

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ УКРАИНЫ
Севастопольский приборостроительный институт
Киевский ордена Трудового Красного Знамени
инженерно-строительный институт

КУЗНЕЦОВА Ирина Алексеевна

На правах рукописи

**ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ
И РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ
КАЧЕСТВЕННОГО АНАЛИЗА
ОСТОЙЧИВОСТИ СУДНА НА ВОЛНЕНИИ**

05.01.01 — Прикладная геометрия и инженерная графика
05.08.01 — Теория корабля

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук



00819736 (Y)

Работа выполнена в Севастопольском приборостроительном институте и Киевском ордена Трудового Красного Знамени инженерно-строительном институте.

Научные руководители: доктор технических наук, профессор **Нечаев Ю. И.**; кандидат технических наук, доцент **Плоский В. А.**

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор **Филиппов П. В.**; доктор технических наук, профессор **Холодильни А. Н.**

Ведущая организация — Центральное конструкторское бюро «Коралл» (г. Севастополь).

Защита состоится «*21*» *окт* 1992 г. в *13* час. на заседании специализированного совета Д 068.05.11 в Киевском ордена Трудового Красного Знамени инженерно-строительном институте, 252037, Киев, Воздухофлотский проспект, 31, аудитория 319.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Киевского инженерно-строительного института.

Автореферат разослан «*21*» *сент* 1992 г.

Ученый секретарь специализированного совета
кандидат технических наук, доцент

ПЛОСКИЙ В. А

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

А к т у а л ь н о с т ь. Проблема устойчивости на волне ли - одна из актуальных в судостроении. По подсчетам американских океанографов Рехнитцера и Терри, начиная с 1902 года, в среднем за год гибнет 398 судов. Гибель судов от потери устойчивости - одна из тяжелейших морских катастроф, часто несущая гибель всему экипажу.

Учение об устойчивости относится к одному из наиболее развивающихся направлений динамики судна на волнении. Накопление новых данных обогащает не только практику проектирования судов, но и приводит к совершенствованию самой теории устойчивости, уточнению методов ее оценки в различных условиях эксплуатации.

Одним из важных направлений современного исследования проблемы является разработка теоретических методов оценки устойчивости на базе эффективного математического аппарата, приспособленного для изучения переходных режимов в существенно нелинейных динамических системах. Сложность анализа устойчивости судна на волнении с помощью нелинейных математических моделей приводит к необходимости использования качественной теории дифференциальных уравнений, в основе которой лежат общие теоремы о существовании и единственности решений, о непрерывной зависимости решений от начальных условий и параметров. Широкое внедрение быстродействующих ЭВМ способствует изучению качественной стороны явления на длительных интервалах времени. Вычислительный эксперимент позволяет воспроизвести множество вариантов взаимодействия судна с внешней средой для различных условий задачи. Успешное развитие этого направления в значительной степени связано с прогрессом математики и вычислительной техники. Особенно велико в настоящее время взаимообогащение идей нелинейной механики с геометрией, в том числе геометрическим моделированием сложных физических объектов и процессов. В прикладной геометрии развиваются методы моделирования, предназначенные, в частности, для геометрического описания электростатических и тепловых полей, взаимодействия инструмента и разбуриваемой породы, связи формы объекта с его напряженно-деформированным состоянием и т.д. Таким образом, создание методики исследования, основанной на использовании графо-аналитических моделей, позволило бы усилить методы и средства

качественного анализа сложных динамических систем, получить новые теоретические и практические результаты, характеризующие поведение судна под воздействием внешних возмущений, и на этой основе разработать компьютерную графическую систему для реализации процесса в реальном масштабе времени, математическое ядро которой будет основано на методах прикладной геометрии.

Ц е л ь р а б о т ы. Разработать практические рекомендации и программные средства, позволяющие прогнозировать остойчивость судна на волнении с помощью методов графо-аналитического анализа картин поведения судна на длительных интервалах времени как сложной динамической системы.

Для реализации указанной цели в работе были поставлены следующие задачи:

- выполнить графо-аналитические исследования фазовых траекторий, характеризующих колебательное движение при крене и опрокидывании судна на волнении;
- построить и исследовать свойства и особенности поверхностей сепаратрис, фазовых траекторий вынужденного движения, а также разработать алгоритм их пересечения;
- исследовать особенности детерминированного хаоса в фазовых портретах динамики судна на волнении;
- разработать алгоритмы и машинно-ориентированную методику определения условий опрокидывания судов на волнении с целью создания на ее основе базы знаний экспертной системы;
- создать программное обеспечение, реализующее разработанные алгоритмы и внедрить полученные результаты в практику.

М е т о д и к а и с с л е д о в а н и й. Для решения поставленных задач применены методы начертательной, аналитической геометрии, топологии, качественного анализа дифференциальных уравнений, численных методов и вычислительной геометрии, методов прикладного программирования.

Теоретической базой проведенных исследований явились работы:

- по вопросам начертательной, аналитической и дифференциальной геометрии, численных методов: А.В.Бусенникова, Е.А.Волкова, М.Я.Выгодского, Н.В.Ефимова, М.Пратта, Ф.Препараты, А.Фокса, Н.Ф.Четверухина, М.Шеймоса и других;

- по вопросам качественного анализа дифференциальных уравнений: В.И.Арнольда, Н.Н.Баутина, Л.Н.Белюстиной, Е.А.Леонтович, А.Пуанкаре, Л.С.Понтрягина, В.А.Табуевой, Г.Шустера и других;
- в области автоматизированного проектирования и машинной графики: И.Гардана, В.Гиллоя, А.Г.Горелика, И.И.Котова, Д.Мак-Кракена, В.Е.Михайленко, У.Ньюмена, В.А.Осипова, В.С.Полозова, М.Д.Принса, В.С.Уокера, Р.Форсайта, С.А.Фролова и других;
- в области топологии: П.С.Александрова, Аносова Д.В., Дж.Бирман, К.Куратовского, Дж.Милнора, С.Смейла, М.Хирша и других;
- по вопросам теории корабля: С.Н.Благовещенского, И.Н.Бородая, Д.Л.Воробьева, В.В.Луговского, В.А.Некрасова, Д.И.Нечаева, Ю.В.Ремеза, Н.Б.Севостьяновс, Б.В.Семенова-Тян-Шанского, В.Г.Сизова, Г.А.Широва, А.Н.Холодильникова и других.

Научную новизну диссертационной работы составляют:

- графо-аналитический подход к исследованию поведения судна на волнении и выполненный на этой основе анализ устойчивости для различных внешних возмущений;
- метод определения условий опрокидывания, основанный на алгоритме пересечения фазовой траектории с поверхностью сепаратрис и выделении зон неустойчивости;
- геометрическое исследование детерминированного хаоса в фазовых портретах динамики судна на волнении;
- нахождение устойчивой скорости дрейфа и неблагоприятной частоты, приводящей к опрокидыванию судна.

Практическая ценность работы состоит в создании метода и программных средств для экспресс-анализа устойчивости судна в условиях эксплуатации при разработке базы знаний экспертной системы мониторинга мореходных качеств судов.

На защиту выносятся: положения, представляющие научную новизну и программное обеспечение задачи об опрокидывании судна на волнении.

Реализация работы. Практическое внедрение результатов диссертационной работы осуществлено:

- при построении базы знаний экспертной системы мониторинга мореходных качеств судов, разработанной фирмой НОВИНТЕХ-НИТРО советско-болгаро-финского концерна "Новые информационные технологии"

с ожидаемым годовым эффектом 25 тыс.руб.;

-- в учебном процессе кафедры начертательной геометрии и графике Севастопольского приборостроительного института для специальности 14.01.

А п р о б а ц и я р а б о т ы. Основные положения диссертационной работы доложены на IX научно-методическом семинаре "Инженерная и компьютерная графика" (г.Севастополь,1989г.), X Всесоюзном научно-методическом семинаре "Инженерная и машинная графика" (г.Полтава,1991г.), на Международной научно-технической конференции "Проблемы графической технологии" (г.Севастополь,1991г.), на семинаре "Комплексная подготовка инженеров в новых социально-экономических условиях"(г.Севастополь,1992), на 52, 53 научно-практических конференциях КИСИ (г.Киев,1991-1992г.г.).

С т р у к т у р а р а б о т ы и о б ъ е м р а б о т ы. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка использованной литературы из 144 наименований и содержит 95 страниц текста, 43 рисунка.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В о в в е д е н и и обоснована актуальность исследований, выполнен критический анализ литературных источников и достижений в рассматриваемой предметной области. Показана и обоснована необходимость применения методов прикладной геометрии в решении задач, поставленных в работе, сформулированы цель и задачи исследования.

В п е р в о й г л а в е произведен анализ математических моделей поведения судна на волнении. Исследуемая ситуация описывается системой нелинейных уравнений вида $F(x, \dot{x}, \ddot{x}, t) = 0$. В общем случае это 6 уравнений колебательного движения судна относительно центральных осей. Привлекая закономерности колебательного движения судна на волнении, выявленные в процессе экспериментальных исследований методами математического и физического моделирования, можно упростить исходную систему и в зависимости от положения судна относительно волны рассматривать систему дифференциальных уравнений, описывающих вращательное движение судна относительно продольной центральной оси (бортовая качка) и поперечное движение (дрейф) под

воздействием шквала:

$$(\mathcal{J}_x + \mu_{\theta\theta})\ddot{\theta} + M_R(\dot{\theta}) + M(\theta, t) = M_x(t), \quad (1)$$

$$(D/g + \mu_{\eta\eta})\ddot{\eta} + Q(\dot{\eta}) = P(t), \quad (2)$$

где $(\mathcal{J}_x + \mu_{\theta\theta})\ddot{\theta}$ - момент инерции массы судна вместе с присоединенной массой воды относительно центральной продольной оси; $M_R(\dot{\theta})$ - момент демпфирующих сил, $M(\theta, t)$ - восстанавливающий момент, $(D/g + \mu_{\eta\eta})\ddot{\eta}$ - масса судна вместе с присоединенной массой воды, $P(t)$ - аэродинамическая и $Q(\dot{\eta})$ - гидродинамическая силы, $M_x(t)$ - кренящий момент, описываемый детерминированной функцией

$$M_x(t) = [P(t)z_p + Q(\dot{\eta})z_q] \cos\theta - \mu_{\eta\theta}\ddot{\eta}, \quad (3)$$

где z_p и z_q - аппликаты точек приложения сил $P(t)$ и $Q(\dot{\eta})$; $\mu_{\eta\theta}$ - присоединенный статический момент при ускоренном дрейфе. Восстанавливающий момент судна, движущегося на волнении,

$$M(\theta, t) = D \{l(\theta) + \Delta l(\theta, t) \cos[\sigma_k t - \varepsilon(t)]\}, \quad (4)$$

где $l(\theta)$ - плечо статической остойчивости, аналитическое представление которого при аппроксимации полиномиальной зависимостью имеет вид

$$l(\theta) = a_0\theta + a_1\theta^2 + a_2\theta^3 + \dots + a_n\theta^{n-1}. \quad (5)$$

Компонента $M(\theta, t)$ придает уравнению (1) существенно нелинейный характер.

Принципиальное отличие принятого в работе подхода (см. диссертации В.М.Беленького и Фам Нгок Хое) состоит в использовании нелинейного дифференциального уравнения с периодическими коэффициентами в качестве теоретической модели. Линеаризация уравнения сводит его к стандартной форме уравнения Матье.

Для простоты и наглядности исследования исходной математической модели используем метод фазовой плоскости, представляющей совокупность всех возможных состояний динамической системы в виде ориентированных кривых (фазовых траекторий), образованных движением изображающей точки. Множество фазовых траекторий образует фазовый портрет динамической системы. Эта геометрическая интерпретация позволяет представить эволюцию процесса движения судна при динамическом наклонении в фазовых координатах "угол крена θ - угловая скорость $\dot{\theta}$ ", которые рассматриваются как координаты изобра-

какой точки. Если скорость $\dot{\theta}$ и ускорение $\ddot{\theta}$ одновременно равны нулю, то фазовая траектория вырождается в особую точку (седло), являющуюся точкой неустойчивого равновесия. Фазовые траектории, проходящие через седловую точку, образуют сепаратрисы $S(\theta, \dot{\theta})$ - "разделяющие" области неустойчивого и устойчивого движения. Точка, расположенная под сепаратрисой, определяет вектор начальных условий устойчивого автономного движения, над ней - вектор начальных условий, приводящих к опрокидыванию. Если рассматривать пространственное движение судна, описываемое дифференциальными уравнениями (1) и (2), то к указанным фазовым координатам $\theta - \dot{\theta}$ добавится третья координата $\dot{\eta}$, характеризующая скорость дрейфа. Тогда вместо фазовой плоскости $(\theta, \dot{\theta})$ используется фазовое пространство $(\theta, \dot{\theta}, \dot{\eta})$, а вместо сепаратрисы $S(\theta, \dot{\theta})$ - поверхность сепаратрис $S(\theta, \dot{\theta}, \dot{\eta})$. Добавляя пространственную кривую - фазовую траекторию вынужденного движения - и определяя ее пересечение с поверхностью сепаратрис, можно делать вывод об опрокидывании судна. В качестве седловой можно принять точку с координатами $x = \theta_v$, $y = 0$, где θ_v - угол заката диаграммы статической устойчивости, и представить сепаратрису как суперпозицию фазовых траекторий устойчивого и неустойчивого движения (ориентация на пересечение или отсутствие такового с осью $O\theta$). Это позволило построить и графо-аналитически исследовать поверхности сепаратрис для наиболее неблагоприятных режимов колебательного движения судна - основного и параметрического резонанса для подошвы, вершины, переднего и заднего склонов волны. Многочисленные вычислительные эксперименты, основанные на использовании средств компьютерной графики, показали, что отборочными элементами при выборе сепаратрис являются: - использование не более четырех знаков после запятой, - проверка на хаотичность поведения кривой в районе угла заката диаграммы Рида (на пересечение прямой, параллельной оси угла крена $\dot{\theta} = -0,1$), - проверка на пятикратное пересечение оси угловой скорости $O\dot{\theta}$ для режимов основного и параметрического резонанса.

Визуальный анализ горизонтальных проекций поверхностей сепаратрис показал, что все фазовые кривые устойчивого движения стремятся к определенной устойчивой скорости дрейфа (рис. 1). Фронтальные проекции сепаратрис свидетельствуют о смещении точки максимума от плоскости скоростей крена и дрейфа в сторону увеличения угла

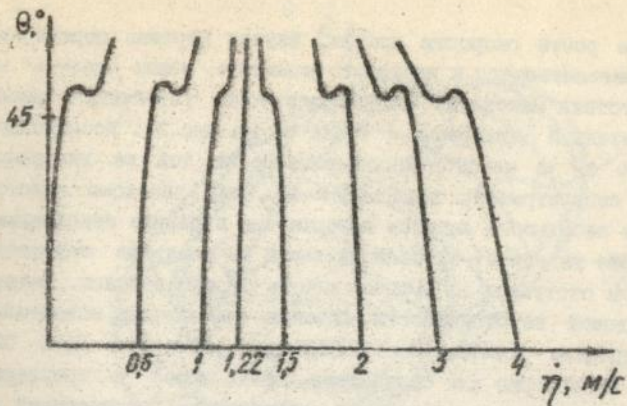


Рис. 1

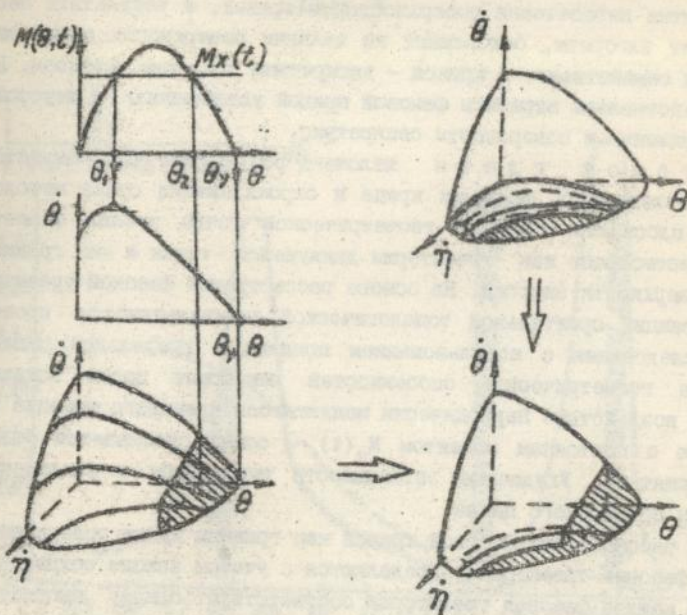


Рис. 2

крена по мере роста скорости дрейфа. Изучая картины пересечения кривых восстанавливающего и кренящего моментов, можно сделать вывод о соответствии максимума сепаратрисы точке устойчивого равновесия вышеуказанной диаграммы (точка θ_1 на рис.2). Исследования показали, что точка неустойчивого равновесия той же диаграммы, связанная с сепаратрисой, показывает на зону заведомо неустойчивую. Анализ небольшого выброса поверхности в районе максимальной скорости дрейфа указывает на наличие такой же заведомо неустойчивой зоны, если отступить на $1/3$ по высоте от сепаратрисы. Начатая в зоне заведомой неустойчивости фазовая траектория обязательно выйдет за пределы поверхности сепаратрис. Получены HARD COPY поверхностей сепаратрис для судна типа "река-море" и траулера - рыбзавода. Выполнен вычислительный эксперимент, основанный на переборе различных вариантов задания поверхностей сепаратрис и фазовых траекторий с целью обоснования выбора наиболее оперативного алгоритма пересечения поверхностей и кривых, в результате чего был принят алгоритм, основанный на задании поверхности двумя линейчатыми семействами, а кривой - дискретным точечным каркасом. На рис.3 представлены варианты фазовой кривой устойчивого и неустойчивого движения и поверхности сепаратрис.

Во второй главе изложены результаты графо-аналитических исследований динамики крена и опрокидывания судна методом фазовой плоскости (88). С геометрической точки зрения фазовая кривая рассмотрена как траектория движущейся точки и как граница куска поверхности энергии. На основе рассмотрения фазовой траектории с позиций орбитальной топологической эквивалентности проведены исследования с использованием понятия о предельном цикле. Сравнение геометрических особенностей векторных полей показывает, что воздействие периодически меняющегося кренящего момента по сравнению с постоянным моментом $M_x(t) = \text{const}$ оказывается более неблагоприятным. Ухудшение устойчивости выражается в увеличении амплитуды предельного цикла.

При рассмотрении фазовой кривой как границы куска поверхности энергии фазовые траектории определяются с учетом закона сохранения энергии: каждая фазовая траектория соответствует одному множеству уровня энергии. Установлены графические зависимости между потенциальной энергией и фазовыми кривыми для различных математических

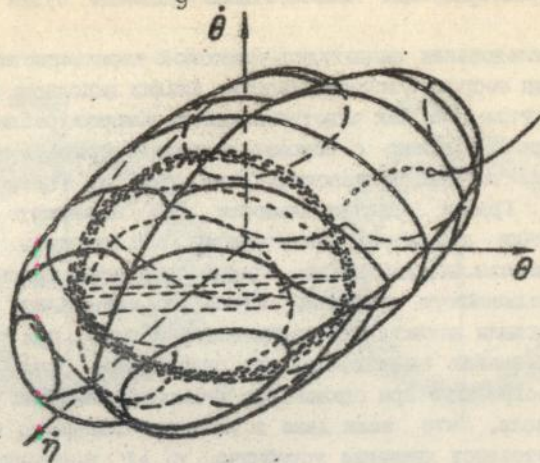


Рис. 3

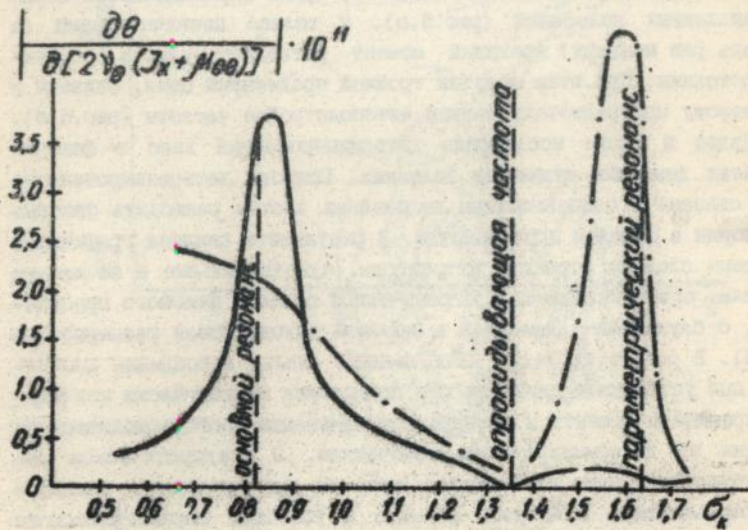


Рис. 4

моделей, характеризующих колебательное движение судна на волнении.

Для исследования амплитудно-частотной характеристики использованы методы теории чувствительности. Анализ выполнен графо-аналитическим путем, так как чувствительность влияния различных параметров удобно определять с помощью огибающей графика колебательного движения частных производных угла крена от параметров уравнения (I). График чувствительности для линейного уравнения бортовой качки аналогичен полученному В.В.Михненко с нулевой чувствительностью по параметрам. Графические исследования для существенно нелинейного уравнения качки на длительных интервалах времени позволили выявить неблагоприятную частоту, при которой для линейного уравнения чувствительность равна нулю (рис.4). Фазовые портреты, построенные при одинаковых начальных условиях для разных частот показали, что если даже в условиях основного и параметрического резонанса движение устойчиво, то для выявленной частоты при приложении кренящего момента значительно меньшего опрокидывающего при других частотах, судно после нескольких наклонений опрокидывается. Даже при приложении кренящего момента, который на порядок меньше первоначально заданного, судно опрокидывается после многочисленных колебаний (рис.5,а). И только незначительный (в двадцать раз меньший) кренящий момент оставляет судно в устойчивом состоянии. При этом получен тройной предельный цикл, близкий к получаемому при радиотехнической автоподстройке частоты (рис.5,б).

Далее в главе исследован детерминированный хаос в фазовых портретах динамики судна на волнении. Природа детерминированного хаоса связана с особенностями нелинейных систем разводить фазовые траектории в фазовом пространстве. В результате анализ графически построены сложные странные аттракторы, чувствительные к начальным условиям, притягивающиеся к ограниченной области фазового пространства, с блуждающим движением и дробной хаусдорфовой размерностью (рис.6). В работе проведен качественный анализ зародившей хаотичности при устойчивом движении при приложении периодически меняющегося кренящего момента и постепенном изменении многопериодического движения на детерминированно-хаотическое. В предкризисном режиме обнаружено явно хаотическое движение при приложении близкого к опрокидывающему кренящего момента в условиях параметрического

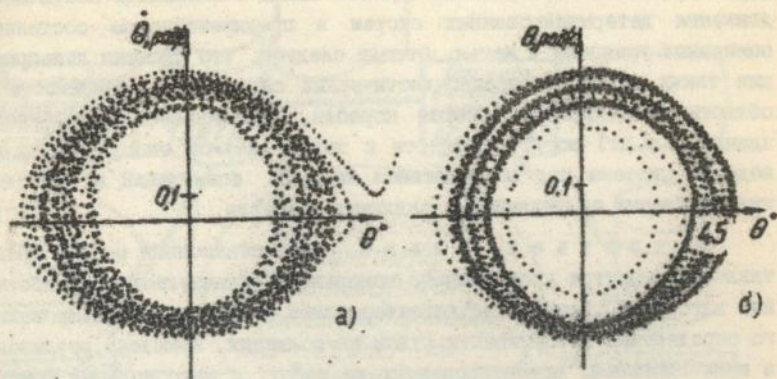


Рис. 5

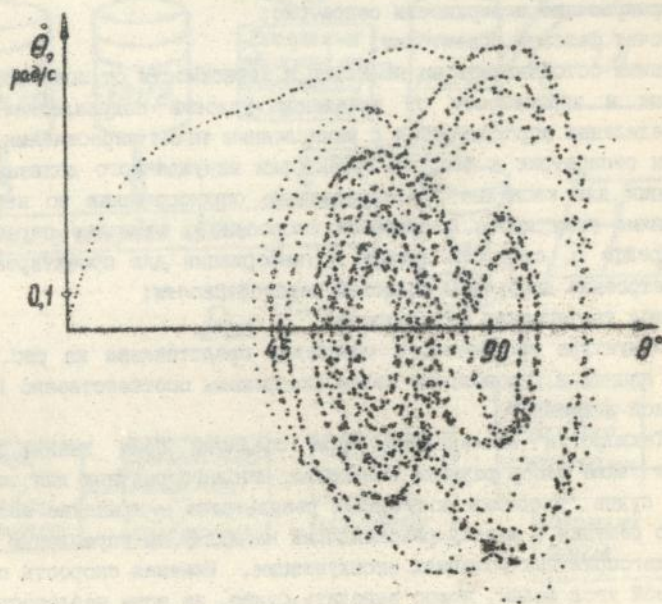


Рис. 6

резонанса. Сводя исходную математическую модель к стандартной форме уравнения Матье, можно сделать вывод о возможной хаотичности движения детерминированных систем в предкритическом состоянии, описанных уравнением Матье. Отсюда следует, что попытки линеаризации таких детерминированно-хаотических систем вне зависимости от области исследования (теория корабля, сейсмическая устойчивость зданий и т.д.) могут привести к потере важной информации о поведении системы под воздействием внешних возмущений и ошибочной интерпретации ее динамики в заданных условиях.

В третьей главе диссертационной работы представлена структура программного комплекса, реализующего разработанные алгоритмы. Дана общая характеристика метода автоматизированного определения устойчивости судов на волнении. Комплекс реализован в виде программ, ориентированных на работу с персональным компьютером и предполагает использование средств компьютерной графики. Комплекс структурирован по пяти задачам, разделенным по функциональному признаку:

- формирование поверхности сепаратрис;
- расчет фазовой траектории;
- оценка устойчивости на волнении в зависимости от конечной цели, которая в зависимости от начальных условий подразделяется на: а) определение опрокидывания с вычислением точки пересечения поверхности сепаратрис и фазовой траектории вынужденного движения (информация для капитана); б) определение опрокидывания по начальным условиям: углу крена θ , угловой скорости $\dot{\theta}$, величине перемещения при дрейфе η , скорости дрейфа $\dot{\eta}$ (информация для проектировщика);
- построение диаграммы областей неустойчивости;
- вывод графических результатов.

Структура программного комплекса представлена на рис.7, где поток данных и управляющие связи изображены соответственно двойной и тонкой линией.

Технология исследования при создании базы данных предполагает также выбор режимов, наиболее неблагоприятных для устойчивости судна, а оценка полученных результатов - принятие окончательного решения и выдачу рекомендаций капитану по управлению судном в неблагоприятных условиях эксплуатации. Изменяя скорость судна и курсовой угол волны, можно выводить судно из зоны неблагоприятной

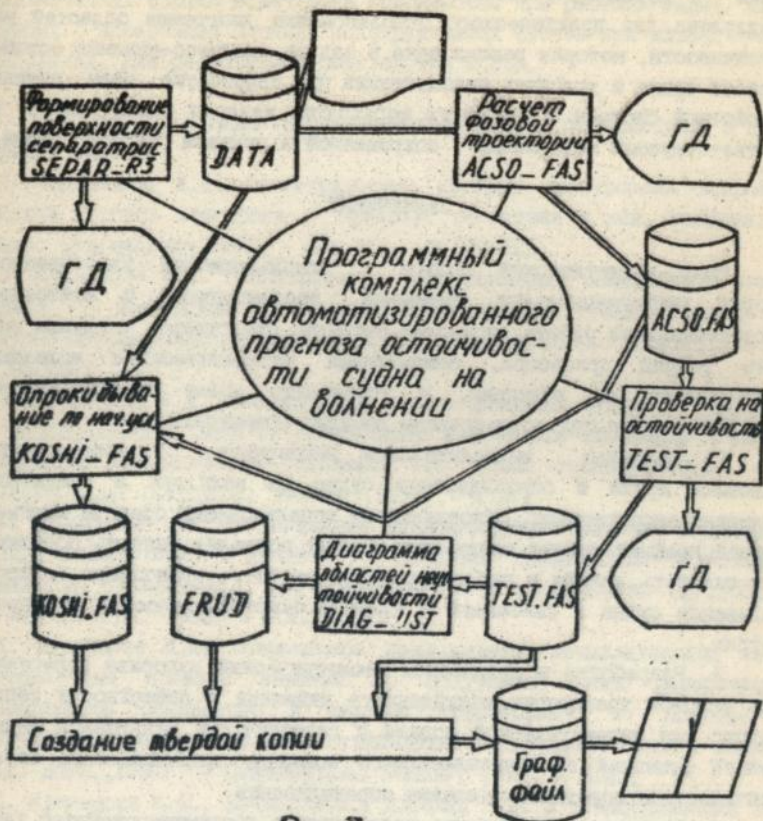


Рис. 7

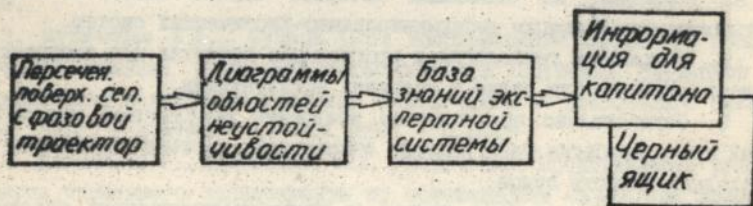


Рис. 8

качки и пониженной устойчивости. На этой основе разработана и предложена для практического использования диаграмма областей неустойчивости, которая реализована в задаче экспресс-анализа устойчивости судна в условиях эксплуатации при разработке базы знаний экспертной системы мониторинга мореходных качеств судов (рис.8) и соответствующей информации, сохраняемой в судовом "черном" ящике.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Графо-аналитический подход с использованием качественной теории дифференциальных уравнений, рассмотренный в настоящей диссертационной работе, позволил наглядно представить и глубже понять теорию процессов, описываемых математическими моделями устойчивости на волнении, и установить новые закономерности поведения судна под воздействием внешних возмущений.

1. Проведен вычислительный эксперимент по исследованию динамики крена и опрокидывания судна на волнении в различных условиях эксплуатации. Основанный на использовании средств компьютерной графики анализ полученных данных позволил выявить постоянную скорость дрейфа и неблагоприятную частоту, приводящую к опрокидыванию судна и связанную с нулевой чувствительностью по параметрам.

2. Разработан и реализован геометрический алгоритм пересечения фазовой траектории вынужденного движения и поверхности сепаратрис для математической модели с гармонически меняющейся нелинейной функцией восстанавливающего момента, выделена зона неустойчивости и определены условия опрокидывания.

3. Выполнено графическое исследование детерминированного хаоса в предкритическом и закритическом состоянии устойчивости судна на волнении, на основании которого сделан вывод о недопустимости линеаризации детерминированно-хаотических систем.

4. Предложена технология и программные средства для экспресс-анализа устойчивости судна в условиях эксплуатации.

5. Осуществлено практическое внедрение результатов исследования при разработке базы знаний экспертной системы мониторинга мореходных качеств судов.

Примененный в работе подход к графо-аналитическому анализу

динамических систем может быть использован при решении задач, связанных с поведением сложных конструктивных систем при динамических нагрузках, для радиотехнических систем и т.д.

Основные положения диссертационной работы опубликованы в следующих работах:

1. Кузнецова И.А. Геометрический алгоритм построения выкройки листов корпуса плавкрана // Приклад. геометрия и инж. графика. - Киев: БудІвельник, 1991. - Вып.51. - С.120-123,

2. Кузнецова И.А. Геометрическое моделирование поверхности плавкрана // Инженерная и компьютерная графика: Тезисы докл. IX научно-методического семинара, 1989г. - Севастополь: СВВМУ, 1989. - С.95-96,

3. Кузнецова И.А. Качественный анализ динамики судна на волнении с использованием ПЭВМ // Комплексная подготовка инженеров в новых социально-экономических условиях: Тез. докл. семинара, 1992г. - Севастополь: СФРДЭНТЭО "Знание", 1992. - С.37,

4. Кузнецова И.А. О выявлении опрощивающей частоты с помощью графо-аналитического анализа // Проблемы графической подготовки инженера: Тезисы докл. научно-методической конференции СНГ, 1992г. - Минск: БГПА, 1992. - С.127-128,

5. Кузнецова И.А. Современное преподавание вычислительной геометрии (на примере занятия по получению точки пересечения поверхности сепаратрис и фазовой траектории). // Подходы в улучшении профессионального становления выпускников высшей школы: Тез. докл., 1992г. - Севастополь: СВВМУ, 1992. - С.39,

6. Кузнецова И.А., Нечаев Д.И., Плоский В.А. О геометрических вопросах проблемы устойчивости судна на волнении // Приклад. геометрия и инж. графика. - Киев: БудІвельник, 1992. - Вып.53. - С.44 - 46.

7. Кузнецова И.А., Сучков О.Л. Использование элементов компьютерной графики и теории катастроф при обучении студентов // Инженерная и машинная графика: Тезисы докл. X Всесоюзного семинара, 1991г. - Полтава: ПолТИСИ, 1991. - С.108,

8. Плоский В.А., Кузнецова И.А. Графическое представление результатов численного эксперимента по устойчивости судов при волнении // Тезисы докл. 52й научно-практической конференции КИСИ, 1991г. -

Київ: КИСИ, 1991. - С.28.

Робота присвячена розв'язку деяких задач остійкості суден на хвилюванні за допомогою методів графо-аналітичного моделювання та якісної теорії диференціальних рівнянь. Комплексне використання геометричних, топологічних та диференціальних підходів дозволило встановити ряд нових закономірностей стосовно теорії корабля, як от: знаходження постійної швидкості дрейфу, виявлення частоти перевертання судна при нульовій чутливості по параметрах, встановлення зон нестійкого стану всередині поверхні сепаратрис та умов перевертання, обґрунтування недопустимості лінеаризації детерміновано-хаотичних систем.

На основі розроблених моделей та алгоритмів створено програмний комплекс та технології експрес-аналізу остійкості для різних умов експлуатації.

Підписано к печати 16.09.91 Объем 1 п. л.
Формат 60x84¹/₁₆. Заказ 267 Тираж 100 экз
Типография ВА ПВО СВ.

462917

AB 25.594

AB 25.594