Амбросовский, Виктор Михайлович. Теоретические и прикладные основы безопасности управляемого движения скоростных судов : диссертация ... доктора технических наук : 05.13.01 / Амбросовский Виктор Михайлович; [Место защиты: ГОУВПО "Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет "ЛЭТИ""].- Санкт-Петербург, 2010.- 365 с.: ил.

Санкт-Петербургский государственный

электротехнический университет «ЛЭТИ»

им.В.И.Ульянова (Ленина)

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРИКЛАДНЫЕ ОСНОВЫ БЕЗОПАСНОСТИ

УПРАВЛЯЕМОГО ДВИЖЕНИЯ СКОРОСТНЫХ СУДОВ

Специальность 05.13.01 - Системный анализ, управление и обработка

информации (технические системы)

Диссертация

на соискание ученой степени

доктора технических наук

Научный консультант: доктор технических наук, профессор,

заслуженный деятель науки РФ Лукомский Юрий Александрович

Санкт-Петербург - 2010

ОГЛАВЛЕНИЕ

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ СОКРАЩЕНИЙ 7

ВВЕДЕНИЕ 9

1. ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СТРУКТУРЫ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ СКОРОСТНЫХ СУДОВ 18

1.1. Постановка задачи 18

1.2. Основные задачи управления движением скоростных судов 19

1.3. Особенности скоростных судов как объектов управления в нормальных

эксплуатационных режимах и аварийных ситуациях 21

1.3.1. Особенности СВП как объекта управления в нормальных эксплуатационных

режимах и аварийных ситуациях 21

1.3.2. Особенности СПК и ГС как объектов управления в нормальных

эксплуатационных режимах и аварийных ситуациях 34

1.4. Анализ существующих систем автоматического управления движением

скоростных судов 48

1.4.1. САУД «Шторм» 48

1.4.2. САУД FICS-3 49

1.4.3. САУД фирмы Maritime Dinamics, Inc 50

1.4.4. САУД «Хризолит-32» 50

1.4.5. Интегрированная система навигации и управления СВП 52

1.5. Обоснование функциональных структур алгоритмов управления систем

автоматического управления движением скоростных судов 55

1.5.1. Функциональные структуры систем стабилизации 59

1.5.2. Функциональные структуры систем предотвращения аварий 71

1.5.3. Функциональные структуры системы измерения параметров движения и

требования предъявляемые к ним 74

1.6. Функциональные структуры системы измерения параметров движения и

требования предъявляемые к ним 74

1.6.1. Состав измеряемых параметров движения 76

1.6.2. Измерительная система на базе интегрированного измерителя 77

1.6.3. Интегрированная система измерения параметров движения на базе

радиовысотомеров 80

1.6.4. Измерительная система с использованием гировертикалей 85

1.6.5. Сравнительный анализ предложенных измерительных схем 86

з .

1.7. Заключение 87

2 ОСОБЕННОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ СКОРОСТНЫХ СУДОВ 89

2.1. Введение 89

2.2. Особенности математической модели суднанавоздушной подушке

амфибийного типа 92

2.2.1. Уравнения пространственного движения СВПА 93

2.2.2. Силы и моменты, действующие на СВПА 95

2.2.3. Моделирование аварийных режимов движения СВПА 101

2.2.4. Модели бокового и продольного движения СВПА 104

22’.5. Исследование модели движения СВПА 106

2.3 Особенности математической модели глиссирующего катера 110

2.3.1. Системы координат и уравнения движения 111

2.3.2. Силы и моменты, действующие на ГС 112

2.3.3: Исследование математической модели глиссирующего катера 122

2.4 Особенности математической модели судна на подводных-крыльях 127

2.4.1. Уравнения движения СПК в продольной плоскости в крыльевом режиме 128

2.4.2. Нелинейная математическая модель продольной качки СПК для синтеза и

анализа алгоритмов управления 134

2.4.3. Линеаризованная математическая модель движения'СПК в продольной

плоскости 139

2.4.4. Передаточные функции линеаризованной математической модели движения-

СПК в продольной плоскости 141

2^5. Волновая ордината и ее спектральная плотность энергии 144

2.6. Волновое возмущение, действующее на судно 151

2.6.1. Постановка задачи 151

2.6.2. Силы и моменты от волнового дрейфа 152

2.6.3. Спектральные характеристики сил и моментов, действующих на судно 154

2.6.4. Спектральные характеристики сил и моментов, действующих на движущееся

судно 156

2.6.5. Моделирование сил и моментов, действующих на маневрирующее судно 157

2.6.6. Численное моделирование волнового возмущения как стохастического

процесса 158

2.6.7. Математическая модель волнового возмущения 165

2.6.8. Линейная математическая модель с некоррелированными возмущениями 167

2.7. Полигармоническая модель волнения 176

2.7.1. Моделирование воздействия полигармонического волнения на судно 180

2.8. Анализ моделей волнения 181

2.9. f Требования к модельным испытаниям СВПА 192

2.9.1. Требования к испытаниям в аэродинамической трубе 192

2.9.2. Требования к гидродинамической части модели (испытания в циркуляционном

бассейне) 193

2.9.3. Испытания в прямом бассейне и статические испытания модели 195

2.9.4. Требования к дополнительным данным для разработки математической

модели 196

2.10. " Методы обработки данных маневренных и мореходных испытаний 197

2.10.1. Фильтрация сбоев и скачков измерений 197

2.10.2. Сглаживание измерений в частотной областю 197

2.11. Идентификация\* математической модели движения СВПА 1 200

2.11.1. Структура идентифицируемого объекта 200

2.11.2. Модели для параметрической идентификации 201

2.11.3. Метод наименьших квадратов 203

2.11.4. Обобщенный МНК 205

2.11.5. Метод инструментальных переменных 206

2.11.6 Маневры для идентификации 207

2.11.7. Пример параметрической идентификации движения СВПА 210

2.12. Заключение 213

3. МЕТОДЫ СИНТЕЗА ЗАКОНОВ АВТОМАТИЧЕСКОГО УМЕРЕНИЯ КАЧКИ СКОРОСТНЫХ СУДОВ 215

3.1. Постановка задачи 215

3.2. Анализ существующих методов синтеза законов умерения качки скоростных

судов Постановка задачи 216

3.3. Методы синтеза законов умерения качки скоростных судов 218\*

3.3.1. Постановка задачи умерения качки 218

3.3.2. Преобразование объекта управления 222

3.3.3. Выбор весовых фильтров и преобразование объекта 225

3.3.4. Синтез регулятора умерения качки методами равномерно-частотной

оптимизации 232

3.3.5. Приведение регулятора умерения качки к виду динамической обратной связи по

выходу 235

3.4. Пример расчета регулятора умерения качки» 241

3.5. Определение областей комфортного движения 244

3.6. Заключение 248

4; МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОСТИ САУД СКОРОСТНЫХ СУДОВ 250

4.1. Постановка задачи 250

г

4.2. Математические модели датчиков информации и приводов управления с

учетом их отказов 252

4.2.1. Введение 252

4.2.2. Модели датчиков информации 253

4.2.3. Моделирование сбоев в АЦП 258

4.2.4. Модели средств управления 259

4.3. Анализ существующих методов обеспечения отказоустойчивости САУД 261

4.3.1. Задачи обеспечения отказоустойчивости САУД 261

4.3.2 Обнаружение и локализация отказа 262

4.4. Методы обеспечения отказоустойчивости 274

4.4.1. Постановка задачи 274

4.4.2. Алгоритм отказоустойчивой фильтрации 277

4.5. Примеры использования методов обнаружения, локализации и идентификации

отказов 281

4.5.1. Алгоритм фильтрации с обнаружением сбоев в измерительном канале

дифферента и угловой скорости дифферента скоростного катера 281

4.5.2. Алгоритма фильтрации с обнаружением сбоев в измерительном канале курса

СВП 285

4.5.3. Алгоритм фильтрации с обнаружением отказов по методу различения многих

гипотез в канале измерения высоты экраноплана 289

4.6. Заключение 292

5. МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ АВАРИЙ ДВИЖЕНИЯ СКОРОСТНЫХ СУДОВ 294\*

5.1. Введение 294

5.2. Определение областей безопасного движения 295

5.2.1. Определение области притяжения с использованием функций Ляпунова 295

5.2.2. Определение области притяжения методом интегрирования в обратном

времени 301

5.3. Методы синтеза законов предотвращения аварий движения СПК и СВП 303

5.3.1. Постановка задачи 303

5.3.2. Синтез противоаварийного закона, оптимального по быстродействию с

ограничением в виде области устойчивости 305

5.3.3... Другие виды противоаварийного управления 312

5.3.4. Пример противоаварийного закона управления СВПА 4

(боковое движение) 312

5.3.5. Пример противоаварийного закона управления СВПА

(продольное движение) 315

5.4. Заключение 316

ЗАКЛЮЧЕНИЕ 317

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 319

ПРИЛОЖЕНИЯ 331

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

«

В результате работы получены следующие основные результаты:

1. Новая концепция формирования\* структур систем, управления

движением и систем измерения, параметров движения\* скоростных судов, отличающаяся тем, что позволяет учитывать все необходимые особенности аппаратных средств\* и датчиков информации, особенности современных законов\* управления и позволяет формировать структуры систем автоматического- управления- для\* решения задач безопасного\* управления движением скоростных судов. '

1. Математические модели морского волнения и комплекс различного1 уровня, иерархии математических моделей скоростных, судов-отличительной\* особенностью которых является возможность учета динамики движения-этих судов- в сложных режимах движения, включая^ аварийные режимы, возможность, моделирования сил и моментов морского» волнения при непрерывном изменении курсам позволяющие проводить исследование алгоритмов управления» движением скоростных судов во всех\* режимах движения этих судов.
2. Метод обеспечения отказоустойчивости САУД скоростных судов, отличающийся использованием аппаратно-аналитической» избыточности, основанный на использовании фильтров Калмана, и позволяющий обеспечить обнаружение и локализацию отказов датчиков. информации и средств управления движением.
3. Метод синтеза регуляторов демпфирования качки скоростных судов, основанный на Я00 - теории оптимизации и отличающийся- использованием частотно-зависимых множителей в критерии качества, учитывающим при синтезе частотные свойства приводов органов управления и частотные свойства возмущения и позволяющий существенно сократить подстройку регуляторов при изменении скорости хода судна или изменении морского волнения.
4. Метод обеспечения безопасности движения скоростных судов,

основанный на удержание судна в области, безопасного? движения? судна; отличающийся- определением? областей безопасного? движения! судна? использующих оценку функций Ляпунова? и? позволяющий? разрабатывать? алгоритмы предотвращения-аварий движения во всех режимах управляемого движения скоростных судов. ,

1. Метод, проведения;, обработки? и анализа результатов натурных и. модельных испытаний судов. ,

Разработанные методы і юслужили основой для методик, алгоритмов и программного? обеспечения? проектирования? широкого класса- ЄАУД скоростных судов:

1’..Комплекс структур? систем? управления\* движением!' № систем? измерения параметров движения скоростных судов:

1. Алгоритмы- и пакет, программ?длящинтеза регулятора демпфирования

качки скоростного? судна: ,

1. Методика формирования весовых фильтров, позволяющих проводить перестройку регулятора демпфирования качки при изменении направления и интенсивности волнения.
2. Требования к методике проведения бассейновых испытаний судов на воздушной подушке; позволяющей? получить, полную нелинейную модель трехмерного движения такого судна с учетом отказов средств управления и аварий движения.
3. Методика и программное обеспечение параметрической идентификации математических моделей: скоростных судов, включающая специализированные маневры- судна для идентификации параметров математических моделей.
4. Алгоритмическое и программное обеспечение для? обнаружения и локализации отказов датчиков,информации и средств управления движением в САУД скоростных судов.

7: Метод синтеза регуляторов предотвращения аварий и расчета областей безопасного движения скоростных судов.