

Киевский институт автоматики

На правах рукописи

СТАРОСТЕНКО Анатолий Иванович

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ И МОДЕЛЕЙ  
ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОВЕДЕНИЯ СТОХАСТИЧЕСКИХ  
ОБЪЕКТОВ УПРАВЛЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
СЛУЧАЙНЫХ ФУНКЦИЙ ЛИПШИЦА

Специальность 05.13.06 — Автоматизированные  
системы управления

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Работа выполнена в Киевском институте автоматики.

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор  
В.Г.Заренин.

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук, профессор Т.Г.Стрижак;  
кандидат технических наук, старший научный сотрудник  
Е.В.Леонидов-Каневский.

Ведущая организация: Киевский институт инженеров гражданской  
авиации.

Защита диссертации состоится "\_\_\_" декабря 1992 г. в  
\_\_\_ часов на заседании специализированного совета К-109.02.01 в  
Киевском институте автоматики.

Адрес совета: 252107, Киев-107, ГСП, ул.Нагорная,22

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Киевского  
института автоматики.

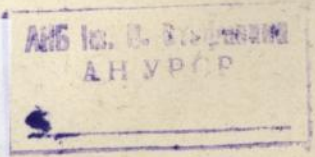
Ученый секретарь специали-  
зированной совета кандидат  
технических наук, старший  
научный сотрудник

*Волынский* А.Н.Волынский

ЛННБ України ім.В.Стефаніка



00816244 (P)



## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Аннотация. Представленная работа посвящена разработке теоретических основ, методов и моделей прогнозирования поведения сложных вероятностных, дискретных и непрерывных нестационарных производственных и технологических процессов в АСУ, моделируемых с помощью случайных функций Липшица. Причем, рассматриваются только объекты, для которых имеется достаточно полная и достоверная исходная информация.

Приведенный в работе анализ показывает, что дискретные, непрерывно-дискретные и непрерывные стохастические объекты управления могут быть описаны с помощью чисто разрывных, а также непрерывных по среднеквадратическому и стохастическому критериям непрерывности случайными функциями. Многие же непрерывные объекты управления в металлургии, энергетике, химии, нефтехимии и других отраслях характерны тем, что на отдельных технологических участках их реализации всегда непрерывны, т.е. удовлетворяют колмогоровскому условию непрерывности, согласно которому все реализации случайной функции непрерывны. Но математически аппарат непрерывных (в рассматриваемом смысле) случайных функций, отражающий особенности их реализации, в настоящее время отсутствует.

Накладывая все более сильные ограничения на непрерывность (по критерию А.Н.Колмогорова) соискатель впервые в теории случайных функций ввел понятие и определил множество корректно непрерывных случайных функций, состоящее из пяти классов (в том числе и Липшица). Данные классы сформулированы в результате расширения соответствующих условий для неслучайных функций на случайные.

В результате анализа требуемых к внедрению в АСУ задач прогнозирования в работе показано, что многие из них, для которых априори известна область допустимых изменений параметров относительно каждой реализации, могут быть решены с помощью случайных функций Липшица, вопросам прикладного анализа и применению которых и посвящена настоящая работа.

Предложенные методы прогнозирования включают параллельное вербальное и формальное описание объектов управления. Причем, вербальные модели представляются достаточно строгими для практики фрагментами словесного языка (шаблонами).

Разработанные методы доведены в работе до инженерной методики, что особенно актуально, т.к. в настоящее время отсутствуют руководящие технические материалы для прогнозирования поведения выделенного подмножества объектов управления. Это приводит к значительным материальным, трудовым и временным затратам. Основная идея приведенной в работе методики состоит в том, что разработчику АСУ предлагается набор (веер) вербальных шаблонов, с помощью которого необходимо описать поведение интересующего объекта управления. Причем, надо выбрать лишь один шаблон. Если шаблон выбран, то проектировщику указывается структура математической модели (это есть соответствующий закон распределения случайной величины), используя которую можно описать поведение объекта управления.

Вопросы соответствия выбранной модели данному объекту управления решает разработчик АСУ в зависимости от требований к точности модели, ее сложности, допустимому времени решения и т.д.

В случае, если ни одним из предлагаемых шаблонов нет возможности описать поведение стохастического объекта управления, то необходимо использовать другие пути решения поставленной задачи.

Актуальность представленной работы заключается в том, что в ней впервые в теории и практике построения АСУ рассмотрены теоретические и методологические вопросы прогнозирования непрерывных (по критерию А.Н.Колмогорова) стохастических производственных и технологических процессов (в дальнейшем для краткости – технологических). Указанные процессы имеют самое широкое применение практически во всех отраслях народного хозяйства.

Целью работы является разработка теоретических основ, методов и моделей прогнозирования поведения сложных вероятностных, дискретных и непрерывных нестационарных технологических процессов в АСУ, моделируемых с использованием случайных функций Липшица. Причем, под прогнозированием в работе понимается задача построения моделирующей случайной функции вне множества ее задания.

Научная новизна выполненного исследования состоит в следующем.

1. Впервые введено понятие множества корректно непрерывных (по критерию А.Н.Колмогорова) случайных функций, с помощью которого предложено описывать поведение стохастических, дискретных и непрерывных (в указанном смысле) технологических процессов.

2. В рассматриваемом множестве определены следующие классы: основные случайные функции; равномерно непрерывные случайные функции;

жордановские случайные функции ограниченной и неограниченной вариации;

абсолютно непрерывные случайные функции;

Липшица случайные функции.

3. Показано, что поведение многих технологических процессов, для которых априори известна область допустимых изменений параметров относительно каждой реализации, может быть адекватно представлено с помощью случайных функций Липшица.

4. Разработаны основы прикладного математического аппарата случайных функций Липшица, служащего методологической базой для решения задач прогнозирования.

5. Выполнена формальная постановка задач прогнозирования поведения сложных, вероятностных, дискретных и непрерывных нестационарных объектов управления, моделируемых с помощью случайных функций Липшица.

6. На базе случайных функций Липшица разработаны дискретные и непрерывные, формальные и вербальные модели, представляющие собой соответствующий закон распределения случайной величины, позволяющие эффективно решать задачи прогнозирования поведения технологических процессов указанного подмножества.

7. Сформулированы задачи и определены пути дальнейших научных исследований рассмотренной тематики.

Практическая ценность работы состоит в том, что предложенные методы доведены до инженерной методики, значительно облегчающей и ускоряющей постановку и решение задач прогнозирования при разработке АСУ.

Методы исследования. В работе использованы элементы теории систем, теории управления, теории случайных функций, теории множеств и комбинаторики, а также теории надежности.

Автор защищает:

1. Постановку задач прогнозирования поведения сложных, вероятностных, дискретных и непрерывных нестационарных технологических процессов в АСУ, моделируемых с помощью случайных функций Липшица.

2. Прикладной математический аппарат случайных функций Липшица, являющийся методологической базой для прогнозирования заданного подмножества объектов управления.

3. Дискретные и непрерывные, формальные и вербальные модели стохастических процессов.

4. Методы прогнозирования поведения заданного подмножества стохастических объектов управления, доведенные до инженерной методики.

Реализация и внедрение представленной работы осуществлена на металлургических предприятиях СНГ в цехах черной и цветной прокатки, а также в научно-педагогической деятельности при подготовке соответствующих специалистов.

Так, на стане 2000 горячей прокатки Магнитогорокого металлургического комбината при прогнозировании момента появления неисправностей и отказов в контролируемом электромеханическом оборудовании были использованы методы прогнозирования с соответствующим математическим аппаратом, изложенные в диссертации. Экономическая эффективность от внедрения рассматриваемых методов и моделей составляет около 35 тыс.руб. в год.

При разработке АСУТП стана 2000 горячей прокатки алюминия и его сплавов Красноярского металлургического завода с целью прогнозирования расхода электроэнергии, отказов и износа оборудования были использованы методика и модели, предложенные соискателем. Ожидаемый экономический эффект - 67 тыс.руб. в год.

Основы теории прогнозирования поведения стохастических объектов управления на базе случайных функций Липшица, изложенные в диссертации, используются в учебном процессе Киевского торгово-экономического института при подготовке студентов соответствующих специальностей. Это связано с тем, что с переходом на рыночные отношения большое значение приобретают вопросы прогнозирования в экономике и торговле.

Апробация работы. Научные и практические результаты докладывались и обсуждались на:

научно-техническом совете Специального конструкторского бюро математических машин и систем Института кибернетики АН Украины-1991 г.;

кафедре теории автоматизированных систем факультета кибернетики Киевского государственного университета - 1991 г.

В решениях по данной работе указывалось, что работа актуальна, выполнена на должном уровне, удовлетворяет требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени к.т.н. и рекомендована к защите.

Публикации. Научные и практические результаты опубликованы в 4 научных работах (из них одна в соавторстве).

Структура и объем работы. Диссертация изложена на 130 страницах и состоит из введения, шести глав, заключения и приложения. Работа содержит 29 рис. и I таблицу. Список использованной литературы включает 100 наименований.

#### КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дана общая характеристика представленной работы.

Указано подмножество исследуемых объектов, определены трудности, возникающие при постановке задач прогнозирования в АСУ, показана актуальность и научная новизна выполненной работы, Содержание всех разделов аннотировано.

В разделе I на основе анализа объектов управления в различных отраслях народного хозяйства сформулирована постановка задач и методы исследования.

Показано, что дискретные, непрерывно-дискретные и непрерывные объекты управления могут быть описаны с помощью чисто разрывных и непрерывных по среднеквадратическому и стохастическому критериям непрерывности случайными функциями. Однако для очень широкого множества технологических процессов практически во всех отраслях народного хозяйства и характерных тем, что бесконечно малому изменению входных параметров соответствует бесконечно малое приращение выходного параметра нет специального математического аппарата, отражающего непрерывность всех его реализаций (непрерывность по критерию А.Н.Колмогорова).

Формализация данного условия со все более сильными требованиями к непрерывности позволила поставить вопрос о выделении и определении множества корректно непрерывных случайных функций.

В результате анализа задач прогнозирования как на уже действующих, так и на проектируемых системах управления показано, что многие из них могут быть решены с помощью случайных функций Липшица.

На основании классификации объектов управления народного хозяйства выделено подмножество объектов, которые в дальнейшем рассматриваются; это дискретные и непрерывные (по критерию А.Н.Колмогорова), сложные, нестационарные объекты с достаточно полной и достоверной информацией, описываемые с помощью случайных функций Липшица. Определены цели и задачи дальнейших исследований.

В разделе 2 определено множество корректно непрерывных случайных функций, сформулировано условие Липшица, приведен прикладной анализ их свойств, дана общая постановка задач дискретного и непрерывного прогнозирования.

Класс Липшица случайных функций определен в алгебраическом и интегральном виде, с помощью модуля непрерывности и в интегральной метрике. В алгебраическом виде условие Липшица формулируется следующим образом.

Если для любых точек  $t_1$  и  $t_2$ , принадлежащих отрезку  $[a, b] \subset D(f)$ , любая реализация  $X_k(t)$  случайной функции  $X(t)$  удовлетворяет неравенству

$$P\{|X_k(t_1) - X_k(t_2)| \leq L|t_1 - t_2|^\alpha\} = 1,$$

где  $L$  - нижняя грань константы Липшица и  $0 < \alpha < 1$ , то будем говорить, что случайная функция  $X(t)$  на отрезке  $[a, b]$  удовлетворяет условию Липшица порядка  $\alpha$ .

Данное условие накладывает ограничение на поведение приращения каждой реализации случайной функции  $X(t)$  и может записываться следующим образом:  $X(t) \in Lip \alpha$ .

Показано, что дискретное прогнозирование  $X(t)$  необходимо производить на точечной решетке, имеющей фундаментальное значение в геометрии чисел. Введены понятия о строках и столбцах, используемые в дальнейших вычислениях, а также понятия о мощности и законе распределения элементарных приращений.

Дана общая формальная постановка задач дискретного и непрерывного прогнозирования.

В разделе 3 на основе прикладной теории случайных функций Липшица разработаны дискретные формальные и вербальные модели прогнозирования поведения заданного подмножества объектов управления, введены некоторые дополнительные математические понятия.

Все введенные формальные модели являются соответствующими законами распределения случайной величины, выведенные при  $\alpha = 1$  в условии Липшица. Причем, некоторые из них являются классическими, другие менее распространены, есть и впервые введенные в практику, однако их можно рассматривать как частные случаи более общих законов, когда показатель степени в условии Липшица  $\alpha < 1$ . Поэтому с целью соблюдения методологического единства выполненной работы и сохранения единой терминологии все они, как правило, называются соответствующими законами распределения Липшица.

Приведем основные выведенные законы.

Вырожденное распределение Липшица - это распределение вероятностей дискретной случайной величины  $X$  при заданных  $n, m, \psi_\beta$ , принимающей целочисленные значения  $0, 1, \dots, n(m-1)$  с вероятностями

$$P(n, N) = \sum_N \sum_{j_1 + j_2 + \dots + j_m = n} \frac{n!}{j_1! j_2! \dots j_m!} (\psi_0 z^0)^{j_1} (\psi_1 z^1)^{j_2} \dots (\psi_{m-1} z^{m-1})^{j_m}$$

С целью экономии места расшифровка всех символов приведена после общего распределения Липшица.

Распределение Липшица - это распределение вероятностей дискретной случайной величины  $X$  при заданных  $n, T_{max}, m, \gamma_T, \psi_\beta$ , принимающей целочисленные значения  $0, 1, \dots, (n(m-1) + T_{max})$  с вероятностями

$$P(n, N) = \sum_{T=0}^{T_{max}} \psi_T \sum_N \sum_{j_1 + j_2 + \dots + j_m = n} \frac{n!}{j_1! j_2! \dots j_m!} (\psi_0 z^0)^{j_1} (\psi_1 z^1)^{j_2} \dots (\psi_{m-1} z^{m-1})^{j_m}$$

Общее распределение Липшица - это распределение вероятностей дискретной случайной величины  $X$  при заданных  $n, m, \psi_\beta, l$ , а также  $T_{max}$  и  $\gamma_T$  для каждого изолированного сечения, принимающей целочисленные значения  $0, 1, \dots, N_{max}$  с вероятностями

$$P(n, N) = \frac{\sum_{l=1}^{X_{pmax}} \sum_{T=0}^{T_{max}} \psi_T \sum_N \sum_{j_1 + j_2 + \dots + j_m = n} \frac{n!}{j_1! j_2! \dots j_m!} (\psi_0 z^0)^{j_1} (\psi_1 z^1)^{j_2} \dots (\psi_{m-1} z^{m-1})^{j_m}}{\sum_{l=1}^{X_{pmin}} \sum_{T=0}^{T_{max}} \psi_T \sum_N \sum_{j_1 + j_2 + \dots + j_m = n} \frac{n!}{j_1! j_2! \dots j_m!} (\psi_0 z^0)^{j_1} (\psi_1 z^1)^{j_2} \dots (\psi_{m-1} z^{m-1})^{j_m}}$$

где  $X_{pmin} \leq X(t_p) \leq X_{pmax}$ ;

$$X_{pmin} = \text{MAX} [X_{min}(t_l) - L / |t_l - t_p|];$$

$$X_{pmax} = \text{MIN} [X_{max}(t_i) + L / |t_i - t_p|];$$

$T_{max}$  - максимальное количество строк в сечении  $X(t_i)$ ;

$m$  - мощность элементарных приращений;

$\gamma_T$  - значение закона распределения в сечении  $X(t_i)$  для  $T$ -й строки;

$\psi_\beta$  - значение  $\beta$ -го элементарного приращения;

$$i=1, 2, \dots, l; j_d=0, 1, \dots; \sum_{d=1}^m j_d = n; \psi_\beta \geq 0; \sum_{\beta=0}^{m-1} \psi_\beta = 1.$$

Суммирование по  $l$  означает, что складываются все величины, рассмотренные относительно каждого изолированного сечения.

Суммирование по  $T$  означает, что складываются значения всех треугольников Липшица в точке  $(n, N)$ .

Суммирование по  $N$  от  $N = 0$  до  $N_{max}$  означает, что складываются значения всех  $N$ , заключенных в отрезке  $[X_{pmin}, X_{pmax}]$ .

Суммирование по  $N$  означает, что складываются все слагаемые, образованные при разложении производящей функции, у которых  $Z^0 Z^1 \dots Z^{m-1} = Z^N$ .

Суммирование по  $j$  распространяется на все наборы целых неотрицательных чисел  $(j_1, j_2, \dots, j_m)$ , у которых  $\sum_{i=1}^m j_i = n$ .

В разделе 4 на основе прикладной теории случайных функций Липшица разработаны непрерывные формальные и вербальные модели прогнозирования поведения заданного подмножества объектов управления.

Представленные модели являются законами распределения случайной величины.

Распределение Липшица - это распределение вероятностей непрерывной случайной величины  $X$  при заданных  $\varphi(x), \tau(x)$  с функцией плотности

$$f(x_x(t_p)) = \int_{x-b}^{x+b} \varphi(x_x(t_i)) \tau(x_x(t_p)) dx,$$

и функции распределения

$$F(x_x(t_p)) = \int_{X_{pmin}}^{x_x(t_p)} \int_{x-b}^{x+b} \varphi(x_x(t_i)) \tau(x_x(t_p)) dx, dx,$$

где  $\varphi(x_x(t_i))$  - заданная функция плотности в сечении  $t_i$ ;

$\tau(x_x(t_p))$  - заданная функция приращений в произвольном сечении  $t_p$ .

Общее распределение Липшица - это распределение вероятностей непрерывной случайной величины  $X$  при заданных  $\varphi_i(x), \tau_i(x)$  с функцией плотности

$$f(x_x(t_p)) = \frac{\sum_{i=1}^l \int_{x-b}^{x+b} \varphi_i(x_x(t_i)) \tau_i(x_x(t_p)) dx}{\sum_{i=1}^l \int_{X_{pmin}}^{X_{pmax}} \int_{x-b}^{x+b} \varphi_i(x_x(t_i)) \tau_i(x_x(t_p)) dx, dx}$$

и функцией распределения

$$F(x_x(t_p)) = \frac{\sum_{i=1}^l \int_{X_{pmin}}^{x_x(t_p)} \int_{x-b}^{x+b} \varphi_i(x_x(t_i)) \tau_i(x_x(t_p)) dx, dx}{\sum_{i=1}^l \int_{X_{pmin}}^{X_{pmax}} \int_{x-b}^{x+b} \varphi_i(x_x(t_i)) \tau_i(x_x(t_p)) dx, dx},$$

где  $F(x_x(t_p))$  - вероятность попадания случайной величины на отрезок  $[X_{pmin}, x_x(t_p)]$ .

Решение приведенных выражений зависит от конкретных законов распределения.

В разделе 5 приведена инженерная методика прогнозирования поведения стохастических объектов управления.

Целью методики является максимальное облегчение и ускорение выбора разработчиками АСУ математического аппарата для моделирования поведения заданного объекта управления.

Выбор формальной модели происходит в 3 этапе.

На первом этапе разработчику с помощью приведенной "Классификации объектов управления" указывается подмножество объектов, которые могут быть моделированы в рамках предлагаемой методики.

На втором этапе проектировщику предлагается с помощью веера вербальных шаблонов описать поведение интересующего его объекта управления.

На третьем этапе в случае положительного исхода предыдущего проектировщику указывается математическая модель, с помощью которой можно описать заданный объект управления. Если же с помощью рассмотренного веера шаблонов не удалось выбрать вербальной схемы, то необходимо искать другие пути решения поставленной задачи.

Кроме того, для проектировщиков, знакомых с теорией случайных функций Липшица, предложена таблица выбора математической модели на основе формальных математических критериев.

Вопросы соответствия выбранной модели данному объекту управления решает проектировщик АСУ в зависимости от требований к точности модели, ее сложности, допустимому времени решения и т.д.

В дискретном случае формальные модели представляются в виде весьма громоздких комбинаторных выражений, сравнительно легко решаемых на вычислительных машинах методами аппроксимации. Непрерывные модели представляют собой достаточно сложные интегральные выражения, решение которых может потребовать специальных исследований. В качестве примера ниже приводится один из шаблонов для дискретного прогнозирования.

Пусть некоторые испытания повторяются  $n$  раз;

в каждом опыте может произойти от нуля до  $(m-1)$  событий, где  $m$  - заданное положительное целое число;

вероятность наступления событий не зависит от номера опыта; задана вероятность наступления события;

$N$  - суммарно возможное число событий в  $n$  испытаниях;

$N$  - суть числа  $0, 1, 2, \dots, n(m-1)$ ;

отдельные испытания не зависят друг от друга.

Необходимо определить вероятность наступления  $N$  событий в  $n$  испытаниях.

В разделе 6 приведены некоторые примеры использования предложенной методики и моделей для прогнозирования поведения стохастических объектов управления, доведенные до численных решений.

Для дискретного случая приведем постановку некоторых задач.

1. Задана вероятность того, что в изделии может отказать за неделю от нуля до  $(m-1)$  однотипных блоков.

С целью комплектования оборудования необходимо определить, сколько в течение года может отказать блоков и с какой вероятностью.

2. Задана вероятность совместной работы в сутки от нуля до  $(m-1)$  станков.

Для определения потребления электроэнергии вычислить, сколько может суммарно работать в течение года станков и с какой вероятностью.

3. Задана вероятность числа отказов блоков на конец первого полугодия. С учетом старения оборудования также дан закон распределения выхода блоков за неделю на второе полугодие.

Определить возможное число отказавших блоков и вероятность их появления за год.

4. Задана вероятность одновременной работы однотипного оборудования на конец полугодия. С учетом смены оборудования дан закон распределения одновременной работы оборудования за сутки на второе полугодие.

С целью прогнозирования потребления электроэнергии за год вычислить, какое количество оборудования может суммарно работать и с какой вероятностью.

Для непрерывного прогнозирования приведем из работы следующую задачу. Завод изготавливает изделия, номинальной выходной параметр которого при температуре  $t_1$  равен  $X$ , фактически же выходной параметр - случайная величина, распределенная по нормальному закону с заданными математическим ожиданием и среднеквадратическим отклонением. После изготовления каждое изделие проходит контроль, в результате которого бракуются все изделия, не лежащие в требуемом диапазоне. Закон распределения приращений выходного параметра в зависимости от температуры задан и он удовлетворяет вырожденному распределению Липшица.

Определить закон распределения параметра изделия при температуре  $T_p$  С.

Также рассмотрены следующие постановки задач:

1. С целью выпадения осадков в заданную точку облака посылаются снаряд. Дан закон распределения попадания, а также закон выпадения осадков из места взрыва, удовлетворяющий условию Липшица для случайных функций.

Определить плотность выпадения осадков на поверхности земли.

2. Для схода снежной лавины в заданную точку горы производится выстрел. Известен закон попадания, а также закон распределения плотности при схождении лавины из места взрыва.

Определить плотность схождения лавины из места взрыва.

Очевидно, что перечень подобных задач можно легко продолжить. Методологической основой для их формального описания и решения может быть теория случайных полей Липшица - дальнейшего обобщения случайных функций Липшица. Однако рассмотрение данных вопросов выходит за тему настоящей работы.

В заключении приведены основные выводы по результатам работы.

Приложение включает в себя следующие материалы:

1) краткий исторический обзор развития методов стохастического прогнозирования, в котором указано место настоящего исследования;

2) классификацию отраслей народного хозяйства, показывающую возможность применения разработанных методов и моделей в различных сферах управления;

3) документы, подтверждающие апробацию и внедрение предложенных методов и моделей в научных и практических аспектах народного хозяйства.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Для описания стохастических непрерывных (каждая реализация которых непрерывна) производственных и технологических процессов соискатель ввел понятие множества корректно непрерывных (по критерию А.Н.Колмогорова) случайных функций.

2. Накладывая все более сильные ограничения на рассматриваемый критерий непрерывности, автор впервые в теории случайных функций определил следующие классы:

основные случайные функции;

равномерно непрерывные случайные функции;  
 жордановские случайные функции ограниченной и неограниченной вариации;

абсолютно непрерывные случайные функции;  
 Липшица случайные функции.

3. Показано, что поведение многих производственных и технологических процессов, для которых априори известна область допустимых изменений параметров относительно каждой реализации, может быть адекватно описано с помощью случайных функций Липшица.

4. Разработаны основы прикладного математического аппарата случайных функций Липшица, служащего методологической базой для решения задач прогнозирования.

5. Выполнена формальная постановка задач прогнозирования поведения сложных, вероятностных, дискретных и непрерывных нестационарных объектов управления, моделируемых с помощью случайных функций Липшица.

6. На базе случайных функций Липшица разработаны дискретные и непрерывные, формальные и вербальные модели, позволяющие эффективно решать задачи прогнозирования поведения технологических процессов указанного подмножества.

7. Методы прогнозирования поведения заданного подмножества объектов доведены до инженерной методики.

8. Реализация и внедрение предложенных методов и моделей осуществлены на металлургических предприятиях СНГ в цехах прокатки черных и цветных металлов с подтвержденным, а также ожидаемым экономическим эффектом.

9. Предложенные методы и модели, построенные на базе теории случайных функций Липшица, используются в научно-педагогической деятельности при подготовке студентов в Киевском торгово-экономическом институте.

10. Сформулированы задачи и определены пути дальнейших исследований рассмотренной тематики как в научном, так и в практическом аспектах.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ  
В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ:

1. Старостенко А.И., Борисова Е.А. Алгоритмы идентификации модуля жесткости клетки в процессе прокатки // Модели, алгоритмы и системы управления процессами холодной прокатки. - Киев; Ин-т автоматизации, 1981. - С.21-31.
2. Старостенко А.И. Вопросы прогнозирования технологических процессов с помощью случайных функций Липшица // Автоматизированное организационно-технологическое управление процессами прокатного производства. - Киев: Ин-т автоматизации, 1989. - С.54-57.
3. Старостенко А.И. Вопросы прогнозирования технологических процессов с помощью случайных функций Липшица // Отчет о НИР, № гос. регистрации 01880068317. - Киев: Ин-т автоматизации, 1991. - 96 с.
4. Старостенко А.И. Вопросы моделирования сложных систем с помощью случайных функций Липшица // Модели развития региональных систем в изменяющихся условиях. - Киев, АН УССР. Ин-т кибернетики, 1991. - С.70-76.

*Стар*

