

ОГЛАВЛЕНИЕ

От авторов.....	5
Основные обозначения и сокращения.....	6
Введение	7
Глава 1. Теоретический базис нелинейных нестационарных моделей мореходности	8
1.1. Нестационарные процессы эволюционной динамики	8
1.2. Нестационарная мореходность судов.....	14
1.3. Нестационарная динамика нелинейных систем взаимодействия судна с внешней средой	19
1.4. Особенности восприятия динамической нагрузки в нестационарной среде.....	27
1.5. Стратегия управления в условиях нестационарных воздействий	34
1.6. Динамический хаос в нелинейных нестационарных моделях мореходности судов	35
1.7. Механизм абстракции нестационарной динамики.....	50
1.8. Оценка адекватности моделей динамики нелинейных нестационарных систем мореходности судов	53
Контрольные вопросы	63
Глава 2. Методы и модели нестационарной динамики судна на волнении ...	64
2.1. Особенности моделирования нестационарных задач мореходности	64
2.2. Уравнение Фоккера — Планка	68
2.3. Метод Монте-Карло.....	75
2.4. Метод функционала действия.....	77
2.5. Аттракторные множества	79
2.6. Методы исследования мореходности в условиях неопределенности нестационарной среды взаимодействия	88
2.7. Стратегия моделирования мореходности	93
2.8. Функциональный базис абстрактного образа нестационарной среды мореходности.....	100
Контрольные вопросы	102
Глава 3. Прикладные задачи мореходности судна в нестационарной среде	103
3.1. Потеря остойчивости судна в условиях нестационарного волнового поля.....	103
3.2. Резонансные режимы качки при воздействии нестационарных возмущений	112
3.3. Ситуация «брочинг» в нестационарной среде.....	116
3.4. Интенсивное обледенение в нестационарной среде	120
3.5. Удар разрушающейся волны.....	124
3.6. Удар экстремальной волны	129
3.7. Системы итерированных функций при моделировании мореходности...	133
3.8. Импульсное и символическое моделирование мореходности	136
3.9. Мультиагентное моделирование мореходности	139
Контрольные вопросы	144

Глава 4. Самоорганизация и адаптация моделей	
нелинейной нестационарной динамики мореходности судов	145
4.1. Нелинейная самоорганизация в задачах мореходности	145
4.2. Возникновение «потенциальной ямы» в нестационарной среде	149
4.3. Синергетическая парадигма в моделях самоорганизации.....	153
4.4. Эффект самоорганизации когнитивных структур.....	157
4.5. Эффект самоорганизации фрактальных структур.....	162
Контрольные вопросы	165
Глава 5. Оперативный контроль мореходности судов	166
5.1. Программный комплекс контроля мореходности.....	166
5.2. Восстановление спектра возмущений.....	169
5.3. Контроль экстремальных ситуаций.....	176
5.4. Оценка риска принимаемых решений.....	180
5.5. Интеллектуальный интерфейс при контроле мореходности.....	187
5.6. Критериальный базис оценки мореходности	196
5.7. Контроль мореходности в условиях беспилотного управления	199
Контрольные вопросы	203
Заключение	205
Приложения. Методы моделирования мореходности	
в среде компьютерной математики.....	207
Приложение А1. Таблицы функций для расчета элементов динамической модели катастроф.....	207
Приложение А2. Таблицы функций для расчета нелинейной пространственной функции модифицированного уравнения Матье	209
Приложение В. Программные средства поддержки вычислительного комплекса	216
Приложение С. Методы повышения активности при изучении мореходности	218
Приложение Д. Формальный концептуальный анализ в задачах мореходности.....	222
Приложение Е. Фрагмент записи качки.....	227
Словарь терминов	234
Литература.....	239
Предметный указатель.....	244

ОТ АВТОРОВ

В исследованиях и практических приложениях мореходности судов особую актуальность приобретает анализ и синтез нелинейных нестационарных систем (NN-систем). Поиск эффективных путей решения этой сложной проблемы привел к использованию методов и моделей, основанных на реализации компьютерной математики и динамической модели современной теории катастроф (СТК). Теоретическая база классических моделей NN-систем совершенствуется в направлении решения сложных проблем эволюционной динамики в различных научно-технических приложениях. С помощью таких моделей эффективно решаются задачи идентификации и прогноза, контроля и управления. Принципиальным достоинством применения методов исследования эволюционирующих NN-систем является возможность их реализации с использованием принципа конкуренции в мультипроцессорной вычислительной среде. Это обеспечивает высокую производительность обработки информации при моделировании мореходности, что особенно важно при организации функционирования NN-систем в режиме экстренных вычислений.

В отличие от традиционных вычислительных систем, методы интерпретации информации на основе нестационарного анализа мореходности открывают возможности реализации решений в сложных динамических средах, обеспечивая при этом режим визуализации и самонастройки системы в зависимости от полученных решений. Расширение функциональных возможностей нестационарного анализа достигается с помощью абстрактных систем. Механизм абстракции создается в результате творческой деятельности. Примерами абстрактных образов являются идеи, методы, гипотезы, свойства и связи в интерпретируемых системах мореходности.

Предлагаемое учебное пособие — первая обобщающая работа, посвященная практическим приложениям нестационарной динамики судна в условиях непрерывного изменения эволюции объекта и внешней среды. Развитию исследований в этой области способствуют новые направления геометрической и аналитической интерпретации экстремальных ситуаций на основе динамической модели СТК в виртуальных динамических средах и бортовых интеллектуальных системах новых поколений.

*Заслуженный деятель науки РФ, академик РАН,
доктор технических наук, профессор Ю. И. Нечаев,*

*Почетный работник сферы образования РФ,
доктор технических наук, доцент Д. В. Никущенко*

ОСНОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

В основе изложения материала книги используется стандартная теоретико-множественная система терминов и обозначений.

Логические связки

- Λ — конъюнкция ($\alpha \wedge \beta$ читается: и)
- ∨ — дизъюнкция ($\alpha \vee \beta$ читается: или)
- — импликация ($\alpha \rightarrow \beta$ читается: если α , то β)
- ↔ — эквивалентность ($\alpha \leftrightarrow \beta$)

Логические операции

- $A \subset B$ — множество A есть подмножество B
- $A \cup B$ — операция включения множеств
- $A \cap B$ — операция пересечения множеств
- $A \times B$ — операция логического произведения множеств

Условные сокращения

- АО — абстрактный образ
- БЗ — база знаний
- ВП — виртуальный полигон
- ВР — виртуальная реальность
- ГА — генетический алгоритм
- ГА — графоаналитическая система
- ИИ — искусственный интеллект
- ИНС — искусственная нейронная сеть
- ИС — интеллектуальная система
- ЛП — лингвистическая переменная
- МДО — морской динамический объект
- НД — нейродинамическая система
- НН — нелинейная нестационарная система
- СИФ — система итерированных функций
- СТК — современная теория катастроф
- ФП — функция принадлежности
- $B(t)$ — бифуркационное множество
- $W(t)$ — множество отображения динамической нестационарной среды
- $V(t)$ — множество структурных изменений динамического объекта под воздействием нестационарных возмущений
- R^n — пространство состояния
- R^r — пространство управления

ВВЕДЕНИЕ

Развитие теоретических принципов интерпретации нелинейных нестационарных систем осуществляется на основе моделей классической математики и интеллектуальных технологий XXI в. При исследовании NN-систем важная роль принадлежит использованию топологических структур отображения поведения судна как нестационарного морского динамического объекта (МДО) в условиях неопределенности и неполноты исходной информации. Анализ и прогноз текущих ситуаций методами нестационарной динамики представляет собой одно из перспективных направлений синтеза NN-систем в сложных динамических средах мореходности судна.

Фундаментальные работы по различным приложениям NN-систем сохраняют свое значение в задачах мореходности. Новая теория, реализующая динамическую модель СТК, открывает возможности приложений в области мореходности к функциональному анализу в нестационарной среде. Аналитическая и геометрическая интерпретация NN-систем реализуется с использованием теории особенностей и бифуркаций в сложных динамических средах.

Чтобы оценить мореходность судна с позиций реализации NN-систем в СТК, необходимо стать на точку зрения современной компьютерной математики и изучить некоторые важные аспекты приложений мореходности. Большинство приложений базируется на фундаментальных достижениях классической математики и теории корабля, которые сформулированы применительно к интерпретации NN-систем в рамках интеграции знаний о поведении судна в нестационарном поле взаимодействия. При этом структуры эволюционной динамики вводятся на основе аксиоматики теории множеств, а изложение материала сопровождается рассмотрением важных практических приложений NN-систем в области мореходности.

Особенностью NN-систем является интеграция вычислительных технологий классической математики и нейродинамических систем (ND-систем), сочетающих нейронечеткое и нейроэволюционное моделирование. Реализация структурной и функциональной конфигурации NN-систем на основе СТК осуществляется с использованием формальных методов концептуального анализа. Графическая интерпретация физических закономерностей NN-систем представляется на основе когнитивных и фрактальных структур, моделирующих процессы развития текущих ситуаций мореходности в рамках синергетической парадигмы.

Основное назначение предлагаемой книги — развитие творческого подхода и заинтересованности студентов кругом идей, а также пробуждение у них интереса к новой области исследований мореходности на основе нелинейных нестационарных систем.

ГЛАВА 1

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ БАЗИС

НЕЛИНЕЙНЫХ НЕСТАЦИОНАРНЫХ

МОДЕЛЕЙ МОРЕХОДНОСТИ

Представлена общая характеристика использования моделей NN-систем в динамическом ветроволновом поле. Обсуждаются особенности нестационарной динамики и модели динамического хаоса NN-систем на базе подходов к формализации знаний в высокопроизводительной вычислительной среде. Рассмотрены особенности оценки адекватности NN-систем.

1.1. Нестационарные процессы эволюционной динамики

Концептуальная модель обработки информации при интерпретации функционального пространства NN-систем в сложной динамической среде интерпретации мореходности, имеет вид:

$$S(U) = \langle F(Com) : \{T(t, \tau) \times X(KB) \times Q(V, W)\} \rightarrow Y(R) \rangle, \quad (1.1)$$

где $S(U)$ определяет множество стратегий управления, а ее компоненты представляют следующие структуры: $F(Com)$ — элементы, реализующие принцип конкуренции; $\{T(t, \tau) \times X(KB) \times Q(V, W)\}$ — множество закономерностей в данных; $T(t, \tau)$ — моменты времени, определяющие модель развития контролируемых ситуаций; $X(KB)$ — элементы оперативной базы данных; $Q(V, W)$ — значения вектора входных воздействий (состояние нестационарной внешней среды); $Y(R)$ — правила обобщения информации; τ — интервал времени реализации.

Обратная алгоритмическая связь в концептуальной модели (1.1) используется для формирования управляющих воздействий. Обеспечение взаимодействия при интеллектуальной поддержке (ИП) принятия решений реализуется на основе критерии максимальной эффективности. Принципом обратной алгоритмической связи является разность энтропий системы до и после получения информации, что уменьшает неопределенность в оценке и анализе текущего состояния NN-системы и неоднозначность в выборе способов формирования управляющих воздействий в зависимости от критичности возникающих ситуаций.

Интерпретация NN-системы осуществляется в рамках динамической модели современной теории катастроф (СТК) [1]. Конфигурация многофункционального программного комплекса (МПК) моделирования мореходности представляется фрактальным графом

$$G(F_R) = (V(E, U), A(E, C)), \quad (1.2)$$

формализующим события $(V(E, U))$, описывающие действия в системе, и условия $A(E, C)$ — в виде логического описания ее состояния. Как следует из этого представления, управляющий модуль комплекса обеспечивает обработку потока информации, связанного с состояниями NN-системы и условиями описания в процессе эволюции в нестационарной динамической среде.

На рисунке 1.1 приведена формальная модель МПК нестационарной динамики судна, функционирующего в мультипроцессорной вычислительной среде.

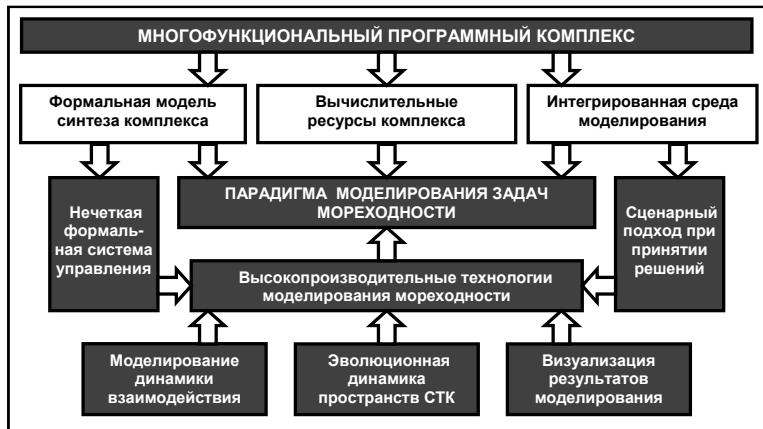


Рис. 1.1

Концептуальная модель нестационарной динамики судна
в рамках интегрированного вычислительного комплекса

Как следует из приведенной структуры, интерпретация нестационарной динамики судна при построении математического описания задач мореходности основана на следующих процедурах алгоритмического синтеза:

- выделение физических эффектов и закономерностей с использованием аксиоматики А. Н. Колмогорова [14] и теории сложности [41];
- формирование модели взаимодействия в нестационарной динамической среде на основе онтологического синтеза и аксиоматического базиса эволюции системы на интервале реализации;
- построение геометрического образа исследуемой ситуации на основе динамической визуализации нестационарной среды взаимодействия.

Функциональный блок МПК содержит интерпретирующий и вычислительный модули, обеспечивающие неиронечеткое и нейроэволюционное моделирование в рамках ND-системы с использованием фрактальной геометрии [2], [35] и энтропийного анализа [18]. Интеграция указанных модулей реализована на основе динамической модели СТК и позволяет формализовать процессы обработки информации на основе данных физического эксперимента, современных интеллектуальных технологий и высокопроизводительных вычислений.

Интегрированная среда, отображающая концепцию исследования мореходности и системный синтез проблемы, представлены в виде графической интерпретации множеств, определяющих эволюционную динамику судна в нестационарной среде. Такое представление реализовано с помощью механизма абстракции — *диаграммы Венна* [17] (рис. 1.2).

Диаграмма изображена в виде прямоугольника (область взаимодействия), содержащего круги, отображающие множества в виде области нестационарной среды (круг А), динамики взаимодействия (круг В) и результат взаимодействия в заданной среде (круг С). Множества пересекаются в наиболее общем случае, сформулированном в задаче интерпретации ситуации. Экспериментальные точки (структура эволюционирующей среды), характеризующие взаимодействие судна в нестацио-

нарной среде на интервале реализации, располагаются внутри различных областей диаграммы и рассматриваются как элементы соответствующих множеств.

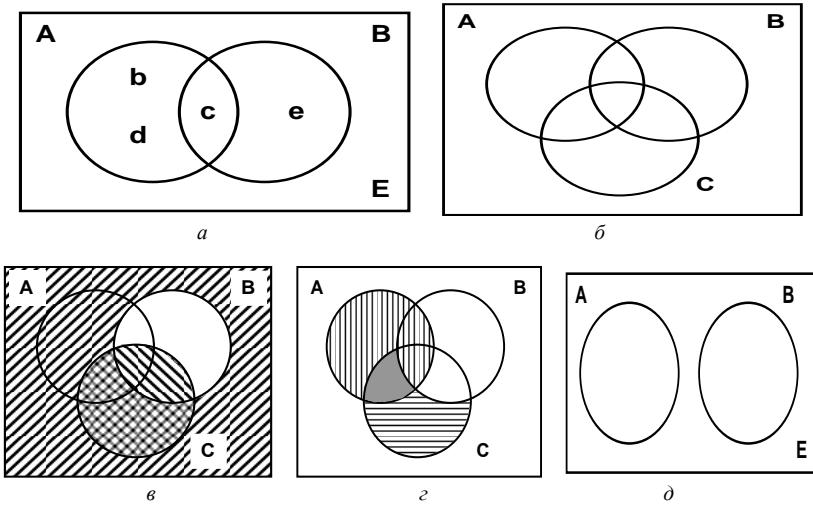


Рис. 1.2

Концептуальная модель, отображающая стратегию поведения судна в нестационарной среде

Для прямоугольника $\Omega = \{b, c, d, e\}$ (рис. 1.2a), определяется поле интерпретации для кругов $A = \{bcd\}$ и $B = \{c, e\}$ в виде функций интерпретации динамики нестационарной среды взаимодействия и внешнего возмущения (круги A и B) и результат реакции среды (круг C). Чтобы представить множество $A \cup (B' \cap C)$, где $B' = \{x: x \notin B\}$ — дополнение множества B, рассмотрим общую диаграмму, показанную на рисунке 1.2б. Заштрихуем B' диагональными линиями в одном направлении, а C диагональными линиями в другом направлении (рис. 1.2в). Площадь с двойной штриховкой представляет собой результатирующее множество $B' \cap C$. На новой копии диаграммы заштрихуем эту область горизонтальными линиями, а A — вертикальными. Вся заштрихованная на рисунке 1.2г область (показана темным цветом) представляет множество $A \cup (B' \cap C)$. Если $A \cap B = \emptyset$, то это соответствует диаграмме на рисунке 1.2д.

При возникновении фазового перехода эволюционирующая среда изменяет свое состояние и переходит в новый аттрактор в зависимости от уровня действующих возмущений. В результате происходит перестройка интерпретирующей структуры на рисунке 1.2, заключающаяся в том, что реализуется новое поведение объектов взаимодействия с новыми целями и особенностями функционирования, а отображение области взаимодействия (фазы «расширения — сжатия» синергетической теории управления [39]) и интерпретирующие круги трансформируются в новую конфигурацию, топология которой отображает рассматриваемые множества в нестационарной динамической среде.

Физические эффекты и тенденции в задачах мореходности. Выявление физических закономерностей изучаемых феноменов в современной компьютерной математике (КМ) [3] (рис. 1.3) осуществляется на базе концепции Data Mining [8].

В рамках такой интерпретации выделяются «скрытые» знания, определяющие события, в наибольшей степени определяющие поведение МДО. В практике

научных исследований нередко отмечались теоретически необоснованные, но наблюдаемые факты и закономерности. Примеры построения математических моделей поведения МДО в нестационарной среде убедительно подтверждают известное утверждение о том, что *никаким количеством математических экспериментов нельзя доказать теорию, но достаточно одного физического эксперимента, чтобы ее опровергнуть*. Никакими общими соображениями нельзя привести к согласию расходящиеся точки зрения. Парадокс заключается в том, что в принципе возможна ситуация, когда точки зрения расходятся до полной несовместимости, тогда и может оказаться, что только вместе они дают истинную картину знания.

Дискуссии по сложным проблемам развития науки показывают, что развязка кризиса не происходит до тех пор, пока лежащие в основе противоречия не достигают предельно возможной для них остроты. В СТК также возможны подобные ситуации, когда приходится вести научный поиск в условиях полной неопределенности, физический механизм которого может соединять несоединимое — картины сложного и малоизученного взаимодействия. Ищущий экспериментатор — творческая душа, всегда понимает, что новым идеям гораздо труднее родиться, чем потом повзросльть. История науки насчитывает слишком мало примеров, когда теоретическая мысль «смелыми набегами» добивалась скрупулезной законченности в пионерской работе [3].



Рис. 1.3

Физические эффекты и проблемы математического описания задач интерпретации

При построении математического описания задачи возникает проблема *начальных условий*. В прикладных задачах поведения МДО эта проблема имеет принципиальное значение, особенно в условиях неопределенности внешнего возмущения. В такой ситуации гораздо проще организовать вычислительный процесс в рамках обратной задачи. Действительно, на обратном конце задачи мы имеем более определенные условия потери устойчивости движения системы. Адаптивный алгоритм, обеспечивающий решение этой задачи, построен на основе метода функционала действия [29], [58] в рамках задачи оптимального управления — вариационной задачи Лагранжа в форме Понтрягина, которая определяет теоретический базис создания алгоритмов взаимодействия судна с внешней средой в динамической модели СТК [1].

Другая проблема моделирования связана с исследованием нелинейных стохастических систем в рамках аксиоматики теории вероятностей. Она обсуждалась еще на конгрессе по прикладной математике в Эдинбурге в 1999 г. и получила развитие в трудах отечественных ученых [25]: увеличение числа экспериментов при моделировании нелинейных стохастических систем не приводит к сходимости результата на основе предельной теоремы теории вероятностей.

Проблема математического описания задачи в СКМ снижается за счет интерпретаций поведения динамических систем в рамках принципа конкуренции [28]. Примером использования новых вычислительных технологий обработки информации является использование искусственных нейронных сетей (ИНС). Нелинейное преобразование информации и массовый параллелизм позволили с помощью ИНС решать сложные задачи анализа и прогноза поведения динамических систем при различном уровне внешних возмущений, а реализации интегрированных ИНС и ансамблей ИНС можно рассматривать как «*Музыкальный аккорд*» при решении задач идентификации экстремальных ситуаций в бортовых ИС новых поколений. Многим до сих пор кажется, что это «игра в математику». Но эта игра уже дает реальные практические результаты при управлении посадкой летательных аппаратов корабельного базирования и в задачах мониторинга катастрофических явлений [9], [25].

Задача контроля мореходности на основе NN-системы состоит в исследовании поведения судна при различном уровне действующих возмущений. В рамках такой интерпретации производятся измерения и обработка информации по определению динамических характеристик NN-системы на основе следующих утверждений.

Утверждение 1.1. Вектор независимых параметров $\Lambda(\pi)$ характеризует режимы движения NN-системы в пределах допустимой области. Равновесное состояние NN-системы в диапазоне переменных от $\Lambda(\pi)_0$ до $\Lambda(\pi)_k$ определяется на основе выражений:

$$\Lambda(\pi) = (\pi_1, \dots, \pi_p) \in \Omega \subset R^P;$$

$$\Omega : \forall q \in 1, \dots, p, \pi_q \in (\pi_q^{\min}, \pi_q^{\max}); \quad (1.3)$$

$$\begin{aligned} \forall q \in 1, \dots, p, \pi_q &\in [\pi_q^0, \pi_q^k] \subset \Omega; \\ \pi_q^0 &\in \Lambda(\pi)_0, \pi_q^k \in \Lambda(\pi)_k, \end{aligned} \quad (1.4)$$

где $y_0(\Lambda(\pi)_0)$, $y_k(\Lambda(\pi)_k)$ — начальное и конечное состояния равновесия NN-системы.

Утверждение 1.2. Управляющее воздействие, изменяющее состояние NN-системы в соответствии с заданным законом, описывается с помощью соотношений:

$$y(\Lambda(\pi)) = y^*(\Lambda(\pi))$$

$$\pi_q = \lim_{t \rightarrow \infty} v_q(t) = v_q = \text{const}; \quad (1.5)$$

$$y^* = y_0(\Lambda(\pi)_0), \quad y^*(\Lambda(\pi)_k) = y_k(\Lambda(\pi)_k). \quad (1.6)$$

где $y^*(\Lambda(\pi))$ — вектор, характеризующий многообразие равновесных состояний NN-системы, определенных в выходных параметрических пространствах; $\Lambda(\pi)$ — вектор параметров (π_1, \dots, π_p) , характеризующий динамику NN-системы и возмущающие воздействия для заданной эволюции судна (устанавливается в соответствии с режимами работы NN-системы в пределах допустимой области Ω «входа — выхода»).

Таким образом, задача контроля мореходности на основе выражений (1.3)–(1.6) состоит в рассмотрении стохастической дискретной системы с r -мерным пространством входов. Выходы системы в момент времени t представляют собой вектор-столбцы параметров NN-системы (π_1, \dots, π_p) . Преобразование этой информации связано с решением сложных задач анализа и интерпретации данных физических измерений, представленных информационным вектором $J(\pi_1, \dots, \pi_p)$.

Эволюция NN-системы развивается в соответствии с особенностями взаимодействия и формализуется на основе следующих теорем.

Теорема 1.1. Эволюционная динамика NN-системы на интервале реализации $[t_0, t_k]$, интерпретируется в рамках динамической модели СТК, позволяющей выделять в процессе эволюции системы критические моменты времени возникновения неблагоприятных режимов функционирования и вырабатывать управляющие воздействия по предотвращению нестандартных (нештатных и экстремальных) ситуаций.

Теорема 1.2. Возникновение и развитие неблагоприятных ситуаций в NN-системе реализуется в виде фрактальной структуры, содержащей фиксированные отображения исследуемых параметров на временном интервале $[t_0, t_k]$ текущей ситуации.

Теорема 1.3. Эволюционная динамика NN-системы, заданная в виде фрактальной структуры, характеризуется предельными (критическими) состояниями при движении к целевому аттрактору (стабильное состояние) и при потере устойчивости (возникновение катастрофы). Условия перехода между этими предельными состояниями описываются на основе логической системы знаний.

Доказательство этих теорем применительно к контролю экстремальных ситуаций в процессе функционирования ИС [8], [25] можно найти в работе [40] при рассмотрении приложения динамической модели СТК в задачах мореходности. Методы управления NN-системой ориентированы на обеспечение функционирования МПК в условиях непрерывного изменения динамики объекта и внешней среды. Адаптация системы обеспечивается с помощью механизмов нечеткого управления, определяющих конфигурацию «вход — выход». При этом обратная связь может быть отрицательной при стабилизации системы в бассейне аттрактора, или положительной, ведущей к бифуркации, нестабильности и хаосу.

Утверждение 1.3. Формирование структуры данных NN-системы при моделировании мореходности реализуется в направлении перестройки организации данных в мультипроцессорной вычислительной среде [28]. Процесс перестройки сопровождается *фазовым переходом*, в результате которого отмечается качественный скачок в изменении элементов NN-системы, причем последовательность перестройки осуществляется в виде следующей цепочки:

$$F(SA) \rightarrow Fluct \rightarrow Bifurc \rightarrow Reorg \rightarrow F(NSA), \quad (1.7)$$

где $F(SA)$ — функционирование NN-системы в области притяжения исходной структуры-аттрактора; $Fluct$ — отклонения (флуктуации); $Bifurc$ — бифуркация; $Reorg$ — реорганизация (фазовый переход); $F(NSA)$ — функционирование в области новой структуры-аттрактора.

В рамках представленной концептуальной модели формализуются процессы структурной и функциональной конфигурации NN-системы на основе аппарата знаний, организованных на базе синергетической теории управления [15], [39] и когнитивной парадигмы [56] с использованием принципа сложности [41] и концепции минимальной длины описания (Minimal Description Length — MDL) [14].

Принципиальное отличие сформированного подхода к обработке информации в функциональном пространстве NN-систем состоит в использовании интегрированных моделей анализа и интерпретации динамических ситуаций. Реализация моделей NN-систем определяется комплексным характером математического описания нарушений непрерывности исследуемых феноменов. Преимущества предлагаемого подхода заключаются в возможности не только геометрической, но и аналитической интерпретации динамики NN-систем, а также в представлении информации в виде простых геометрических образов фрактального отображения динамических ситуаций.

Интерпретация текущих ситуаций мореходности осуществлена на основе современного подхода к изучению NN-систем при непрерывном изменении динамики судна в условиях неопределенности и неполноты исходной информации. Разработанный метод исследований потребовал модификации исходного теоретического базиса мореходности и СТК: сформулированы теоремы, аксиомы, определения и утверждения применительно к сложным задачам NN-систем. Эволюция NN-систем и ее реализация на основе динамической модели СТК представляют собой частные случаи общего пространства взаимодействия и отображений, используемых в современной КМ.

1.2. Нестационарная мореходность судов

Рассматриваемые вычислительные технологии программной среды исследования мореходности базируются на фундаментальных результатах, полученных при исследовании концепции «климатического» спектра морского волнения, нестационарных ветровых потоков и методах оценки эволюционной динамики судна на основе СТК.

Динамика внешней среды. Гидродинамическая модель волнения в спектральной форме представлена как уравнение баланса волновой энергии [10]:

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial N}{\partial \varphi} \dot{\varphi} + \frac{\partial N}{\partial \theta} \dot{\theta} + \frac{\partial N}{\partial k} \dot{k} + \frac{\partial N}{\partial \beta} \dot{\beta} + \frac{\partial N}{\partial \omega} \dot{\omega} = G. \quad (1.8)$$

Здесь N — спектральная плотность волнового действия, которая является функцией от широты φ , долготы θ , волнового числа k и угла β между направлением волнового вектора и параллелью, а также от частоты ω и времени t . Это уравнение связывает между собой явления притока энергии от ветра, диссипации и ее перераспределения и нелинейного взаимодействия между частотными составляющими процесса волнения.

На рисунке 1.4 приведен пример классификации частотно направленных спектров для Баренцева моря.

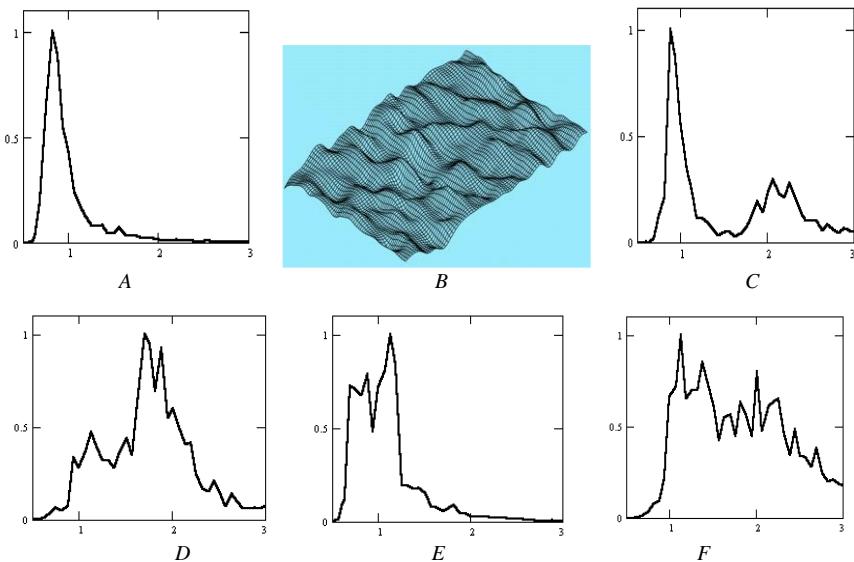


Рис. 1.4

Типовые нормированные спектры морского волнения

Здесь выделено 6 классов морского волнения: A — зыбь; B — трехмерная модель ветрового волнения; C — смешанное волнение с разделением систем и преобладанием зыби; D — смешанное волнение с разделением систем и преобладанием ветрового волнения; E — смешанное волнение без разделения систем с преобладанием зыби; F — смешанное волнение без разделения систем с преобладанием ветрового волнения. Градуировка на графиках спектральной плотности $S(\omega)/S_{\max}$ по вертикальной оси; ω , с^{-1} по горизонтальной оси.

Динамика ветровых потоков. Воздействие ветра моделируется в зависимости от рассматриваемой ситуации. Наибольшее распространение получили схемы воздействия ветра, принятые в системах нормирования остойчивости. Аппроксимации функции $P(t)$, определяющей давление ветра, имеют вид:

$$\text{а) } P(t) = \begin{cases} P, & t \geq t_0; \\ 0, & t < t_0; \end{cases} \quad \text{б) } P(t) = \begin{cases} P, & t_1 \leq t \leq t_0; \\ 0, & t < t_0, t > t_1; \end{cases} \quad (1.9)$$

$$P(t) = \begin{cases} P_0, & t < t_0; \\ P_0 + \Delta P, & t \geq t_0. \end{cases} \quad (1.10)$$

Первое представление (1.9a) связано с внезапным нарастанием силы давления ветра при шквале от нуля до конечной величины P . Вторая схема (1.9б) аналогична первой, но с учетом продолжительности шквала. Согласно третьей схеме (1.10) предполагается, что до порыва ветра уже существовал ветер силой P_0 и в момент t_0 возникает скачок динамической нагрузки. Величину давления ветра $P(t)$ определяют по справочнику [42]. В более сложных ситуациях используют представление ветровых потоков в процессе решения задачи взаимодействия геофизических полей (рис. 1.5) [10].

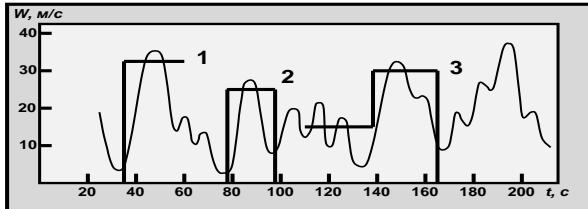


Рис. 1.5

Фрагмент реализации ветрового потока:
цифрами 1, 2, 3 обозначены схемы, представленные ступенчатыми функциями

На этом рисунке показан фрагмент реализации ветрового потока (флуктуации сглажены) совместно с данными измерений. Такое представление позволяет моделировать динамику судна в условиях нестационарных порывов ветра и нерегулярного волнения.

Динамика взаимодействия. Математическое описание пространственного движения судна описывается с помощью нелинейной матричной модели [10]:

$$X' = \Phi(X, U, W, t), \quad (1.11)$$

где X, U, W — матрицы-столбцы (векторы) переменных состояния, управляющих и возмущающих воздействий; Φ — нелинейная векторная функция, представляющая собой матрицу-столбец скалярных нелинейных функций, число которых совпадает с числом переменных состояния:

$$X = \begin{bmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix}, U = \begin{bmatrix} u_1 \\ \vdots \\ u_r \end{bmatrix}, W = \begin{bmatrix} w_1 \\ \vdots \\ w_m \end{bmatrix}, \Phi = \begin{bmatrix} \phi_1 \\ \vdots \\ \phi_n \end{bmatrix}. \quad (1.12)$$

Реализация системы (1.11) осуществляется на основе различных интерпретаций поведения судна в нестационарной среде: уравнение Фоккера — Планка, модифицированные модели Дуффинга и Матье [1], а в ряде приложений [10], [33], [40] в виде:

а) дифференциальных уравнений бортовой, вертикальной и килевой качки:

$$\begin{aligned} (Jx + \mu\theta)\theta'' + M_R(\theta') + M(\theta, \phi, t) &= M(t); \\ (D/g + \mu\zeta)\zeta'' + v\zeta' + \rho g S \zeta + \mu\zeta x_1 \psi'' + (v\zeta\psi - v_0\mu\zeta)\psi' + \\ &+ (\rho g Sl - v_0 v \zeta)\psi &= F_\zeta(t); \\ (Jy + \mu\psi)\psi'' + [v\zeta + (v_0/\sigma^2)v\zeta] \psi' + (DH\psi - v_0^2 \mu\zeta)\psi + \\ &+ \mu\zeta x_1 \zeta'' + (v\zeta\psi + v_0\mu\zeta)\zeta' + (\rho g Sl + v_0 v \zeta) &= F_\psi(t); \end{aligned} \quad (1.13)$$

Конец ознакомительного фрагмента.
Приобрести книгу можно
в интернет-магазине
«Электронный универс»
e-Univers.ru