде уравнений материального и теплового балансов:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dV_1}{dt} = L_{\text{ex}} - L_{\text{свх}}, \\ \frac{d(V_1 C_1 T_1)}{dt} = L_{\text{ex}} C_1 T_{L0} - L_{\text{свх}} C_1 T_1 + kF(T_2 - T_1), \\ V_2 C_2 \frac{dT_2}{dt} = G_{\text{ex}} C_2 T_{G0} - G_{\text{свх}} C_2 T_2 + kF(T_1 - T_2). \end{array} \right. \quad (1)$$

Как было отмечено выше, исходя из особенностей конструкции аппаратов и типа технологического процесса, можно выделить два канала регулирования для построения системы регулирования данного объекта. При синтезе структуры системы управления необходимо учитывать специфику двухканального объекта (т.е. наличие дополнительного канала регулирования). Таким образом, преобразуем классическую схему регулирования по отклонению для двух каналов регулирования (рис. 2).

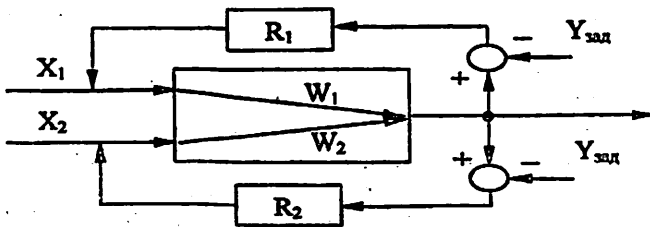


Рис. 2. Структурная схема системы регулирования для двухканального объекта.

Как видно из рис.2, система регулирования включает в себя два регулятора – по основному каналу (R_1), служащего для стабилизации выхода объекта Y , и по вспомогательному каналу (R_2), предназначенного для более точного регулирования выходного параметра объекта Y . При этом оба регулятора имеют одинаковый сигнал задания.

Предлагаемая двухканальная система регулирования была изучена на математической модели системы, которая выглядит следующим образом:

$$\left\{ \begin{array}{l} G = K_{p1}(T_1 - T_{\text{зад}}) + G_0, \\ U = K_{p2}(T_1 - T_{\text{зад}}) + U_0, \\ \frac{dV_1}{dt} = L_{\text{ex}} - L_{\text{свх}}, \\ \frac{dT_1}{dt} = \frac{L_{\text{ex}} C_1 T_{L0} - L_{\text{свх}} C_1 T_1 + kF(T_2 - T_1) - T_1 C_1 (L_{\text{ex}} - L_{\text{свх}})}{C_1 V_1}, \\ \frac{dT_2}{dt} = \frac{G_{\text{ex}} C_2 T_{G0} - G_{\text{свх}} C_2 T_2 + kF(T_1 - T_2)}{C_2 V_2}. \end{array} \right. \quad (2)$$

Компьютерные эксперименты по исследованию двухканальной системы регулирования на примере теплообменного процесса показали, что по сравнению с классической одноконтурной системой регулирования по отклонению, предлагаемая обладает следующими преимуществами:

1. Обеспечивает быстроедействие системы регулирования при ступенчатом возмущении по каналу задания регуляторам;
2. Достигается меньшее значение статической ошибки регулирования при использовании П- регуляторов.

Наличие дополнительного канала регулирования в такого класса объектах позволяет найти более экономичные (с точки зрения расхода теплоагента) режимы функционирования технологических аппаратов. Таким образом, оптимальная организация схемы взаимодействия потоков промышленных обменных аппаратов является конечной целью оптимального конструирования, эксплуатации и управления. Поскольку структура потоков определяет вид и характеристики функции распределения времени пребывания частиц потока в объеме аппарата, то и алгоритмы оптимальной организации может быть основан на интерпретации результатов принимаемых решений в виде анализа значений моментов функции распределения времени пребывания. Так, математическое ожидание времени пребывания предопределяет объем фазы в аппарате, его объем, в конечном счете, а дисперсия решающим образом влияет на степень рационального использования движущей силы обменного процесса (в особенности - противоточного). Установление зависимости результирующих показателей процесса от интегральных характеристик функции РВП позволяет упростить задачу анализа и синтеза системы организации и управления процессом.

Приведем некоторые результаты оценки эффективности обусловленной улучшением степени организованности структуры потоков непрерывного противоточного двухфазного обменного аппарата как наиболее распространенного для осуществления тепло- и массообмена при параметрах, соответствующих реальным производственным условиям. Степень продольного перемешивания задается параметром ячеечной модели - n . Численное решение показало, что для процессов, предназначенных для "извлечения полезной субстанции" (экстрагирование, нагревы, т.д.), эффект от организации составляет 20% при переходе от $n = 1$ к $n = 2$, 40% при $n = 10$ и 50% при $n = 100$. Для других условий контакта фаз (с более интенсивным обменом) этот эффект составляет 70% при $n = 10$ и 85% при $n = 100$. Для процессов же "очистка от компонентов" (сушка, охлаждение и др.) этот коэффициент в первом случае составляет 25-32%, а в случае интенсивного обмена при $n = 10$ составляет 200%; при $n = 100$ эффект организованности достигает до 400%.

Таким образом, разработан алгоритм процесса оптимального конструирования непрерывных двухфазных обменных аппаратов на основе

улучшения степени организованности гидродинамической структуры потоков.

Путем исследования функции распределения времени пребывания разработан метод определения входных параметров динамических объектов в классе входо-выходных моделей.

Применительно к технологическим процессам, протекающим в непрерывных аппаратах определенной конструкции, априорно известные результаты, относящиеся к характеру перемещения фаз, по гидродинамике потоков и др. обеспечивают возможность связать описанную проблему в общем случае с так называемыми функциями распределения времени пребывания (РВП) частиц потока в аппарате по рассматриваемому каналу. Следует отметить актуальность в некоторых случаях и обратной постановки: применив линейные зависимости во всех слоях нейронно-сетевой модели, мы можем придти к линейной модели объекта управления, в котором весовые коэффициенты в совокупности своей несут информацию о функции РВП.

В предположении о наличии функции РВП можно предложить схему ее учета при предварительном выборе совокупности значений входного параметра – аргументов динамической нейронной-сетевой модельной функции.

В третьей главе диссертации приводятся результаты разработки алгоритмов идентификации нелинейного динамического объекта на основе нейронных сетей (НС) и синтеза системы управления с параллельным использованием модели нейронной сети в контуре системы управления и нелинейным нейронным регулятором.

Обоснован выбор архитектуры нейронной сети для целей идентификации нелинейного динамического объекта. Из большого множества различных архитектур нейронных сетей, известных до сих пор, было заключено, что наиболее подходящей для целей идентификации нелинейных технологических объектов является многослойная НС прямого распространения (feedforward neural networks).

Рассмотрим нелинейный динамический объект, описываемый следующим выражением:

$$y(k) = f(y(k-1), y(k-2), \dots, y(k-n), u(k-1), u(k-2), \dots, u(k-m)), \quad (3)$$

где $y(k) = [y_1(k), \dots, y_m(k)]^T$, $u(k) = [u_1(k), \dots, u_n(k)]^T$.

Здесь: $u(k)$, $y(k)$ – входо-выходная пара данных системы в момент k ; n , m – соответственно количество прошлых входов и выходов, включенных в модель (на практике обычно $m \leq n$); $f(\cdot)$ – статическая нелинейная функция.

Если учесть специфику построения нейронной архитектуры в моделях feedforward НС, выражение (3) примет следующий вид:

$$\tilde{y}(t) = \tilde{F}(X(t), W, B, F), \quad (4)$$

где \tilde{F} - нелинейное преобразование нейронной сети; $\tilde{y}(t)$ - прогнозируемый выход НС; $X(t)$ - матрица входо-выходных данные системы в различные периоды времени; W - матрица весовых коэффициентов нейронной сети (weights); B - матрица сигналов смещения узлов нейронной сети (biases); F - матрица функций активации узлов нейронной сети (activation functions).

Цель идентификации нелинейного динамического объекта на основе нейронной сети представляет собой целенаправленный поиск по измеренным входным $u(t)$ и выходным $y(t)$ сигналам идентифицируемого объекта с использованием априорной информации о свойствах исследуемого объекта и об общих закономерностях его функционирования - с тем, чтобы выходные сигналы $\tilde{y}(t)$ найденной модели удовлетворяли критерию оптимизации при одних и тех же выходных сигналах $u(t)$. Идентификация нелинейного технологического объекта осуществляется по следующему алгоритму:

- 1) получить входо-выходные данные о реальном объекте;
- 2) получить данные отклика системы на импульсное возмущение;
- 3) определить обучающую выборку данных;
- 4) определить входные параметры модели НС по полученной функции распределения времени пребывания;
- 5) определить структуру модели НС;
- 6) обучить НС;
- 7) проверить полученную модель на адекватность ;
- 8) если модель неадекватна, то перейти к пункту (5), иначе - к пункту (9);
- 9) конец алгоритма.

Ключевым вопросом при идентификации моделью нейронной сети является выбор алгоритма обучения. В связи с этим в работе обоснован выбор алгоритма обучения feedforward НС в задачах идентификации нелинейного динамического объекта. По результатам сравнения эффективности ряда алгоритмов обучения, было заключено, что данная задача может быть более эффективно решена посредством алгоритма обратного распространения (back propagation algorithm). Так как алгоритм back propagation - это итеративный градиентный алгоритм обучения, относящийся к парадигме алгоритмов обучения с учителем, где имеется обучающая выборка НС, то подстройка параметров НС осуществляется в направлении минимизации среднеквадратичной ошибки на выходе НС:

$$D = \frac{1}{2} \sum_p (\tilde{y}_p - y_p)^2 \rightarrow \min, \quad (5)$$

где \tilde{y}_p - текущее выходное значение НС в момент p , ($p=1, \dots, P$); y - желаемое выходное значение, т.е. реальные данные об объекте.

Вычисления, производимые по back propagation алгоритму, разбиваются на следующие этапы:

1. Инициализация НС:

Весовым коэффициентам и сигналам смещения сети присваиваются малые случайные значения из диапазонов (w_{min}, w_{max}) и (b_{min}, b_{max}) соответственно.

2. Определение элемента обучающей выборки:

(<текущий вход>, <желаемый выход>). Текущие входы $(x_0, x_1, \dots, x_{N-1})$ должны различаться для всех элементов обучающей выборки. При использовании многослойного персептрона в качестве классификатора желаемый выходной сигнал $(d_0, d_1, \dots, d_{N-1})$ состоит из нулей - за исключением одного единичного элемента, соответствующего классу, к которому принадлежит текущий входной сигнал.

3. Вычисление текущего выходного сигнала:

Текущий выходной сигнал определяется в соответствии с традиционной схемой функционирования feedforward НС:

$$y_j = f(S_j), \text{ где } S_j = \sum_{i=1}^N w_{ji} x_i + b_j. \quad (6)$$

4. Настройка синаптических⁹ весов:

Для настройки весовых коэффициентов используется рекурсивный алгоритм, который сначала применяется к выходным нейронам сети, а затем проходит сеть в обратном направлении до первого слоя. Синаптические веса настраиваются в соответствии с формулой:

$$w_{ij}(t+1) = w_{ij}(t) + r g_j x'_i, \quad (7)$$

где w_{ij} - вес от нейрона i или от элемента входного сигнала i к нейрону j в момент времени t ; x_i - выход нейрона i или i -ый элемент входного сигнала; r - шаг обучения; g_j - значение ошибки для нейрона j .

Если нейрон с номером j принадлежит последнему слою, то

$$g_j = y_j(1 - y_j)(d_j - y_j). \quad (8)$$

где d_j - желаемый выход нейрона j , y_j - текущий выход нейрона j .

Если нейрон с номером j принадлежит одному из слоев с первого по предпоследний, то

$$g_j = x'_j(1 - x'_j) \sum_k g_k w_{kj}, \quad (9)$$

где k пробегает все нейроны слоя с номером на единицу больше, чем у того, которому принадлежит нейрон j .

Рассмотрим систему управления в виде ИМС-структуры (Internal Model Control) для нелинейных объектов, приведенную на рис.3. Здесь нелинейные операторы P , R , M и F обозначают: P - процесс или объект управления, R - нелинейный регулятор, M - нелинейная модель процесса,

F – робастный фильтр, x , y – соответственно вход и выход, d , d' – неизмеряемые помехи и y_s – сигнал задания регулятора.

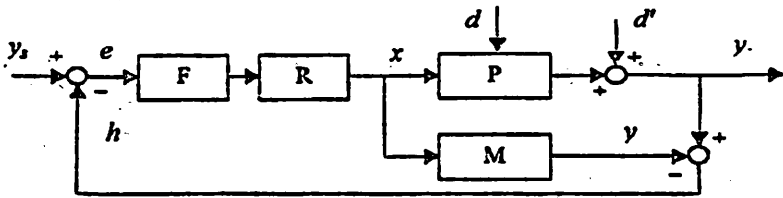


Рис.3. Структурная схема ИМС-системы управления.

Из приведенной структурной схемы следует:

$$e = y_s - y + y_m, \quad (10)$$

$$y_m = M C e, \quad (11)$$

$$h = (P_d - M) C e + d', \quad (12)$$

где P_d – оператор нелинейного объекта, находящийся под воздействием неизмеряемых помех.

Синтез системы управления нелинейным динамическим объектам в виде ИМС-структуры заключается в использовании нелинейной динамической модели объекта и синтезе нелинейного регулятора, что в свою очередь осуществляется инверсией нелинейной модели объекта.

Рассмотрим случай, когда нелинейный оператор M может быть расчленен на линейный L и нелинейный N члена следующим образом:

$$M = L + N. \quad (13)$$

Если существует обратная (инверсия) линейного члена L , несложное преобразование приведет к следующему:

$$M = L (I + L^{-1} N), \quad (14)$$

откуда можно получить

$$M^{-1} = (I + L^{-1} N)^{-1} L^{-1}. \quad (15)$$

Существование такой инверсии M^{-1} зависит от наличия L^{-1} и $(I + L^{-1} N)^{-1}$. Если мы имеем эти две инверсии, то обратная (инверсия) нелинейного оператора может быть найдена только существованием L^{-1} (т.е. обратной линейного члена нелинейной модели).

Нелинейную динамическую модель объекта представим в виде feedforward нейронной сети. Тогда, учитывая, что имеется нелинейная модель объекта в виде нейронной сети, физическое расчленение модели ИС на линейную и нелинейную компоненты невозможно. Поэтому необходимо отдельно получить линейную модель объекта (например, в виде ARX модели) и использовать ее в системе управления нелинейным объектом.

В результате соответствующих преобразований структура полной системы управления нелинейными объектами на основе использования

модели НС будет выглядеть так, как это показано на рис.4. Здесь: M – нелинейная модель процесса (модель НС), L – линейная модель процесса (модель класса ARX), L^{-1} – инверсия линейной модели, F_1, F_2 – фильтры.

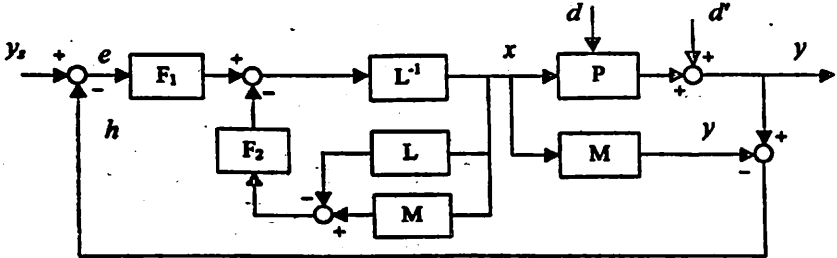


Рис. 4. Структурная схема ИМС-системы управления нелинейным объектом.

Выполнен компаративистский анализ эффективности функционирования предложенной системы управления нелинейными объектами на примере нелинейного процесса нейтрализации рН среды. Полученные модели динамической НС и ARX были использованы для синтеза ИМС-системы управления данным процессом.

Четвертая глава диссертации посвящена практической реализации разработанных алгоритмов и вычислительных схем в задачах синтеза системы управления технологическим процессом увлажнения табака, являющимся одним из основных переделов на линии первичной обработки табака в сигаретном производстве.

Для решения поставленной задачи были проведены исследования с целью автоматизации управления барабаном увлажнения табака типа ТВ-300S, в результате которых были определены основные показатели (рис.5), характеризующие данный процесс.

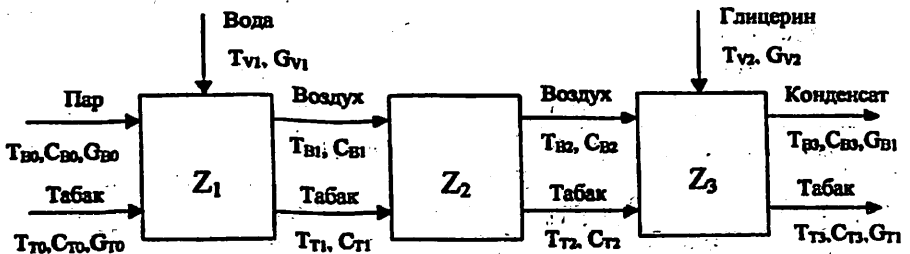


Рис. 5. Структурная схема технологического процесса увлажнения табака.

Z_1 – Зона открытия комков табака; Z_2 – Зона увлажнения; Z_3 – Зона нанесения покрытий (глицерина).

На основе обучающей выборки, полученной в результате проведения активных экспериментов при различных режимах функционирования технологического аппарата по каналу "расход пара – влажность табака", разработана математическая модель процесса в виде динамической нейронной сети.

Решена задача синтеза высокоэффективной системы управления технологическим процессом увлажнения табака, основанного на применении динамической модели НС с feedforward архитектурой и нелинейного нейронного регулятора в ИМС-системе управления.

На основе предложенной системы управления технологическим процессом увлажнения табака разработана функциональная схема автоматизации данного процесса (рис.6.), которая может быть легко реализована на базе унифицированных элементов современных комплексов технических средств автоматизации и вычислительной техники.

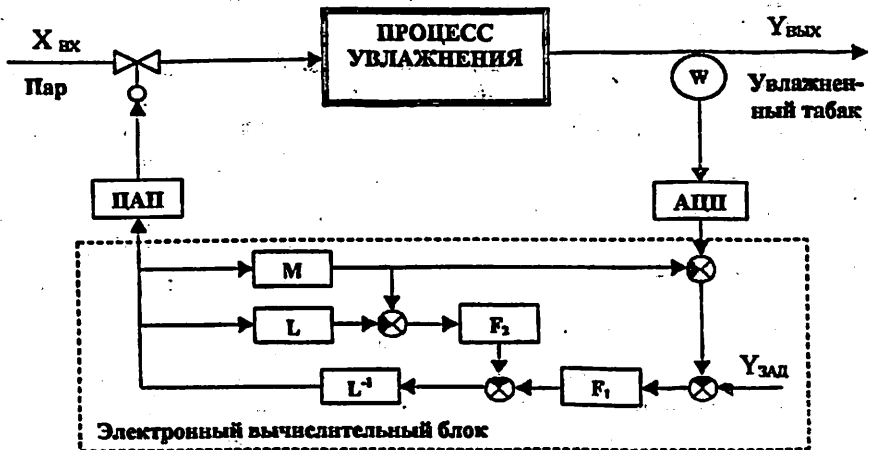


Рис. 6. Функциональная схема системы управления процессом увлажнения табака.

Технико-экономическая эффективность от реализации разработанной системы управления процессом увлажнения табака достигается в результате стабилизации динамических характеристик барабана увлажнения, уменьшения колебаний влажности табака на выходе из аппарата и на линии в целом исходя из оптимального функционирования системы управления на основе разработанных алгоритмов, что позволит сэкономить расход пара на 4 % и воды на 5% в барабане увлажнения и сократить общее время обработки табака на технологической линии первичной обработки табака на 11%. При этом, согласно расчетам

ожидаемый годовой экономический эффект от внедрения автоматической системы управления только на Самаркандской сигаретной фабрике составляет 632880 сум.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты, полученные в диссертационной работе, сводятся к следующему:

1. Предложен способ построения математических моделей и синтеза системы управления, основанный на использовании фактора времени пребывания и учете потоков реальной гидродинамической структуры в аппаратах. Разработанный способ позволяет синтезировать двухканальную систему управления для непрерывных обменных технологических аппаратов. Результаты эффективности функционирования синтезированной системы управления показаны на примере теплообменного аппарата рубашечного типа.

2. Разработан новый подход к оптимальной организации структуры потоков на основе анализа функции распределения времени пребывания частиц в аппарате. Проведены исследования, направленные на повышение эффективности процессов за счет улучшения степени организованности структуры потоков. На основе предложенного подхода разработан алгоритм процесса оптимального конструирования НПДО аппаратов, позволяющий определить статически оптимальный объем аппаратов с учетом возможности использования времени пребывания в качестве регулирующего воздействия.

3. Исследование функции распределения времени пребывания частиц в аппаратах позволило предложить способ определения входных параметров динамических входо-выходных моделей. Разработанный на основе предложенного способа алгоритм позволяет произвести оценку входных параметров динамической модели нейронной сети.

4. Предложен алгоритм идентификации нелинейного объекта на основе применения динамической модели нейронной сети. Разработанный алгоритм позволяет эффективно обучить нейронную сеть адекватно воспроизводить сигналы произвольного нелинейного динамического объекта.

5. Разработан алгоритм синтеза системы управления нелинейными объектами на основе использования модели нейронной сети параллельно в контуре системы управления. Произведен синтез нелинейного регулятора на основе метода получения инверсии расчлененной нелинейной модели. Синтезированный нелинейный регулятор позволяет улучшить динамические свойства и робастность системы управления. Эффективность функ-

ционирования предложенной системы управления показана на примере технологического процесса нейтрализации рН среды.

6. Произведена формализация процесса увлажнения табака как объекта автоматического управления, предложен критерий эффективности и выделена система параметров, определяющая режим функционирования исследуемого объекта. На основе анализа структуры потоков процесса в аппарате, разработана модель многослойной динамической нейронной сети, позволяющая адекватно описывать рассматриваемый процесс

7. Решена задача синтеза системы автоматического управления барабана увлажнения табака с применением модели НС на основе фактора времени пребывания и нелинейного регулятора. Результаты проведенных исследований позволяют заключить, что разработанная система управления обеспечивает заданное качество выходного продукта, снижение энергетических затрат на эксплуатацию установки.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Максумов А.Х., Нуриддинов Ш. Время пребывания в технологических аппаратах как регулирующее воздействие.// Высокая духовность – фундамент будущего: Тез. докл. научно-теор. и техн. конф. - Ташкент, 1995. -с.118.

2. Нуриддинов Ш., Максумов А.Х., Турапина Н.Н. Способ автоматического регулирования теплообменных аппаратов./ Предварительный патент UZ №2833, опубл. 30.09.95. Бюл. изобр. №3.

3. Нуриддинов Ш., Максумов А.Х. Двухканальная автоматическая система регулирования непрерывного обменного процесса.// Моделирование и управление технологическими процессами: Сб. научных тр./ Ташкентский гос. техн. университет, 1996. -с.68-71.

4. Максумов А.Х. Статистический анализ процесса пропорционального регулирования по каналу "расход-концентрация(температура)".// Исследования научно-технических достижений высшей школы: Сб. научных тр./ Ташкентский гос. техн. университет, 1996. -с.152-154.

5. Maksimov A., Harris K.R., Palazoglu A. Experimental application of partitioned model-based control to pH neutralization.// Proc. of 5th IFAC Symp. on Dynamics and Control of Process Systems, DYCOPS-5, Corfu, Greece, 1998. -pp.584-589.

6. Нуриддинов Ш., Максумов А.Х., Шаумаров Б.М. Об организации распределения времени пребывания в обменных аппаратах.// Узбекский химический журнал, 1999. -№1. -с.56-61.

7. Юсупбеков Н.Р., Нуриддинов Ш., Максумов А.Х. Об идентификации нелинейного процесса нейтрализации рН раствора на основе динамической модели нейронной сети.// Журнал ДАН РУз, 2000. - №4. -с.34-37.

А.Х. Максумов

Ночизикли технологик жараёнларнинг бошқариш тизимларини нейрон турли моделлар асосида бўлиш вақти омилини ҳисобга олган ҳолда синтез қилиш

МАЗМУННОМА

Диссертация ишида ночизикли технологик жараёнларнинг бошқариш тизимларини бўлиш вақти омилини ҳисобга олган ҳолда нейрон турли моделлар орқали синтез қилиш алгоритмлари ва услублари тадқиқ қилинган. Бунда ўртача бўлиш вақти идентификация қилиш ва бошқариш омили сифатида ишлатилган.

Узлуксиз икки фазали алмашиниш жараёнлари учун икки каналли бошқариш тизими таклиф қилинган. Бундай бошқариш тизими бўлиш вақтини ростлаш канали сифатида ишлатиш ғоясига асосланган. Таклиф қилинган бошқариш тизими иссиқлик алмашиниш жараёни асосида тадқиқ қилиниб, унинг бошқа классик тизимлардан афзалликлари кўрсатилган.

Аппаратларнинг бўлиш вақти функциясини тадқиқ қилиш асосида уларнинг кириш ва чиқиш параметрларини ўзаро боғлиқлигини эътиборга олиш усули ишлаб чиқилган. Ушбу усул асосида динамик нейрон турли моделларнинг кириш параметрларини аниқлаш алгоритми таклиф қилинган.

Динамик нейрон турли модель асосида ночизикли объектларни идентификация қилиш алгоритми таклиф қилинган. Ушбу алгоритм асосида топилган нейрон турли модель ИМС- структура кўринишли ночизикли технологик жараёнларнинг бошқариш тизимини синтез қилишда қўлланилган. Тадқиқ қилинган бошқариш тизимининг ночизикли ростлагичи жараён моделини булақларга ажратиш усули асосида синтез қилинган. Кўрилган бошқариш тизими эритманинг рН ни нейтраллаш ночизикли жараёни мисолида MATLAB математик пакети асосида амалга оширилган ва унинг афзалликлари кўрсатилган.

Диссертация иши натижаларининг амалий тадбиқ қилиш мақсадида тамакани намлаш технологик жараёни автоматик бошқарув объекти сифатида ўрганилан. Тадқиқ қилинган объект фаолиятини белгилловчи параметрлар объектда ўтказилган тажрибалар асосида аниқланган, шу маълумотлар асосида технологик жараёни автоматик бошқариш тизимининг синтез қилиш масаласи ҳал этилган. Ишлаб чиқилган бошқариш тизими тамакани намлаш жараёнини самарали автоматик бошқарувини таъминлаш ҳақида хулоса қилинган.

A.Kh. Maksumov

Synthesis of Nonlinear Technological Process Control Systems based on Neural Networks with the Reference Time Factor

ABSTRACT

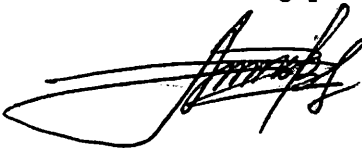
In the dissertation synthesis of nonlinear technological process control systems based on neural networks with the reference time factor algorithms and methods are investigated. Here the reference time is used as identification and control factor.

A double channel control system for continuous double phase exchange processes is purposed. The control system is based on the idea of reference time usage as a control channel. The purposed control system was investigated on the basis of heat exchange process, and there was demonstrated its advantage over conventional classical systems.

On the basis of reference time function investigation, there has been created a new approach to analysis of the relationship between input and output parameters of plants. The dynamic neural network input parameters identification algorithm was proposed.

Nonlinear process identification algorithm based on neural networks was purposed. The identified neural network was used to create IMC based control system for nonlinear technological processes. A nonlinear controller of purposed system has been designed based on partitioned model approach. The designed control system was applied for nonlinear pH neutralization process in MATLAB, and there were shown its advantages.

For practical application of dissertation results, a tobacco moisturizing process was investigated as an automatic control plant. The plant's characterizing parameters are identified by series of experiments on the plant, and this information was used to design a control system. There was drawn a conclusion that developed control system of tobacco moisturizing process ensures an effective control of the process.



Подписано в печать 13.06.2000 г., формат 60x84^{1/16}, оперативная
печать, бумага №1, усл. п. л. 1,0. уч.издл., тираж 100, заказ
№ 448 . Отпечатано в типографии ТашГТУ. 700095, Ташкент,
Вузгородок, ул. Талабалар, 54.