С.С. ГУСЕВ

**АЛГОРИТМЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПРОЦЕССА
ТЕПЛООТВОДА В ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩИХ СБОРКАХ
ВОДО-ВОДЯНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕАКТОРОВ
ПРИ АВАРИЙНЫХ РЕЖИМАХ**

Монография

Научно-инновационный центр
Красноярск, 2019

УДК 519.714.2
ББК 32.965.5
Г96

Рецензенты:

Е.Ф. Анисимов, канд. техн. наук, доцент кафедры «Электротехника»
(ФГБОУ ВО «Московский политехнический университет», Москва)

В.А. Левченко, канд. техн. наук, директор
(ООО Экспериментальный научно-исследовательский
и методический центр «Моделирующие Системы»,
г. Обнинск, Калужская область)

Гусев, С.С.
Г96 **Алгоритмы идентификации процесса теплоотвода в тепловыделяющих сборках водо-водяных энергетических реакторов при аварийных режимах:** Монография / С.С. Гусев. – Красноярск: Научно-инновационный центр, 2019. – 136 с.

ISBN 978-5-907208-11-7
doi: 10.12731/978-5-907208-11-7

Монография посвящена построению математической модели и разработке алгоритмов идентификации процесса теплоотвода для энергетической установки, в качестве примера которой принята тепловыделяющая сборка (ТВС) ядерного водо-водяного энергетического реактора (ВВЭР). Надежность и безопасность эксплуатации ВВЭР напрямую связаны с опытом и квалификацией обслуживающего персонала (оператора ВВЭР). Поэтому минимизация роли человеческого фактора в процессе принятия оператором АСУ ТП решения по управлению ВВЭР в значительной мере может быть обеспечена созданием системы информационной поддержки оператора АСУ ТП ВВЭР.

В монографии решается задача повышения точности прогнозирующей математической модели критического теплового потока в ТВС посредством специальной обработки априорных данных, обеспечивающей улучшение надежности и безопасности эксплуатации АСУ ТП ВВЭР.

Особенность работы заключается в совершенствовании математических моделей и методов управления балансовым паросодержанием и тепловым потоком, направленными на разработку модифицированного алгоритма идентификации для класса объектов автоматизированных систем управления технологическим процессом водо-водяными энергетическими реакторами. Для решения этой задачи автор, исходя из физической природы объекта управления, разработал новые модели и алгоритмы оптимизации управления физическим процессом в тепловыделяющей сборке водо-водяного энергетического реактора.

ISBN 978-5-907208-11-7

УДК 519.714.2
ББК 32.965.5

© Гусев С.С., 2019

© Оформление.

Научно-инновационный центр, 2019

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	7
ГЛАВА I. Идентификация автоматизированных систем управления технологическими процессами водо-водяных энергетических реакторов.....	13
1.1. Теоретические задачи в области идентификации.....	13
1.2. История развития идентификации.....	15
1.3. Моделирование объекта исследования.....	18
1.3.1. Управление моделью исследования.....	18
1.3.2. Методы управления параметрами модели.....	19
1.4. Методы оценивания состояния энергетических систем.....	19
1.5. Автоматизированные системы управления технологическими процессами водо-водяных энергетических реакторов.....	23
1.5.1. Классификация систем управления ТПТ ВВЭР.....	25
1.6. Идентификация ТПТ.....	26
1.6.1. Постановка задачи управления ТПТ.....	30
1.6.2. Объект исследования (ТПТ).....	31
1.6.3. Объект управления АСУ ТП.....	35
1.6.4. Цель исследования объекта управления ТПТ.....	37
1.6.5. Описание ОУ ТПТ для АЭС (ВВЭР-1000).....	38
1.6.6. Экспериментальные данные с ОУ ТПТ.....	43
1.6.7. Методы обработки данных с ОУ ТПТ.....	43
1.7. Выводы по первой главе.....	45
ГЛАВА II. Идентификация объектов исследования.....	47
2.1. Идентификация статических объектов.....	47
2.1.1. Многомерный статический объект.....	48
2.1.1.1. Уравнение объекта.....	48
2.1.1.2. Уравнение модели объекта.....	49
2.1.1.3. Постановка задачи идентификации.....	49
2.1.2. Исходные данные и основные обозначения.....	50
2.1.3. Алгоритм идентификации.....	52
2.1.3.1. Алгоритм отбора данных.....	52
2.1.3.2. Вычисление промежуточных оценок.....	53
2.1.3.3. Построение полного блока промежуточных оценок.....	53
2.1.3.4. Построение усеченного блока промежуточных оценок.....	55

2.1.3.5.	Алгоритм идентификации	56
2.1.3.6.	Обнаружение «плохих» экспериментов	57
2.1.4.	Пример идентификации статического объекта	58
2.1.4.1.	Исходные данные	58
2.1.4.2.	МНК оценки без учета априорной информации	59
2.1.4.3.	Переход в пространство параметров	59
2.1.4.4.	Учет априорных ограничений	61
2.1.4.5.	Возвращение в пространство исходных данных	62
2.2.	Идентификация динамических объектов	63
2.2.1.	Линейный динамический объект	63
2.2.1.1.	Структура линейного динамического объекта	63
2.2.1.2.	Структура модели динамического объекта	65
2.2.2.	Исходные данные	65
2.2.2.1.	Данные, получаемые с динамического объекта	65
2.2.2.2.	Преобразование исходных данных	66
2.2.3.	Алгоритм идентификации	68
2.2.3.1.	Выбор произвольных строк	68
2.2.3.2.	Вычисление промежуточных оценок	69
2.2.3.3.	Построение полного блока промежуточных оценок	70
2.2.4.	Алгоритм идентификации динамического объекта	71
2.2.5.	Пример идентификации динамического объекта	73
2.2.5.1.	Исходные данные	73
2.2.5.2.	МНК оценки без учета априорной информации	75
2.2.5.3.	Переход в пространство параметров	75
2.2.5.4.	Учет априорных ограничений	76
2.2.5.5.	Возвращение в пространство исходных данных	78
2.3.	Выводы по второй главе	79

ГЛАВА III. Алгоритм идентификации с переходом из пространства входов-выходов в пространство параметров.....81

3.1.	Введение	81
3.2.	Объект исследования	81
3.3.	Алгоритм идентификации	82
3.4.	Свойства алгоритма идентификации	84

3.4.1. Большие ошибки	85
3.4.2. Общий случай	86
3.5. Связь ошибки и вероятности	88
3.6. Редкие ошибки	91
3.7. Пример условно точной идентификации	92
3.7.1. Условия задачи	92
3.7.2. Оценки по методу наименьших квадратов	93
3.7.3. Использование алгоритма перехода в пространство параметров	94
3.8. Выводы по третьей главе	97
ГЛАВА IV. Построение модели тепловыделяющей сборки	99
4.1. Введение	99
4.2. Исходные данные	104
4.3. Постановка задачи	106
4.3.1. Структура объекта и модели	106
4.3.2. Оценки метода наименьших квадратов (МНК)	107
4.4. Цель исследования	107
4.4.1. Алгоритм идентификации	108
4.4.2. Переход в пространство параметров	109
4.4.3. Текущие оценки параметров	109
4.4.4. Обнаружение «плохих» экспериментов	111
4.4.5. Блок-схема модифицированного алгоритма идентификации динамического объекта	113
4.5. Алгоритмы идентификации класса объектов ТПТ	114
4.5.1. Пример алгоритма идентификации для класса объектов ТПТ	114
4.5.2. Сравнение разработанного модифицированного алгоритма идентификации с прототипом для данного класса объектов	114
4.5.3. Выводы по результатам исследования	117
4.6. Выводы по четвертой главе	117
Заключение	119
Список литературы	125