

На правах рукописи

КОЛОДЕНКОВА Анна Евгеньевна

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ
НА ОСНОВЕ ОБРАБОТКИ РЕТРОСПЕКТИВНЫХ И ТЕКУЩИХ ДАННЫХ
(НА ПРИМЕРЕ ПАВОДКОВОЙ СИТУАЦИИ)**

**Специальность 05.13.01 – Системный анализ,
управление и обработка информации**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Уфа 2007

Работа выполнена на кафедре автоматизации проектирования
информационных систем
Уфимского государственного авиационного технического университета

Научный руководитель д-р техн. наук, проф.
ГВОЗДЕВ Владимир Ефимович

Официальные оппоненты: д-р техн. наук, проф.
ЮСУПОВА Нафиса Исламовна

д-р физ.-мат. наук, проф.
АСАДУЛЛИН Рамиль Мидхатович

Ведущая организация: **Институт экологии Волжского бассейна РАН
(г. Тольятти)**

Защита диссертации состоится 2 марта 2007 г. в 10⁰⁰ часов
на заседании диссертационного совета Д-212.288.03
Уфимского государственного авиационного технического университета
по адресу: 450000, г. Уфа, ул.К. Маркса, 12

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета

Автореферат разослан 26 января 2007 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
д-р техн. наук, проф.

Миронов В.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

В «Повестке дня на XXI» век подчеркивается, что в настоящее время, одним из необходимых условий принятия эффективных решений при управлении сложными объектами, является своевременное обеспечение лиц, задействованных на разных уровнях управления, достоверной, полной и качественной информацией о текущем и прогнозируемом состоянии объекта. Это создает основу для перехода от «реактивного» подхода, суть которого сводится к устранению уже имеющих место негативных явлений, к «превентивному» подходу, основанному на выработке опережающих управленческих решений, на базе прогнозных оценок состояния объекта управления.

При реализации «превентивного» подхода по предупреждению возможных неблагоприятных явлений важно как можно быстрее получить качественную информационную поддержку, так как в этом случае больше времени остается непосредственно на реализацию «превентивных» мероприятий.

Основные трудности при решении задач прогнозирования состояния сложных объектов обусловлены их сложностью; недостаточной изученностью механизмов протекающих в них и окружающей среде процессов; ограниченными возможностями проведения активных экспериментов; сложностью и нескоординированностью процессов сбора исходных данных, их недостаточной доступностью, а также рядом других причин.

Одной из задач управления сложными объектами, имеющей важное экономическое и социальное значение является предупреждение негативных последствий паводков. Одним из основных условий повышения эффективности информационной поддержки системы предупреждения негативных последствий в период прохождения паводка является обеспечение государственных органов, занятых снижением риска вредного воздействия вод полной и достоверной информацией о прогнозируемой паводковой ситуации.

Паводок представляет собой сложное явление, протекает на больших территориях в условиях многообразия географической среды. Трудности, связанные с информационным обеспечением предупреждения негативных последствий паводков обусловлены: низким качеством и ограниченным объемом исходных данных; уникальностью протекания паводка на различных участках территории; недостаточной изученностью механизмов, определяющих динамику изменения уровней воды на исследуемой территории; высокой стоимостью и длительным сроком подготовки картографической основы и др.

В силу вышеизложенного, совершенствование методов прогнозирования негативных последствий паводка является актуальной задачей. Решению вопроса прогнозирования паводковой ситуации, посвящены работы многих отечественных и зарубежных исследователей – М.А. Шахраманьяна, С.К. Шойгу,

А.А. Васильева, В.И. Васильева, С.В. Павлова, И.У. Ямалова, Б.И. Гарцмана, Л.Ф. Ноженковой, Р.А. Нежиховского, В.И. Корня, Е.Г. Попова, С. Хаггетта, С. Линда, В.А. Коннелли и др.

Несмотря на значительное число работ, посвященных проблеме прогнозирования паводковой ситуации посредством различных моделей (в первую очередь математических и геоинформационных), задача решена далеко не полностью. Известные математические модели разработаны для конкретных территорий и их использование для других территорий оказывается малоэффективным; модели являются параметрическими, причем в методиках по их применению отсутствуют четкие рекомендации по выбору значений параметров (запасов воды в снежном покрове, характеристик осадков в период снеготаяния, в период от схода снега до окончания паводка и т.д.) в зависимости от особенностей территорий.

Необходимой компонентой решения задач прогнозирования паводковой ситуации является прогнозирование уровней воды на постах контроля.

Указанные обстоятельства обуславливают актуальность сформулированной темы исследования, направленной на увеличение эффективности информационного обеспечения систем предупреждения негативных последствий паводка за счет разработки экстраполяционного метода прогнозирования уровней воды на постах контроля, ориентированного на обработку малых по объему и низким по точности исходных данных.

Цель работы и задачи исследования

Целью настоящей диссертационной работы является увеличение эффективности информационного обеспечения систем предупреждения негативных последствий паводка за счет повышения точности прогнозирования уровней воды на постах контроля на основе обработки ретроспективных и текущих данных.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Разработать структурно-функциональную модель системы предупреждения негативных последствий паводка.

2. Разработать метод прогнозирования уровней воды на постах контроля в условиях малого объема и низкой точности исходных данных на основе непараметрического оценивания непрерывных, монотонных, однозначных функциональных зависимостей.

3. Провести экспериментальное исследование качества непараметрического оценивания непрерывных, монотонных, однозначных функциональных зависимостей методом численного моделирования.

4. Разработать инженерную методику непараметрического оценивания функциональных зависимостей по выборочным значениям независимой и зави-

симой случайных величин, реализовать ее в виде прикладного программного обеспечения и оценить его эффективность при решении прикладных задач, связанных с прогнозированием паводковой ситуации на территории Республики Башкортостан.

Методы исследования

В работе использовались методы математической статистики, системного анализа, имитационного и математического моделирования.

На защиту выносятся

1. Структурно-функциональная модель системы предупреждения негативных последствий паводка на территории Республики Башкортостан.

2. Метод прогнозирования уровней воды на основе непараметрического оценивания непрерывных, монотонных, однозначных функциональных зависимостей по ретроспективным и текущим данным.

3. Результаты экспериментальных исследований качества непараметрического оценивания непрерывных, монотонных, однозначных функций в зависимости от особенностей выборочных данных.

4. Инженерная методика непараметрического оценивания непрерывных, монотонных, однозначных функциональных зависимостей по выборочным значениям независимой и зависимой случайных величин; реализованное на ее основе прикладное программное обеспечение; результаты решения прикладных задач, связанных с прогнозированием уровней воды на постах контроля на основе обработки ретроспективных и текущих данных.

Научная новизна

1. Научная новизна структурно-функциональной модели системы предупреждения негативных последствий паводка заключается в формализованном представлении методических рекомендаций для председателей противопаводковых комиссий муниципальных образований Республики Башкортостан на основе методологии *IDEF0*, что делает возможным определить место решения задачи прогнозирования уровней воды на постах контроля в составе мероприятий, направленных на предупреждение негативных последствий паводка.

2. Научная новизна предлагаемого метода прогнозирования уровней воды на основе непараметрического оценивания функциональных зависимостей заключается в постановке и решении обратной задачи, по отношению к известной прямой задаче оценивания функции распределения функции случайного аргумента.

3. Научная новизна экспериментального исследования качества непараметрического оценивания непрерывных, монотонных, однозначных функциональных зависимостей заключается: в разработке схемы численного эксперимента; в установлении зависимостей величин средней погрешности оценивания функциональных зависимостей и разброса статистических оценок от свойств

исходных выборочных данных.

Практическая ценность и реализация результатов работы

Практическую ценность представляют: схема формирования однородных в статистическом смысле исходных данных на основе ретроспективных значений уровней воды, зарегистрированных на постах контроля; прикладное программное обеспечение для прогнозирования уровней воды реализованное на основе инженерной методики непараметрического оценивания непрерывных, монотонных, однозначных функциональных зависимостей по выборочным значениям независимой и зависимой случайных величин; результаты решения прикладных задач на основе обработки ретроспективных и текущих данных.

Полученные результаты в виде непараметрического метода оценивания функциональных зависимостей по выборочным данным; схемы решения задачи краткосрочного прогнозирования уровней воды на постах контроля на основе непараметрического оценивания непрерывных, монотонных, однозначных функциональных зависимостей по выборочным значениям независимой и зависимой случайных величин внедрены в Управлении по чрезвычайным ситуациям при Правительстве Республики Башкортостан, а также в учебном процессе Уфимского государственного авиационного технического университета.

Связь темы исследования с научными программами

Работа выполнялась в период 2004–2007 гг. на кафедрах технической кибернетики и автоматизации проектирования информационных систем Уфимского государственного авиационного технического университета в рамках научной школы «Интеллектуализация процессов принятия решений в сложных динамических системах, функционирующих в условиях неопределенности, дефицита ресурсов и возникновения критических ситуаций». Работа поддержана грантами РФФИ № 05-08-18045, № 05-08-18098, № 06-08-00446.

Апробация работы

Основные теоретические и практические результаты работ докладывались на следующих конференциях:

1. Всероссийская молодежная научно-техническая конференция «Интеллектуальные системы управления и обработки информации», Уфа, 2003;
2. Международная конференция «Компьютерные науки и информационные технологии» (CSIT'2004), Будапешт, Венгрия, 2004;
3. Международная молодежная научная конференция «XII Туполевские чтения», Казань, 2004;
4. Межвузовская научно-практическая конференция «Вузовская наука – России», Набережные Челны, 2005;
5. Международная молодежная научная конференция «XIII Туполевские чтения», Казань, 2005;

6. VII Международной конференции «Проблемы управления и моделирования в сложных системах», Самара, 2005;

7. IV Всероссийская научно-практическая конференция «Молодежь и современные информационные технологии», Томск, 2006;

8. VIII Международной конференции «Проблемы управления и моделирования в сложных системах», Самара, 2006.

Публикации

Основные положения и результаты исследования по теме диссертации опубликованы в 12 работах, в том числе в 4 статьях, из них 1 – в издании, входящем в список ВАК, 8 материалах и трудах конференций.

Структура и объем работы

Работа включает введение, четыре главы основного материала, библиографический список и три приложения. Работа без библиографического списка изложена на 137 страницах машинописного текста. Библиографический список включает 117 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении приводится общая характеристика работы – обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цели и задачи исследования, перечисляются методы исследования, определены научная новизна и практическая ценность результатов, выносимых на защиту.

В первой главе выполнен анализ особенностей управления сложными объектами на основе прогнозных оценок их состояний. Выявлены основные трудности решения задач прогнозирования состояния сложных объектов, обусловленные недостаточной изученностью механизмов, протекающих в системах и окружающей среде процессов; ограниченными возможностями проведения активных экспериментов; сложностью и нескоординированностью процессов сбора исходных данных, их недостаточной доступностью, а также рядом других причин.

Проведен анализ подходов к прогнозированию состояния сложных систем на основе математико-статистических методов. Выявлены недостатки известных подходов: необоснованное постулирование типов законов распределения контролируемых параметров в различных временных сечениях; необходимость задания структуры математических моделей, описывающих изменение контролируемых параметров во времени; необходимостью априорного выбора структур математических моделей, а также неоднозначность подходов к оцениванию параметров математических моделей по эмпирическим данным.

Показано, что одной из задач, имеющей важное экономическое и социальное значение является предупреждение негативных последствий паводков. Одной из компонент системы информационного обеспечения мероприятий, на-

правленных на снижение негативных последствий паводков является решение задачи прогнозирования уровней воды на постах контроля. Решение этой задачи осложняют следующие обстоятельства: низкое качество и ограниченный объем исходных данных; уникальный характер протекания паводка на различных участках территории; динамический характер изменения природного ландшафта в результате антропогенной деятельности; сложность сбора исходных данных и др.

Проведенный анализ методов прогнозирования паводковой ситуации позволяет выявить недостатки математических моделей, основанных на гидрологических прогнозах: сложность переноса параметров полуэмпирических моделей, с одного участка территории на другой; отсутствие четких рекомендаций по выбору значений параметров модели (запасов воды в снежном покрове, характеристик осадков в период снеготаяния и т.д.). Обоснована целесообразность использования функционального подхода к решению прогнозирования уровней воды на постах контроля и выявлены основные трудности их практического использования.

Сформулирована цель и выделены задачи, связанные с разработкой математических моделей для статистического прогнозирования уровней воды на постах контроля на основе обработки ретроспективных и текущих данных.

Во второй главе разработана структурно-функциональная модель системы предупреждения негативных последствий паводка на основе методических рекомендаций для председателей противопаводковых комиссий муниципальных образований Республики Башкортостан посредством методологии *IDEFO*, что позволило выявить мероприятия, реализация которых основана на решении задачи прогнозирования уровней воды на постах контроля.

На рис. 1 показан фрагмент разработанной структурно-функциональной модели системы предупреждения негативных последствий паводка.

Показано, что решение задачи прогнозирования уровней воды на постах контроля может быть сведено к построению и использованию таблицы, представленной на рис. 2. В клетках таблицы помещаются функциональные зависимости $\varphi_{i,j}(x)$, устанавливающие взаимосвязи уровней воды x , y в i -м и j -м временных сечениях соответственно. Функциональные зависимости строятся на основе обработки ретроспективных данных.

Обоснован подход к оцениванию функциональных зависимостей, основанный на решении обратной, по отношению к известной задаче оценивания функции распределения функции случайного аргумента.

В основе решения обратной задачи лежит использование соотношения

$$\text{вида } \int_{a^{(x)}}^{x_p} f_1(x) dx = \int_a^{y_p} f_2(y) dy = \lambda_p, \text{ где } f_1(x), f_2(y) - \text{ дифференциальные функции}$$

распределения случайных величин X , Y соответственно; $\{a^{(y)}, b^{(y)}\} \{a^{(x)}, b^{(x)}\}$ –

границы интервала возможных значений независимой и зависимой случайных величин X и Y .

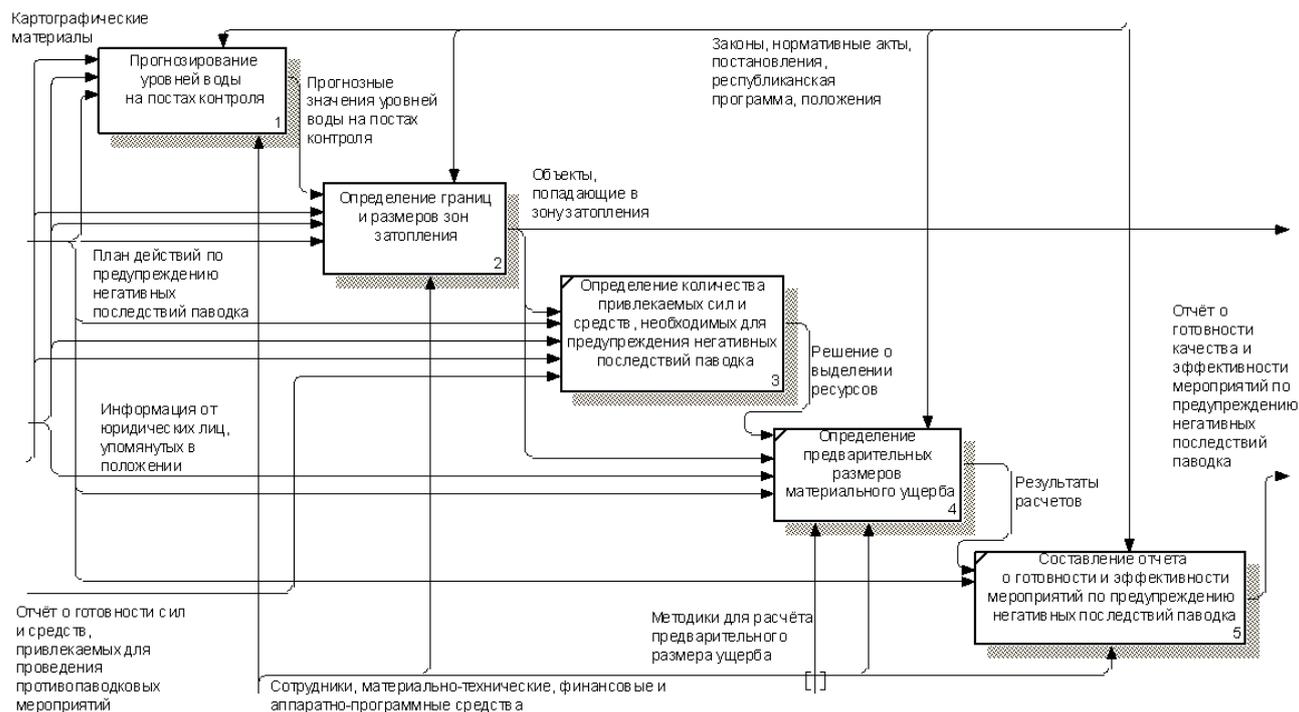


Рис. 1. Диаграмма декомпозиции функции «Проведение превентивных мероприятий по предупреждению негативных последствий паводка»

Номер вр.сеч. / Номер вр.сеч.	1	2	3	...	n
1	$y_1 = \varphi_{1,1}(x_1)$	$y_2 = \varphi_{1,2}(x_1)$	$y_3 = \varphi_{1,3}(x_1)$...	$y_n = \varphi_{1,n}(x_1)$
2		$y_2 = \varphi_{2,2}(x_2)$	$y_3 = \varphi_{2,3}(x_2)$...	$y_n = \varphi_{2,n}(x_2)$
3			$y_3 = \varphi_{3,3}(x_3)$...	$y_n = \varphi_{3,n}(x_3)$
...
$n-1$					$y_n = \varphi_{n-1,n}(x_{n-1})$
n					$y_n = \varphi_{n,n}(x_n)$

Рис. 2. Таблица, содержащая функциональные зависимости, устанавливающие взаимосвязи уровней воды в различных временных сечениях

В результате решения обратной задачи для выбранных значений $\lambda_p \in [0; 1]$ формируются пары чисел $\{x_p, y_p\}$, $p=1, 2, \dots$, совокупность которых представляет собой непараметрическую функциональную зависимость $y = \varphi(x)$.

Выполнен анализ подходов к построению оценок непрерывных законов распределения одномерных случайных величин по выборкам малого объема. Обоснован выбор схемы построения оценок законов распределения непрерывных случайных величин по выборочным данным с учетом границ области возможных значений случайных параметров. Выбранный подход позволяет, во-первых, полностью формализовать процедуру оценивания законов распределе-

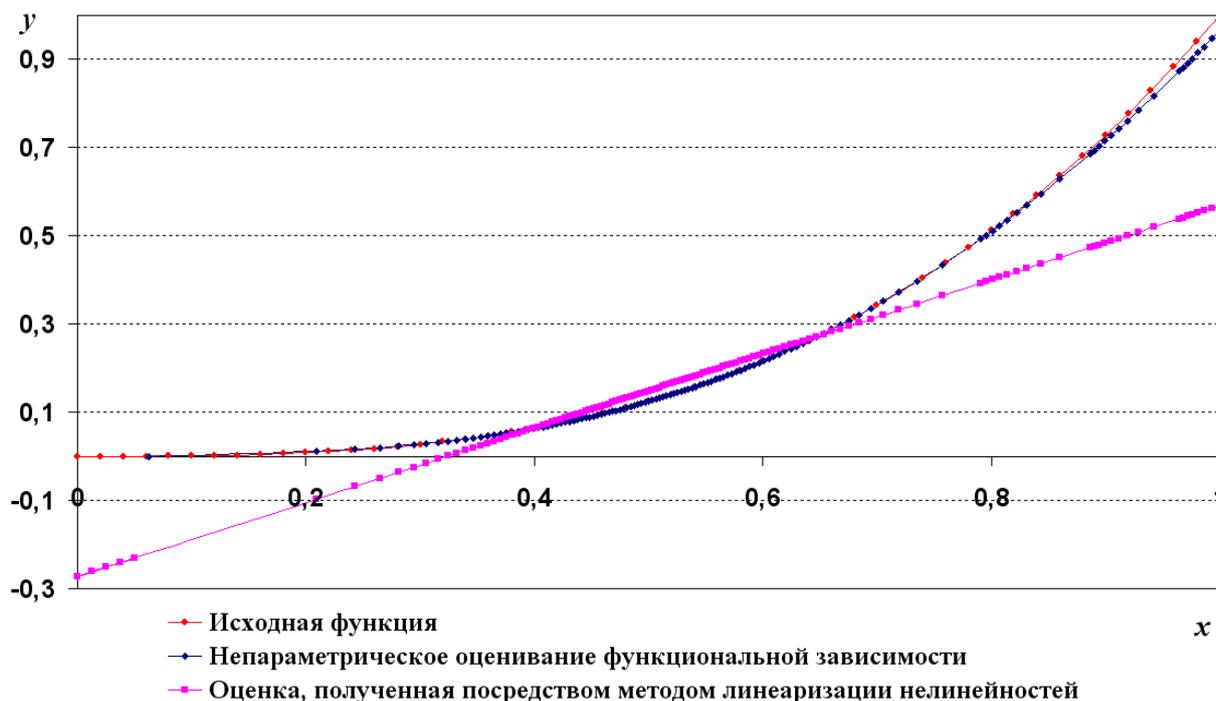
ния случайных величин по выборочным данным, в случае, когда вид закона распределения априорно неизвестен; во-вторых, получать оптимальные в статистическом смысле оценки законов распределения, в том числе по выборкам малого объема. Это, в свою очередь, позволяет формализовать процедуру статистического оценивания функциональных зависимостей в случае малого числа наблюдений; заранее неизвестной структуры функциональной зависимости; отсутствия таблицы совместно наблюдаемых значений независимой и зависимой случайных величин.

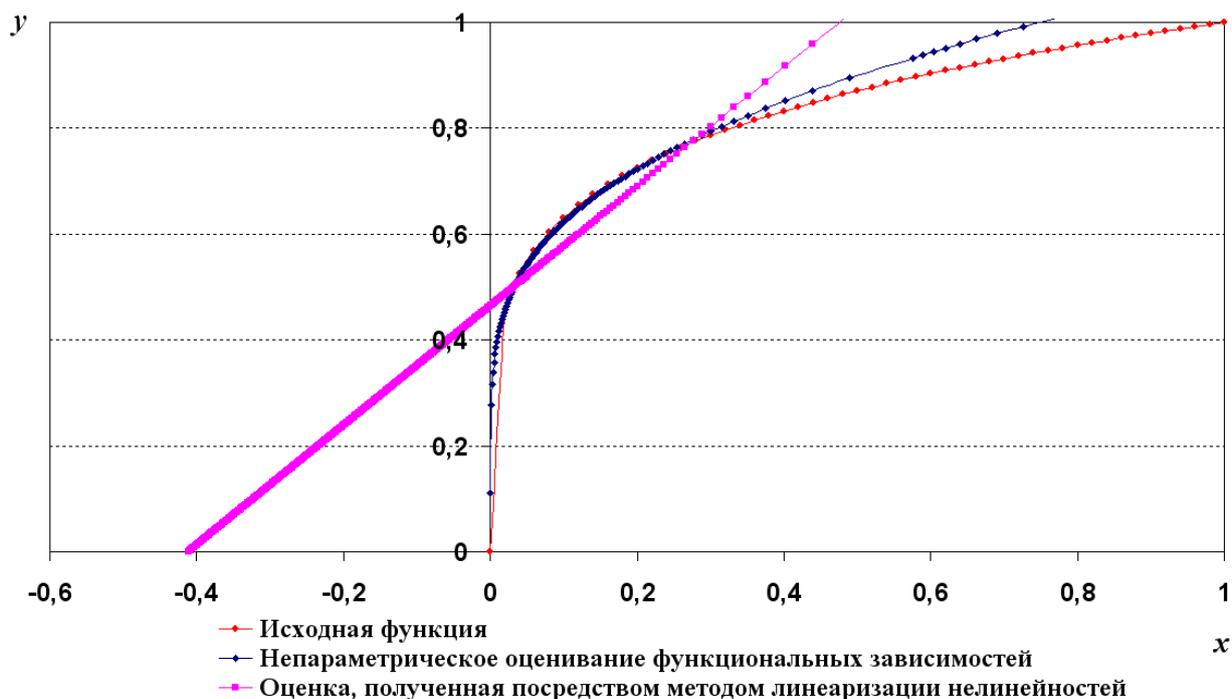
Выполнен сравнительный анализ точности оценок, получаемых на основе предлагаемого метода и описанного в литературе метода аналогичного назначения, основанного на аппроксимации $f_1(x)$ и $f_2(y)$ нормальными законами распределения (метода линейризации нелинейностей).

Показано, что предлагаемый метод обеспечивает более высокую точность функциональных зависимостей, что обусловлено тем, что помимо выборочных данных учитывается дополнительная информация, заключенная в границах области возможных значений случайных величин. При проведении исследований в качестве характеристики точности, характеризующей расхождение между исходной и восстановленной функциональной зависимостью, использовалась известная метрика доминирования.

На рис. 3 приведены некоторые из результатов, полученные в ходе исследований.

Рис. 3, а соответствует случаю, когда закон распределения $f_1(x)$ – нормальный, функциональная зависимость имеет вид $y=x^3$; рис. 3, б – закон распределения $f_1(x)$ – экспоненциальный, функциональная зависимость имеет вид $y = \sqrt[5]{x}$.





б

Рис. 3. Оценки нелинейных функциональных зависимостей на основе непараметрического метода и метода линеаризации нелинейностей

При проведении исследований в качестве сравнительной характеристики точности оценивания функциональных зависимостей непараметрическим методом (НПМ) и методом линеаризации нелинейностей (МЛН) использовался показатель $D = \frac{\int_a^b |\varphi(x) - \varphi^{(МЛН)}(\hat{x})|}{\int_a^b |\varphi(x) - \varphi^{(НПМ)}(\hat{x})|}$, где a и b – границы области возможных значений случайной величины.

Проведенные исследования точности оценивания функциональных зависимостей при различных законах распределения случайного аргумента показали, что по сравнению с известным методом аналогичного назначения предлагаемый метод позволяет в 1,5–10 раз повысить точность оценивания нелинейных монотонных, однозначных, непрерывных функциональных зависимостей, причем точность оценивания тем выше, чем сильнее функциональная зависимость отклоняется от линейной функции и чем более асимметричен закон распределения случайного аргумента.

В третьей главе приводятся результаты исследования качества непараметрического оценивания функциональных зависимостей от свойств исходных данных. В роли характеристик качества использовались средняя погрешность, а также среднеквадратическое отклонение погрешности оценивания функциональных зависимостей.

Исследование проводилось методом статистических испытаний.

Схема вычислительного эксперимента состояла в следующем:

Шаг 1. Задавался вид монотонной, однозначной, непрерывной функциональной зависимости $y=f(x)$, а также объемы выборок независимой и зависимой случайных величин X и Y .

Шаг 2. В j -м эксперименте ($j = \overline{1; \eta}$) формировались выборки различных объемов независимой и зависимой случайных величин X и Y , соответствующие различным законам распределения $F_1(x)$ и $F_2(y)$.

Шаг 3. По сформированным выборочным значениям входного $\{x^{(j)}\}$ и выходного $\{y^{(j)}\}$ параметров в j -м эксперименте строились оценки законов распределения случайного аргумента $\hat{F}_1^{(j)}(x)$ и функции случайного аргумента $\hat{F}_2^{(j)}(y)$.

Шаг 4. Посредством решения обратной задачи строилась непараметрическая оценка функциональной зависимости $\hat{y}^{(j)} = \hat{\varphi}^{(j)}(x)$.

Шаг 5. Рассчитывалась величина, характеризующая расхождение $D^{(j)}$ между истинной $\varphi(x)$ и восстановленной функциональной зависимостью $\hat{\varphi}^{(j)}(x)$.

Шаг 6. Рассчитывались характеристики качества непараметрического метода восстановления функциональных зависимостей в виде статистических оценок математического ожидания $\hat{M}[D]$ и среднеквадратического отклонения $\hat{\sigma}[D]$.

В ходе эксперимента для расчета $D^{(j)}$ использовалась метрика доминирования. По результатам эксперимента получены зависимости $\hat{M}[D]$, $\hat{\sigma}[D]$ для различных законов распределения $F_1(x)$, $F_2(y)$, разных объемов выборочных данных, а также разных масштабов и законов распределения аддитивной ошибки $F(\varepsilon)$, накладываемые на выборочные данные.

В качестве $F(\varepsilon)$ рассматривались равномерный и нормальный законы распределения, причем среднеквадратическое отклонение σ_ε определялось по правилу $\sigma_\varepsilon = \alpha * \sigma[x]$. Здесь σ – среднеквадратическое отклонение, соответствующее $F_1(x)$, а α принимало значения $\{0,05; 0,1; 0,25; 0,5; 1\}$.

На рис. 4 приведены некоторые из результатов, полученные в ходе исследований.

Показано, что средняя погрешность оценивания, получаемая посредством предлагаемого метода по сравнению с методом аналогичного назначения при объемах исходных выборок $10 \div 150$ в 1,1–1,3 раза меньше. Показатель разброса в 1,1–1,2 меньше по сравнению с показателем разброса, получаемого методом аналогичного назначения.

Отношение характеристик качества тем выше, чем больше объем исходных выборок. Средняя погрешность оценок функциональных зависимостей, получаемых предлагаемым методом выше при равномерном законе распределения аддитивной ошибки.

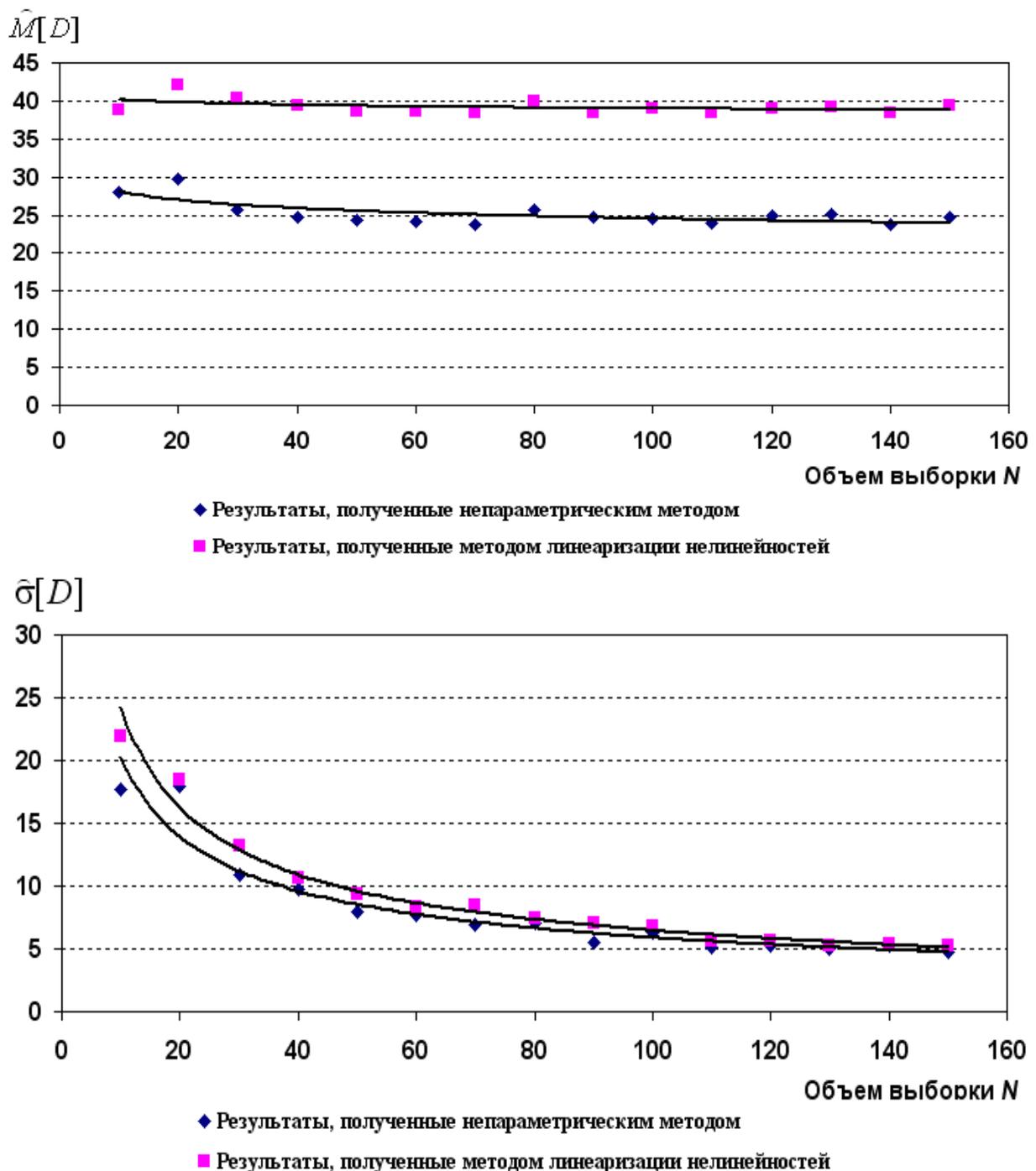


Рис. 4. Характеристики качества оценивания функциональных зависимостей: закон распределения $F_3(x)$ – нормальный ($M[x]=8$, $\sigma[x]=2$); закон распределения $F(\epsilon)$ – равномерный $[-1,73;3,46]$; исходная функциональная зависимость $y=x^2$

Проведенные исследования послужили основой для разработки инженерной методики, в основе которой лежит матрица нормированных непараметрических функциональных зависимостей. Это позволяет строить оценки функциональных зависимостей по выборочным значениям математического ожидания и среднеквадратического отклонения входного и выходного параметров. Инженерная методика, представленная в виде альбома нормированных непараметрических функциональных зависимостей, показана на рис. 5.

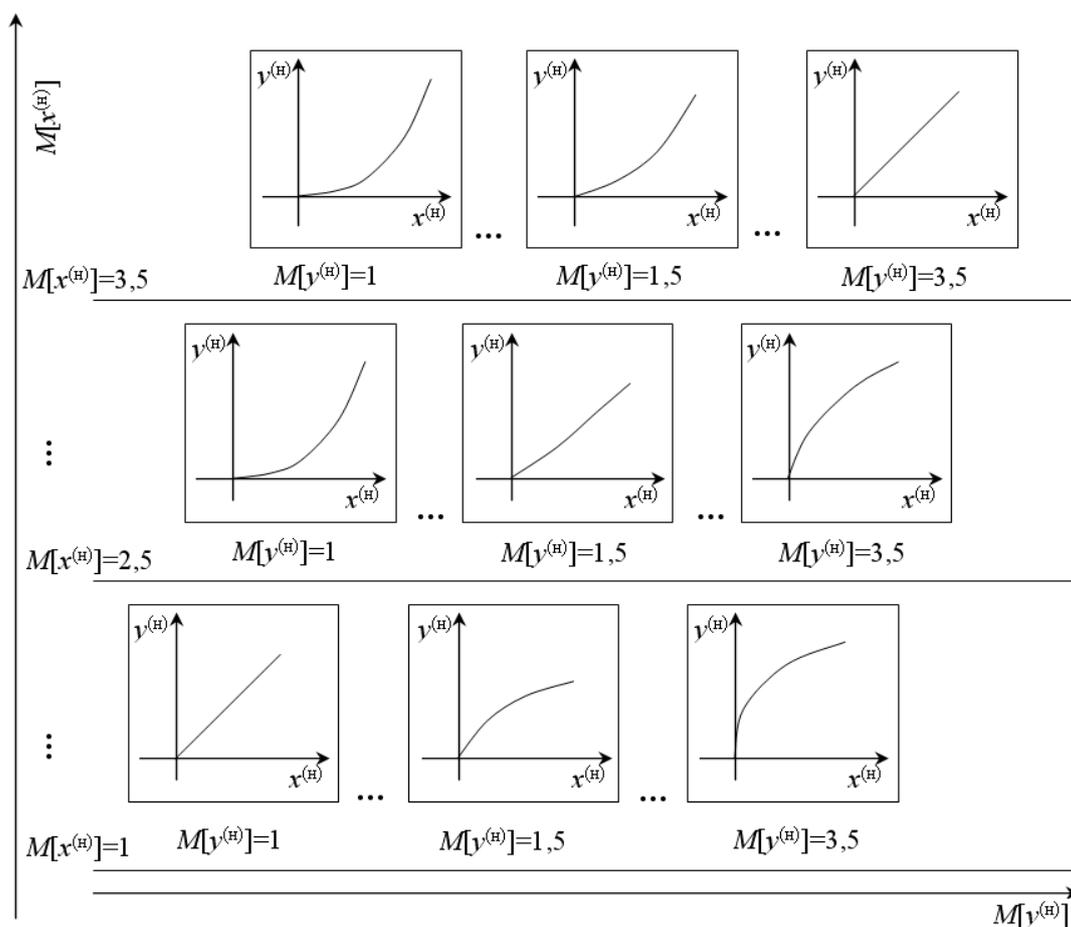


Рис. 5. Графическая модель альбома нормированных непараметрических функциональных зависимостей

Инженерная методика позволяет полностью формализовать процедуру оценивания функциональных зависимостей по выборочным значениям независимой и зависимой случайных величин, что делает возможным ее представление в виде программной компоненты в составе системы информационной поддержки предупреждения негативных последствий паводков.

В четвертой главе разработана схема решения задачи краткосрочного прогнозирования уровней воды на постах контроля с использованием инженерной методики непараметрического оценивания функциональных зависимостей. Схема решения задачи краткосрочного прогнозирования заключается в следующем.

Шаг 1. По ретроспективным данным, отнесенным к определенному посту контроля, строились непараметрические функциональные зависимости, характеризующие взаимосвязи уровней воды в различных временных сечениях.

Шаг 2. С использованием этих функциональных зависимостей по текущему уровню воды, отнесенному к фиксированному временному сечению, рассчитывались прогнозные уровни воды в других временных сечениях.

Необходимым компонентом использования обобщенной схемы решения задач является формирование по фактическим уровням воды однородных в ста-

тистическом смысле исходных данных. Схема формирования заключалась в следующем. Из зафиксированных в j -м временном ряде и i -м временном сечении уровней воды вычислить «критический» уровень воды, при котором происходит затопление поймы, который заранее известен для каждого поста контроля.

В ходе исследований по описанной схеме осуществлялась обработка фактических данных, зарегистрированных на постах контроля, расположенных на территории Республики Башкортостан.

В качестве примера приведены результаты, получаемые посредством описанной схемы для поста контроля, расположенного возле населенного пункта «Глуховский» на реке Сим (табл. 1).

Таблица 1

Результаты прогнозирования уровней воды с помощью непараметрического метода при известном значении уровня воды во временном сечении номер 14

Номер временного сечения	14	15	16	17	18	19	20
Фактические значения уровней воды (см)	612	629	595	572	603	667	694
Прогнозные значения уровней воды других временных сечениях (см)		593	587	593	600	606	609
Относительная погрешность (%)		5	7	8	9	10	12
Абсолютная погрешность (см)		24	27	36	42	57	84

В ходе выполнения работы проводились исследования сравнительной характеристик точности прогноза уровней воды на основе непараметрического и известных методов прогнозирования временных рядов. В качестве конкурирующих по отношению к непараметрическому методу были рассмотрены: метод линейной экстраполяции; метод скользящего среднего и экспоненциального сглаживания. В качестве характеристики точности прогнозных результатов выступала известная метрика доминирования.

В ходе исследований было установлено, что предлагаемый метод по сравнению с другими методами в 1,5–3 раза показал более точный результат при изменении горизонта прогноза от 1 до 6 дней.

Рассмотрены перспективы использования непараметрического метода оценивания функциональных зависимостей для других приложений.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Установлено, что необходимым условием реализации «превентивного» подхода к управлению сложными объектами является решение задач, связанных с прогнозированием состояния сложных объектов. В результате проведенного анализа подходов к прогнозированию состояния сложных систем выявлены недостатки экстраполяционных методов, основанных на методах математи-

ческой статистики; недостатки известных математических моделей прогнозирования паводковой ситуации и обоснована целесообразность использования функционального подхода к решению задачи прогнозирования.

На основе методических рекомендаций для председателей противопаводковых комиссий муниципальных образований Республики Башкортостан посредством методологии *IDEF0* разработана структурно-функциональная модель системы предупреждения негативных последствий паводка, что позволило определить место решения задачи прогнозирования уровней воды на постах контроля в составе мероприятий, направленных на предупреждение негативных последствий паводка.

2. Разработан метод прогнозирования уровней воды на постах контроля, основанный на решении обратной задачи, по отношению к известной задаче оценивания законов распределения функции случайного аргумента, позволяющий строить непараметрические оценки непрерывных, монотонных, однозначных, функциональных зависимостей в условиях малого объема и низкой точности исходных данных; априорно неизвестной структуры функциональной зависимости; отсутствия таблицы совместно наблюдаемых значений независимой и зависимой случайных величин.

Проведенные исследования точности непараметрического оценивания нелинейных функциональных зависимостей при различных законах распределения случайного аргумента показали, что, по сравнению с известным методом аналогичного назначения, предлагаемый метод позволяет в 1,5–10 раз повысить точность оценивания нелинейных функциональных зависимостей, причем точность оценивания тем выше, чем сильнее функциональная зависимость отклоняется от линейной, чем более асимметричен закон распределения случайного аргумента.

3. В результате проведения экспериментальных исследований качества непараметрического оценивания непрерывных, монотонных, однозначных, функциональных зависимостей установлено, что средняя погрешность непараметрического оценивания в 1,1–1,3 раза меньше, по сравнению с методом аналогичного назначения при объемах исходных выборок $10 \div 150$. Среднеквадратическое отклонение погрешностей получаемых оценок в 1,1–1,2 меньше по сравнению с показателем разброса, получаемого методом аналогичного назначения, причем отношение характеристик качества тем выше, чем больше объем исходных выборок, чем более нелинейной является функциональная зависимость, и чем больше масштаб ошибки регистрации данных.

4. Разработана инженерная методика непараметрического оценивания непрерывных, монотонных, однозначных функциональных зависимостей по выборочным значениям независимой и зависимой случайных величин и реализующее его прикладное программное обеспечение.

Использование разработанного прикладного программного обеспечения

решения практических задач, связанных с прогнозированием уровней воды на постах контроля, расположенных на территории Республики Башкортостан на основе обработки ретроспективных и текущих данных показало, что погрешность прогноза уровней воды составило 5–12% при горизонте прогноза от 1 до 6 дней.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В РАБОТАХ

В рецензируемом журнале из списка ВАК

1. Непараметрическое оценивание функциональных зависимостей по эмпирическим данным / В.Е. Гвоздев, А.Е. Колоденкова // Мехатроника, автоматизация, управление. М. : Новые технологии. 2005. № 8. С. 12–18.

В других изданиях

2. Статистический анализ паводковой ситуации на территории Республики Башкортостан / А.Е. Колоденкова // Интеллектуальные системы управления и обработки информации : матер. всерос. молодеж. науч.-техн. конф. Уфа : УГАТУ, 2003. С. 41.

3. Контроль и прогнозирование паводковой ситуации на территории Республики Башкортостан на основе статистического моделирования и хранилищ космических снимков / С.В. Павлов, В.Е. Гвоздев, С.А. Митакович, Е.В. Заяц, А.Е. Колоденкова // Башкирский экологический вестник. 2003. № 2 (13). С. 12–15.

4. Автоматизированная система прогнозирования паводковой ситуации / А.Е. Колоденкова // XII Туполевские чтения : матер. междунар. молодеж. науч. конф. Казань, 2004. Т. 3. С. 110–111.

5. Краткосрочное прогнозирование паводковой ситуации на основе статистических методов и ГИС / В.Е. Гвоздев, А.Е. Колоденкова, С.А. Митакович, Е.В. Заяц // Компьютерные науки и информационные технологии CSIT'2004 : матер. VI междунар. конф. Будапешт, Венгрия, 2004. Т. 2. С.67–72 (Статья на англ. яз.).

6. Информационное обеспечение принятия решений в период прохождения паводка / В.Е. Гвоздев, А.Е. Колоденкова, Р.А. Газзанов // Принятие решений в условиях неопределенности : межвуз. науч. сб. Уфа : УГАТУ, 2005. С. 62–67.

7. Оценивание характеристики нелинейного безынерционного звена по статистическим данным / А.Е. Колоденкова, Р.А. Газзанов // XIII Туполевские чтения : матер. междунар. молодеж. науч. конф. Казань, 2005. Т. 3. С. 12–13.

8. Разработка непараметрического метода восстановления монотонных функциональных зависимостей на основе анализа законов распределения случайных величин / В.Е. Гвоздев, Е.В. Заяц, А.Е. Колоденкова // Вопросы управления и проектирования в информационных и кибернетических системах : межвуз. науч. сб. Уфа : УГАТУ, 2005. С. 70–75.

9. Информационные технологии оценивания рисков негативных последствий паводков / М.Б. Гузаиров, Б.Г. Ильясов, В.Е. Гвоздев, В.И. Васильев, А.Е. Колоденкова, Т.М. Буреева // Проблемы управления и моделирования в сложных системах : тр. VII междунар. конф. Самара, 2005. С. 136–143.

10. Краткосрочное прогнозирование паводковой ситуации на основе математико-статистических методов / А.Е. Колоденкова // Вузовская наука – России : матер. межвуз. науч.-практ. конф. Набережные Челны, 2005. Ч 1. С. 117–119.

11. Прогнозирование значений нестационарного случайного процесса в условиях малого числа экспериментальных данных / А.Е. Колоденкова // Молодежь и современные информационные технологии : матер. IV всерос. науч.-практ. конф. Томск, 2006. С. 106–107.

12. Краткосрочное прогнозирование состояния сложных объектов в условиях малого объема и низкой точности измерительных данных (на примере паводковой ситуации) / М.Б. Гузаиров, В.Е. Гвоздев, А.Е. Колоденкова // Проблемы управления и моделирования в сложных системах : тр. VIII междунар. конф. Самара, 2006. С. 147–151.

Диссертант

А.Е. Колоденкова

КОЛОДЕНКОВА Анна Евгеньевна

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ
НА ОСНОВЕ ОБРАБОТКИ РЕТРОСПЕКТИВНЫХ И ТЕКУЩИХ ДАННЫХ
(НА ПРИМЕРЕ ПАВОДКОВОЙ СИТУАЦИИ)

Специальность 05.13.01 – Системный анализ,
управление и обработка информации

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано к печати 25.01.07. Формат 60x84 1/16.
Бумага офсетная. Печать плоская. Гарнитура Times New Roman.
Усл.печ.л. 1,0. Усл.кр.-отт. 1,0. Уч.-изд.л. 0,9.
Тираж 100 экз. Заказ № 16.

ГОУ ВПО Уфимский государственный авиационный технический университет
Центр оперативной полиграфии
450000, Уфа-центр, ул. К. Маркса, 12