М298665

НА ДОМ НЕ ВЫДАЕТСЯ

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР
МОСКОВСКОЕ ОРДЕНА ЛЕНИНА И ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧИЛИЩЕ ИМЕНИ Н.Э.БАУМАНА

На правах рукописи

ВАСИЛЬЕВ Гавриил Вадимович

СИНТЕЗ АЛГОРИТМОВ СТОХАСТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ ОДНОГО КЛАССА

Специальность 05.13.02 – Теория автоматического управления и регулирования

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Москва – 1976

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР
МОСКОВСКОЕ ОРДЕНА ЛЕНИНА И ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧИЛИЩЕ ИМЕНИ Н.Э.БАУМАНА

На правах рукописи

ВАСИЛЬЕВ Гавриил Вадимович

СИНТЕЗ АЛГОРИТМОВ СТОХАСТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ ОДНОГО КЛАССА

Т129865

Специальность 05.13.02 – Теория автоматического управления и регулирования

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

Москва – 1976

НТБ МГТУ им.Н.Э.Баумана
1298665
Васильев Г.В.Синтез алгор

Работа выполнена на кафедре "Системы автоматического управления" Московского ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени высшего технического училища имени Н.Э.Баумана.

Научный руководитель — заслуженный деятель науки и техники РСФСР, доктор технических наук, профессор В.В.Солодовников.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор А.В.Поцелуев,

кандидат технических наук, старший научный сотрудник Ю.Л.Клоков.

Ведущая организация — Государственный всесоюзный ордена Трудового Красного Знамени центральный научно-исследовательский институт комплексной автоматизации (ЦНИИКА).

Защита диссертации состоится в 14 час. 30 мин. 20 декабря 1976 г. на заседании специализированного Совета по присуждению ученой степени кандидата технических наук К - 33/12 по технической кибернетике и автоматическому управлению МВТУ имени Н.Э.Баумана.

Ваши отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью, просим направлять по адресу: г.Москва, 107005, 2-я Бауманская ул., д.5.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МВТУ имени Н.Э.Баумана.

Автореферат разослан 19 ноября 1976 г.

Ученый секретарь Совета
кандидат технических наук, доцент — А.В.Яковлев

Подписано к печати 30.07.76. Объем 1 печ.л. Л 101916
Типография МВТУ. Заказ Тираж 100 экз.

ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ
МВТУ им. Н.Э. Баумана БИБЛИОТЕКА

Общая характеристика работы

Актуальность темы исследования. Большое значение в практике автоматического управления промышленными процессами имеет задача стабилизации, заключающаяся в поддержании определенного установившегося режима работы объекта управления. При этом, поскольку степень компенсации действия возмущений обычно определяет качество целевого продукта, задачу стабилизации в определенном смысле можно интерпретировать как задачу управления качеством целевого продукта в установившемся режиме работы промышленного объекта.

Наиболее эффективное решение этой задачи можно получить, синтезируя замкнутые алгоритмы динамической стабилизации. Однако, для рассмотренного в работе класса объектов управления – стохастических объектов с запаздыванием – синтез таких алгоритмов и их реализация, даже при наличии ЭВМ в контуре управления промышленным объектом, связаны со значительными трудностями. Существенную роль при этом играют трудности практической реализации известных методов стохастической теории управления, которые теоретически можно применить для решения данной задачи. В этих условиях актуальным является исследование прикладных аспектов решения задачи синтеза алгоритмов стабилизации промышленных объектов указанного класса.

Цель работы заключается в обосновании выбора и исследовании наиболее удобного для практического применения метода синтеза замкнутых алгоритмов стабилизации одного класса промышленных стохастических объектов с запаздыванием.

Актуальность прикладной задачи. Важным практическим примером задачи стабилизации стохастического объекта с запаздыванием является задача минимизации дисперсии вязкости поликапроамида, возникающая при производстве полиамидного волокна.

В соответствии с направлениями, намеченными в решениях XXV съезда КПСС, наряду с интенсивным ростом выпуска полиамидных волокон в текущей пятилетке происходит техническое перевооружение производства за счет внедрения в рамках непрерывной технологии агрегатов большой единичной мощности. В этих условиях на первый план выступает проблема улучшения качества волокна. Между тем, опыт промышленной эксплуатации непрерывных тех-

нологических процессов получения полиамидных волокон показывает, что для достижения желаемого качества волокна необходимо существенное улучшение управления процессом, при этом задача снижения дисперсии вязкости поликапроамида является в настоящее время одной из важнейших.

Анализ работ в области управления процессом и данные экспериментальных исследований конкретного технологического процесса получения поликапроамида позволяют сделать вывод о том, что одним из наиболее перспективных путей снижения дисперсии вязкости за счет улучшения управления процессом является внедрение оптимального стохастического регулятора, минимизирующего дисперсию вязкости поликапроамида, на базе УВМ в контуре управления объектом.

Целью прикладной части работы является обоснование этого вывода, проведение необходимых экспериментальных исследований, синтез оптимального алгоритма и внедрение его на действующей промышленной установке получения поликапроамида.

Методы исследования. В теоретической части исследования в основном использованы: метод пространства состояний, метод фильтрации Калмана, метод управления с минимумом дисперсии Бокса-Дженкинса-Острема, статистические методы анализа линейных систем и метод параметрической оптимизации.

Для исследования и описания свойств объекта управления использован математический аппарат теории случайных процессов и математической статистики, в частности, корреляционные методы анализа временных рядов. В прикладной части использованы методы активного и пассивного эксперимента, метод параметрической идентификации во временной области и метод цифрового моделирования.

В целом в работе использован математический аппарат и методы стохастической теории управления для дискретных линейных систем.

Научная новизна.

Для выделенного в работе класса объектов управления проведен сравнительный анализ методов решения задачи стабилизации с точки зрения удобства реализации при управлении промышленными объектами с УВМ в контуре управления. В качестве наиболее удобного для практического использования рекомендуется метод управления с минимумом дисперсии Бокса-Дженкинса-Острема.

Проведено исследование этого метода, включающее анализ основных особенностей, преимуществ и недостатков, связи с другими подходами и области наиболее эффективного использования.

Исследовано решение задачи синтеза алгоритмов управления с минимумом дисперсии. Предложено развитие метода Бокса-Дженкинса идентификации модели объекта управления, позволяющее сократить объем активных экспериментальных исследований объекта.

Полученные в теоретической части результаты непосредственно использованы при решении задачи минимизации дисперсии вязкости поликапроамида на выходе химической части непрерывного технологического процесса получения полиамидного волокна. Для решения этой задачи впервые применен метод управления с минимумом дисперсии. Исследованы задачи, стоящие в области управления процессом, и существующие подходы к их решению, обоснована целесообразность применения метода Бокса-Дженкинса-Острема для минимизации дисперсии вязкости поликапроамида, проведено экспериментальное исследование объекта управления, получена математическая модель объекта, синтезирован алгоритм оптимальной стабилизации.

Практическая ценность. Результаты работы могут быть использованы для обоснованного выбора и практической реализации метода решения задачи стабилизации промышленных стохастических объектов с запаздыванием. В настоящее время такая задача возникает в ряде отраслей промышленности: энергетике, металлургии, цементной промышленности, химической технологии и др.

Результаты, полученные в практической части работы, включены в технический и рабочий проекты второй очереди автоматизированной системы управления технологическим процессом получения поликапроамида, внедряемой на Клинском ордена Трудового Красного Знамени промышленном объединении "Химволокно" имени В.И.Ленина. Внедрение осуществляется на базе УВМ МПОИО в контуре управления объектом. Результаты работы использованы в типовом проекте АСУ ТП получения поликапроамида, разрабатываемым ВНИИСВ.

Апробация работы. Материалы диссертационной работы доложены на III Всесоюзной межвузовской научно-технической конференции "Достижения и перспективы развития технической кибернетики", Киев, 1975 г., и на Всесоюзной научной конференции "Автоматизированные системы управления", Тбилиси, 1976.

Основные результаты диссертации опубликованы в трех печатных работах.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации 150 страниц машинописного текста, 14 рисунков, 1 таблица, 2 приложения, список литературы включает 274 названия.

Краткое содержание работы

Во введении к диссертации приводится общая постановка задачи оптимальной стабилизации.

Пусть имеем набор управляющих входных величин $U(t) = [u_1(t), u_2(t), \dots u_p(t)]$, набор возмущений, приложенных в разных точках объекта управления (возмущение можно считать приложенным и к выходу объекта) $F(t) = [f_1(t), f_2(t), \dots f_\ell(t)]$, набор наблюдаемых выходных величин $Y(t) = [y_1(t), y_2(t), \dots y_m(t)]$ и математическую модель объекта $Y = \Psi(t, U, F)$ заданную в отклонениях $Y(t)$, $U(t)$ и $F(t)$ от некоторых их средних значений, которые в дальнейшем без потери общности положим равными нулю. Будем считать, что целью стабилизации является отыскание управлений, для которых с определенной точностью будет выполняться условие $Y(t) = 0$. Критерий качества управления в этом случае часто задается в виде

$$J = E\left\{\sum_t \left[Y^T(t)V(t)Y(t) + U^T(t-1)W(t)U(t-1)\right]\right\}, \quad (1)$$

где $V(t)$ и $W(t)$ – симметричные неотрицательно определенные матрицы, символ E означает мат. ожидание, $(^T)$ – транспонирование, предполагается, что J имеет экстремум в рабочей области. Примем следующие допущения:

1. $Y(t)$ и $F(t)$ являются стационарными в широком смысле случайными процессами и наблюдаются дискретно с интервалом Δ.

2. Управление $U(t)$ ищется в классе кусочно-постоянных с интервалом Δ функций.

Во введении рассмотрена классификация задач стабилизации, показано, что наибольших результатов в смысле удовлетворения заданному критерию оптимальности для большинства реальных объектов можно достичь на уровне динамической стабилизации, когда управляющие воздействия вносятся в систему с интервалом меньшим, чем время затухания переходных процессов по возможным каналам управления.

Задача динамической стабилизации стохастического объекта

далее понимается как задача синтеза оптимального стохастического регулятора, минимизирующего, в случае объекта с одним выходом, дисперсию выходной переменной (решение задачи стабилизации в общей постановке для многомерного объекта рассмотрено в приложении I). Оптимальный регулятор синтезируется в классе дискретных линейных систем с квадратичным критерием качества.

Математической основой решения задачи синтеза оптимального стохастического регулятора для объектов рассматриваемого в работе класса является теория линейной фильтрации и экстраполяции случайных процессов. Во введении приводится обзор основных направлений этой теории, тесно связанных с современной ТАУ, в частности, широко известных методов Колмогорова-Винера и Калмана, анализируются их достоинства, недостатки и взаимосвязь при решении задачи оптимальной стабилизации. Особое внимание при этом уделено вычислительным аспектам реализации этих методов на ЭЦВМ, поскольку одной из исходных предпосылок данной работы является предположение о наличии УВМ в контуре управления промышленным объектом.

Применение цифровых управляющих вычислительных машин для управления производственными процессами создает хорошие предпосылки для эффективного решения задачи стабилизации. Однако, относительно ограниченные вычислительные возможности УВМ – невысокое быстродействие, ограниченный объем памяти, большая загруженность другими задачами и пр. – создают определенные сложности в реализации алгоритмов оптимального стохастического управления. Ввиду этого, существенным является требование минимальной вычислительной сложности синтезируемых алгоритмов, что может быть достигнуто за счет использования в качестве модели случайного процесса возмущения выхода объекта управления известной в статистике модели авторегрессии-скользящего среднего (АРСС). Получение этих моделей по экспериментальным данным с последующим использованием их для решения задачи линейной экстраполяции является центральной проблемой анализа временных рядов. Во введении приведен краткий обзор работ в этой области.

Методы анализа временных рядов завоевали прочное место в различных областях прикладных исследований, однако, лишь совсем недавно были получены результаты, связанные с использованием моделей временных рядов для описания поведения выхода динамических систем с последующим использованием этого описания при

синтезе алгоритмов оптимального стохастического управления. Во введении рассмотрено состояние работ в этой области.

Далее обоснована актуальность задач, решаемых в теоретической и прикладной частях работы, анализируются задачи, стоящие в области совершенствования управления технологическими процессами получения полиамидных волокон, и ставится задача прикладного исследования. В конце введения приводится краткая аннотация полученных в работе научных и практических результатов.

В главе I рассмотрен класс объектов управления, математическим эквивалентом которых в пределах требуемой для управления точности может служить дискретная линейная модель вида:

$$A(q^{-1})y(t) = B(q^{-1})U(t) + C'(q^{-1})w(t), \qquad (2)$$

где t – дискретное время $t = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$,

q^{-1} – оператор сдвига назад: $q^{-1}\xi(t) = \xi(t-1)$,

$$A(q^{-1}) = 1 + a_1 q^{-1} + a_2 q^{-2} + \dots + a_n q^{-n},$$
$$B(q^{-1}) = q^{-k}(b_0 + b_1 q^{-1} + \dots + b_n q^{-n}),$$
$$C'(q^{-1}) = 1 + c'_1 q^{-1} + c'_2 q^{-2} + \dots + c'_n q^{-n},$$

k – число интервалов запаздывания в канале управления (в общем случае k – может быть дробным),

$\{y(t)\} = \{y(t), y(t-1), \dots\}$ – стационарный временной ряд выхода ОУ;

$\{U(t)\} = \{U(t), U(t-1), \dots\}$ – временной ряд управления, $\{w(t)\}$ – временной ряд типа белого шума, $E[w(t)] = 0$, $E[w^2(t)] = \lambda^2$, $E[w(t)w(\tau)] = \lambda^2 \delta_{t,\tau}$; $\delta_{t,\tau}$ – символ Кронекера, $\delta_{t,\tau} = \begin{cases} 0, & t \neq \tau \\ 1, & t = \tau \end{cases}$.

Рассмотрение ограничено классом систем с дискретным временем, так как предполагается, что для осуществления полученной в результате решения задачи управления оптимальной стратегии используется ЦВМ. Это условие определяет, в частности, форму представления информации об изменении случайных величин, используемой для управления, в виде временного ряда (случайной последовательности или реализации случайного процесса с дискретным временем наблюдения).

В разделе I.I. главы I кратко обсуждаются вопросы получения и использования временных рядов при управлении объектами рассматриваемого класса.

Далее в главе I рассмотрены условия и ограничения, при которых возможно использование модели (2) в качестве математического эквивалента объекта управления. Показано, что модель (2)

может быть использована для описания широкого класса реальных стохастических объектов с запаздыванием и достаточно просто распространяется на многомерный случай. Основными условиями адекватности модели (2) являются: линеаризуемость модели динамики ОУ и возможность описания случайного процесса (СП) изменения выходной переменной с помощью модели АРСС. Последнее условие выполняется для объектов, у которых случайный процесс изменения выхода является стационарным гауссовым случайным процессом с дробно-рациональной спектральной плотностью. При этом условие нормальности для большинства реальных объектов обычно выполняется в силу действия центральной предельной теоремы.

Существенным ограничением является требование стационарности случайного процесса изменения выхода. В случае несоблюдения этого условия, как правило, стремятся элиминировать нестационарность с помощью соответствующим образом подобранного числового фильтра и в дальнейшем анализировать стационарный остаток. В частности, такой подход возможен для нестационарного случайного процесса со стационарной разностью m-го порядка (так называемая однородная нестационарность) – этот вид нестационарности впервые был рассмотрен в работах А.М.Яглома, а впоследствии в работах Д.Бокса и Г.Дженкинса.

При решении задачи стабилизации объектов, у которых нестационарность случайного процесса изменения выхода проявляется в произвольном изменении среднего значения (тренд среднего значения) может быть использован альтернативный подход, предложенный в работе. При этом система стабилизации разбивается на две подсистемы: статической и динамической стабилизации. Система статической стабилизации осуществляет контроль за соблюдением условия стационарности и вносит необходимую коррекцию в случае его нарушения. Система динамической стабилизации работает на участках стационарности случайного процесса изменения выхода. Использование такого подхода целесообразно в случае относительно большой протяженности участков стационарности. Основными преимуществами подхода являются: 1) возможность управления процессами с произвольной нестационарностью среднего значения, а не только с однородной; 2) за счет декомпозиции задачи стабилизации обходятся трудности, связанные с построением нестационарного прогнозирующего фильтра; 3) для компенсации разных по величине отклонений выходной переменной возможно использование разных управляющих воз-

действий и методов управления.

Далее в главе I рассмотрены некоторые аспекты получения моделей (2), экстраполяции случайного процесса, представленного моделью АРСС и вопросы устойчивости. Завершается глава кратким пояснением выбора критерия минимума дисперсии при решении задачи стабилизации.

Во второй главе диссертации проводится анализ методов решения задачи стабилизации для системы, заданной стохастическим разностным уравнением (2). Вначале рассматривается решение этой задачи методом управления с минимумом дисперсии Бокса–Дженкинса–Острема, сформулированное К.Остремом в виде теоремы разделения.

Теорема: Оптимальный закон управления, минимизирующий дисперсию выходной переменной для системы (2), имеет вид:

$$U(t) = -\frac{G(q^{-1})}{q^{k}B(q^{-1})F(q^{-1})}\,y(t)\,, \qquad (3)$$

где

$$F(q^{-1}) = 1 + f_1 q^{-1} + f_2 q^{-2} + \ldots + f_{k-1} q^{-k+1}\,, \qquad (4)$$

$$G(q^{-1}) = g_0 + g_1 q^{-1} + g_2 q^{-2} + \ldots + g_{n-1} q^{-n+1}\,. \qquad (5)$$

Полиномы $F(q^{-1})$ и $G(q^{-1})$ определяются из уравнения

$$C'(q^{-1}) = A(q^{-1})F(q^{-1}) + q^{-k}G(q^{-1})\,. \qquad (6)$$

Ошибка управления для оптимальной стратегии в произвольный момент времени τ является скользящим средним порядка k

$$y(\tau) = F(q^{-1})w(\tau)\,. \qquad (7)$$

Минимум дисперсии определяется выражением:

$$E\{[F(q^{-1})w(\tau)]^2\} = \lambda^2(1 + f_1^2 + f_2^2 + \ldots + f_{k-1}^2)\,. \qquad (8)$$

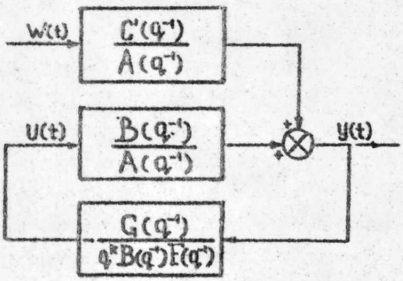


Рис.I. Блок-схема управления с минимумом дисперсии Бокса–Дженкинса–Острема

В работе приводится краткое формальное доказательство теоремы К.Острема. Рассмотрены условия существования закона управления (3) и их связь с условиями устойчивости системы (2).

Следующие два раздела главы 2 посвящены решению задачи стабилизации системы (2) методом Калмана. Вначале уравнение (2) с помощью известного преобразования приводится к канонической форме уравнений состояния

$$x(t+1) = Ax(t) + Bu(t) + Cw(t) \qquad (10а)$$

$$y(t) = D^T x(t) + w(t) , \qquad (10б)$$

где

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \dots & 0 & -a_n \\ 1 & 0 & \dots & 0 & -a_{n-1} \\ 0 & 1 & \dots & 0 & -a_{n-2} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 1 & -a_1 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} b_{n-1} \\ b_{n-2} \\ \vdots \\ b_0 \end{bmatrix}, \quad C = \begin{bmatrix} c_{n-1} \\ c_{n-2} \\ \vdots \\ c_0 \end{bmatrix},$$

$$C(q^{-1}) = c_0 + c_1 q^{-1} + \dots + c_{n-1} q^{-n+1},$$

$$C'(q^{-1}) = A(q^{-1}) + q^{-1} C(q^{-1}),$$

$$D^T = [0 \; 0 \; \dots \; 0 \; 1] .$$

Для оценки состояния системы (10) нельзя непосредственно применить метод Калмана, поскольку шум процесса линейно зависит от шума наблюдения, поэтому система (10) предварительно преобразуется к виду:

$$x(t+1) = [A - CD^T]x(t) + Cy(t) + Bu(t) \qquad (11а)$$

$$y(t) = D^T x(t) + w(t) . \qquad (11б)$$

К системе (11), содержащей лишь шум наблюдения, применяем метод Калмана. Полученное уравнение оценки состояния системы (11) используется затем для вывода закона управления, минимизирующего дисперсию выхода. Показано, что для случая одношагового запаздывания этот закон управления эквивалентен выражению (3) при $k = 1$.

Следует заметить, что, применяя для решения задачи стабилизации метод управления Бокса–Дженкинса–Острема, мы неявно полагаем, что наблюдения выхода $\{y(t)\}$ производятся точно. Этим в большой степени обусловлена простота получаемых алгоритмов. Применяя для решения задачи оценки состояния метод Калмана, мы можем учесть шум наблюдения, но для этого требуется дополнительная информация об объекте управления (при использовании метода Калмана мы должны задаться начальными значениями вектора состояния и корреляционной матрицы ошибки оценки и оценить корреляционные матрицы шумов наблюдения и процесса). Кроме того, в процессе вычислений необходимо предотвратить потерю положительной определенности корреляционной матрицы ошибки оценки, которая может быть вызвана ошибками округления вследствие конечной длины слов вычислительного устройства. Таким образом, повышая точность оценки, лежащей в основе решения задачи синтеза алгоритма управления, мы существенно увеличиваем его слож-

ность. Очевидно, это целесообразно в тех случаях, когда шумы наблюдений велики, или точность алгоритмов, полученных без учета шума наблюдения нас не устраивает.

Однако, при управлении промышленными объектами часто можно пренебречь шумом наблюдения, при условии достаточно высокой точности применяемых методов контроля параметров. В противном случае, целесообразно предварительно решить задачу фильтрации шума наблюдения, с тем, чтобы при решении задачи стабилизации воспользоваться преимуществами метода управления с минимумом дисперсии. Эти преимущества в основном заключаются в следующем:

1. Для идентификации модели (2) требуется минимальное количество апостериорной информации, при этом значительную ее часть можно получить в результате пассивного эксперимента.

2. Оценивается небольшое число параметров модели (2), при этом можно использовать имеющиеся универсальные процедуры оценки параметров по экспериментальным данным (в случае, если полученным экспериментальным данным удовлетворяет модель авторегрессии – этот случай наиболее часто встречается на практике – процедура идентификации линейна, хорошо сходится и дает устойчивое решение).

3. При наличии модели (2) синтез алгоритма стабилизации для объекта с k-шаговым запаздыванием не представляет труда.

4. Алгоритм (3) является линейным разностным уравнением невысокого порядка, следовательно, для реализации алгоритма на ЭВМ требуется минимальный объем памяти и вычислений.

Далее, во второй главе анализируются возможные трудности на стадии идентификации модели (2), связанные с неоднозначностью выбора структуры модели. Кратко указано на связь управления с минимумом дисперсии с классической задачей синтеза следящей системы при случайных воздействиях методом Винера, впервые рассмотренной В.В.Солодовниковым. Завершается глава характеристикой области применения метода при решении задачи стабилизации промышленных стохастических объектов с запаздыванием.

<u>В третьей главе</u> диссертационной работы рассмотрены вопросы, связанные с применением метода управления Бокса–Дженкинса–Острема для решения задачи минимизации дисперсии вязкости поликапроамида на выходе химической части непрерывного технологического процесса получения полиамидного волокна.

Вначале приводятся основные сведения о непрерывном технологическом процессе получения поликапроамида и реакции полиамидирования ε-капролактама по гидролитическому способу, лежащей в его основе. Рассмотрены возможные способы воздействия на вязкость расплава полимера, при этом сделан вывод о том, что наиболее удобным параметром для оперативного управления вязкостью является температура в зоне реакции полиамидирования при условии хорошего теплообмена между теплоносителем и полимеризующейся массой. Приведена технологическая схема получения поликапроамида на базе аппаратов конструкции ВНИИСВ.

Основное внимание в третьей главе уделено анализу работ в области управления процессом и выявлению недостатков существующих подходов к решению задачи стабилизации, препятствующих достижению желаемого уровня дисперсии вязкости полимера. Обоснована необходимость введения замкнутой системы динамической стабилизации вязкости и целесообразность использования для синтеза этой системы метода управления с минимумом дисперсии.

Далее в главе Ш рассмотрены возможные пути реализации управления Бокса-Дженкинса-Острема для минимизации дисперсии вязкости поликапроамида. Показано, что на современном техническом уровне управления процессом целесообразно синтезировать алгоритм стабилизации по каналу: температура в зоне аппарата непрерывного полиамидирования – вязкость на выходе вакуумного демономеризатора; рассмотрены основные особенности этого канала, позволяющие рекомендовать температуру в качестве управляющего воздействия. В качестве исходной информации для работы алгоритма стабилизации по данному каналу используются данные лабораторных анализов вязкости, выполняемых с высокой точностью, что позволяет пренебречь шумом наблюдения выхода.

В конце главы проведен анализ эффективности мероприятий по снижению дисперсии вязкости поликапроамида за счет улучшения управления процессом. Показано, что снижение дисперсии вязкости ведет к улучшению качественных характеристик волокна, условий его последующей обработки и качества получаемых в итоге изделий, а также к повышению технико-экономических показателей производства (снижению количества отходов и увеличению % выхода волокна I-го сорта), кроме того, появляется возможность улучшения управления в рамках непрерывной технологии агрегатами большой единич-

ной мощности.

В четвертой главе рассмотрено решение задачи синтеза алгоритмов, минимизирующих дисперсию. Вначале приводится краткий обзор работ по идентификации параметрических моделей временных рядов – получение этих моделей по экспериментальным данным представляет наиболее сложную проблему практической реализации метода управления с минимумом дисперсии. Далее рассмотрены основные этапы решения задачи синтеза, а также последовательность и взаимосвязь задач, возникающих при экспериментальном исследовании объекта управления.

Основываясь на предположении о независимости детерминированной и стохастической частей системы (2), в работе предложено идентифицировать модель объекта управления следующим образом. Вначале, в отсутствие управляющих воздействий, по данным пассивного эксперимента оцениваем параметры процесса авторегрессии – скользящего среднего случайного процесса изменения выхода. Затем, подавая на вход объекта псевдослучайный временной ряд управления, одновременно фиксируем временные ряды входа и выхода. Основным препятствием на пути идентификации модели динамики объекта по полученным экспериментальным данным является наличие неустранимых возмущений, искажающих реакцию системы на приложенное входное воздействие, поэтому предварительно преобразуем временной ряд выхода $\{y(t)\}$ с целью отделить часть измеренных значений выхода, связанную с управлением $\{y_u(t)\}$ от части связанной с возмущением $\{y_f(t)\}$. Таким образом, значение выхода в каждый момент времени t будет представлено суммой: $y(t) = y_u(t) + y_f(t)$.

Временной ряд $\{y_f(t)\}$ можно получить, последовательно генерируя значения $y_f(t)$ с помощью полученной ранее модели авторегрессии-скользящего среднего. Начальными значениями для этого процесса может служить предварительный участок записи временного ряда выхода, полученный непосредственно перед псевдослучайным возмущением входа. Модель динамики объекта идентифицируется с использованием временных рядов $\{u(t)\}$ и $\{y_u(t)\}$.

Отличием этого метода от метода одновременного итеративного оценивания параметров модели (2), предложенного в работах Д.Бокса и Г.Дженкинса, является использование для генерирования ряда $\{y_f(t)\}$ предварительно полученной модели АРСС; поскольку при этом данная модель используется для одношаговой экстраполяции,

точность процедуры снижается, однако, одновременно уменьшается необходимый объем данных активного эксперимента, так как эти данные используются только для оценки параметров модели динамики объекта. Следует заметить, что при таком подходе для идентификации модели динамики объекта можно использовать любые известные методы, при этом полученная предварительно модель АРСС используется для фильтрации данных активного эксперимента от случайных возмущений выхода.

Модель объекта управления, идентифицированная в соответствии с приведенным выше методом, для выбранного канала управления имеет вид:

$$(1 - 0{,}9417\,q^{-1} + 0{,}1973\,q^{-2} - 0{,}0635\,q^{-3} + 0{,}0398\,q^{-4})\,y(t) = q^{-5}(0{,}6912 + 0{,}0626\,q^{-1} - 0{,}1535\,q^{-2} - 0{,}0585\,q^{-3} - 0{,}0255\,q^{-4})\,U(t) + (1 - 0{,}5555\,q^{-1})w(t),\ \Delta = 6\text{час} \qquad (12)$$

Для объекта, заданного моделью (12) в главе IУ синтезирован алгоритм, минимизирующий дисперсию, вида:

$$U(t) = -0{,}4968\,U(t-1) + 0{,}1577\,U(t-5) + 0{,}2358\,U(t-4) + 0{,}0307\,U(t-5) - 0{,}0068\,U(t-6) - 0{,}2285\,y(t) + 0{,}0732\,y(t-1) + 0{,}0064\,y(t-2) + 0{,}0234\,y(t-3). \qquad (13)$$

В конце главы приводятся результаты цифрового моделирования оптимального алгоритма (13). Показано, что применение алгоритма позволит снизить дисперсию вязкости поликапроамида приблизительно в 1,5 раза.

Данный алгоритм включен в рабочий проект второй очереди АСУ ТП "Капрон", внедряемой на Клинском ордена Трудового Красного Знамени производственном объединении "Химволокно" имени В.И.Ленина. Алгоритм реализован в виде программы на УВМ МИОТО в контуре управления опытно-промышленной установкой получения поликапроамида.

В приложении I рассмотрено обобщение модели (2) на многомерный случай. Отмечено, что идентификация многомерной модели по экспериментальным данным не встречает принципиальных трудностей, однако, возникают практические трудности, вызванные увеличением числа оцениваемых параметров.

В приложении II приведены результаты статистической обработки данных экспериментального исследования объекта управления, временные ряды и выборочные корреляционные функции, использованные при синтезе алгоритма управления.

Выводы

I. Для рассмотренного в работе класса промышленных стохастических объектов с запаздыванием при решении задачи стабилизации рекомендуется использовать метод управления с минимумом дисперсии Бокса-Дженкинса-Острема.

Этот метод базируется на простых и универсальных процедурах реализации, не требует сложных экспериментальных исследований объекта управления и приводит к алгоритмам минимальной вычислительной сложности, однако, его использование возможно лишь при условии высокой точности наблюдений выхода объекта.

2. В случае, если случайный процесс изменения выхода на отдельных участках проявляет нестационарность в виде произвольного тренда среднего значения, целесообразна декомпозиция системы стабилизации на статическую и динамическую подсистемы, при этом последняя реализует метод управления с минимумом дисперсии и работает на участках стационарности.

3. При необходимости уменьшить объем активных экспериментальных исследований объекта управления для реализации метода управления с минимумом дисперсии, можно применить метод идентификации модели объекта, предложенный в работе.

4. На основании проведенных в работе теоретического и экспериментального исследований предложено применить метод управления Бокса-Дженкинса-Острема для решения задачи минимизации дисперсии вязкости поликапроамида; разработан и внедрен на действующей опытно-промышленной установке алгоритм, минимизирующий дисперсию вязкости.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

I. Васильев Г.В. Об использовании параметрических моделей состояния для синтеза алгоритмов стохастического управления объектами одного класса. Всесоюзная научная конференция "Автоматизированные системы управления". Тезисы докл., Тбилиси, 1976, с.29-30.

2. Васильев Г.В. Алгоритм стабилизации вязкости расплава поликапроамида на выходе химической части непрерывного технологического процесса получения полиамидного волокна. Московский фонд алгоритмов и программ. Аннотированный перечень новых поступлений. М., 1976, № I, с.32-33. Алгоритм зафондирован в разделе АСУ ТП от 27.I2.75 за № 5026.

3. Стрельцов А.А., Васильев Г.В. Вопросы исследования динамики сложного химико-технологического процесса. 3-я Всесоюзная межвузовская конференция "Достижения и перспективы развития технической кибернетики". Тезисы докладов, Киев, 1975, вып.3, с.I07-I08.

4. Васильев Г.В. Синтез алгоритмов стохастического управления для объектов одного класса. (в печати).