

УДК 621.039.5  
ББК 31.46  
Т15

**Таккер К.**

Т15 Как управлять ядерным реактором / пер. с англ. А. Н. Рабодзей. – М.: ДМК Пресс, 2022. – 230 с.: ил.

**ISBN 978-5-93700-132-0**

Эта книга объясняет, как устроен и как действует ядерный реактор и что нужно знать его оператору для обеспечения стабильной и безопасной работы. Коротко изложена история развития ядерных реакторов, представлены различные их типы и подробно рассмотрен один из них – водо-водяной реактор (PWR), начиная с конструкции и заканчивая особенностями управления. Автор книги, признанный эксперт в области безопасной эксплуатации реакторов, уделяет особое внимание устранению аварийных ситуаций.

Книга предназначена широкому кругу читателей, интересующихся современной физикой и энергетикой.

УДК 621.039.5  
ББК 31.46

First published in English under the title How to Drive a Nuclear Reactor by Colin Tucker, edition: 1. Copyright © Springer Nature Switzerland AG, 2019. This edition has been translated and published under licence from Springer Nature Switzerland AG. Springer Nature Switzerland AG takes no responsibility and shall not be made liable for the accuracy of the translation.

Все права защищены. Любая часть этой книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами без письменного разрешения владельцев авторских прав.

ISBN 978-3-030-33875-6 (англ.)  
ISBN 978-5-93700-132-0 (рус.)

© Springer Nature Switzerland AG, 2019  
© Перевод, оформление, издание,  
ДМК Пресс, 2022

# Содержание

<b>От издательства .....</b>	<b>10</b>
<b>Предисловие и благодарности.....</b>	<b>11</b>
<b>Глава 1. Человек и его собака.....</b>	<b>13</b>
1.1. Чтение этой книги не даст вам необходимой квалификации для управления ядерным реактором.....	13
1.2. Что включает в себя эта книга.....	15
1.3. Три основных понятия.....	16
1.4. И в заключение.....	16
<b>Глава 2. Физика – это интересно!.....</b>	<b>17</b>
2.1. Атомы и их ядра .....	17
2.2. Распад .....	19
2.3. Быстрые и медленные нейтроны .....	20
2.4. Цепная реакция.....	21
<b>Глава 3. Подружитесь с нейтронами.....</b>	<b>23</b>
3.1. Введение в реактивность .....	23
3.2. Найлы и миллинайлы.....	25
3.3. Топливо для реакторов.....	25
3.4. Стержни регулирования.....	28
3.5. Точка кипения воды.....	29
<b>Глава 4. Критичность не так плоха, как о ней говорят.....</b>	<b>31</b>
4.1. Критичность: одна из фантастически величайших ошибок.....	31
4.2. Начало докритического состояния: выключение реактора .....	31
4.3. Приближение к критичности .....	32
4.4. Надкритический режим: также нет проблем.....	34
4.5. Быстрые и запаздывающие нейтроны .....	35
4.6. Чикаго Пайл 1 (CP-1).....	35
<b>Глава 5. Что делает ядерную энергию особенной?.....</b>	<b>39</b>
5.1. Компактный источник энергии .....	39
5.2. Продукты распада .....	41
5.3. Остаточное тепловыделение .....	44
5.4. Самое плохое, что может случиться .....	45
<b>Глава 6. Из каких частей состоит реактор .....</b>	<b>46</b>
6.1. Корпус реактора .....	48
6.2. Парогенератор.....	50
6.3. Главный циркуляционный насос.....	51

6.4. Компенсатор давления.....	53
6.5. Установка всего вместе.....	54
6.6. Внутри «коробки».....	55
6.7. Некоторые цифры .....	56

## **Глава 7. Выведение и введение стержней управления .....**

7.1. Когда стартовать? .....	57
7.2. Вы защищены?.....	59
7.3. Прогнозирование критичности .....	59
7.4. Изменение содержания бора.....	60
7.5. Первые шаги.....	62
7.6. Приближение к критическому режиму.....	63
7.7. Ожидание критического режима .....	65
7.8. Удвоенное время и скорость запуска .....	66
7.9. И что дальше?.....	66

## **Глава 8. Сколько ватт? .....**

8.1. Три проблемы с потоком нейтронов .....	69
8.2. Азот-16.....	73
8.3. Использование тепла в первом контуре.....	74
8.4. Использование тепла во втором контуре.....	76
8.5. Почему не работают прямые способы измерения электрической мощности .....	77
8.6. Назад, к делению .....	77

## **Глава 9. Стабильность реактора (часть первая).....**

9.1. Температура топлива .....	79
9.2. Температура замедлителя .....	82
9.3. Это PWR, и он стабилен.....	84
9.4. Другой коэффициент.....	85
9.5. Чернобыльский реактор № 4, 26 апреля.....	85
9.6. Помните, что у вас PWR .....	87

## **Глава 10. Что можно сделать со всем этим паром .....**

10.1. Парогенератор: взгляд с другой стороны... ..	88
10.2. Главный паропровод.....	90
10.3. Паровые турбины .....	92
10.4. Турбина высокого давления .....	94
10.5. Повторное использование пара.....	95
10.6. Конденсатор.....	96
10.7. Путь назад.....	97
10.8. Генератор.....	98
10.9. Взгляд сверху на систему охлаждения электростанции .....	98

## **Глава 11. Большая красная кнопка .....**

11.1. Что дальше?.....	101
------------------------	-----

11.2. Аварийная остановка.....	102
11.3. Что делают в главном пульте управления.....	103
11.4. Сколько реакторов в мире? .....	107

## **Глава 12. Стабильность реактора (часть вторая)..... 108**

12.1. Условия работы парогенератора.....	108
12.2. Передача тепла .....	109
12.3. Практический пример: малые изменения электрической мощности.....	110
12.4. Программируемое удержание мощности .....	111
12.5. Сброс пара .....	113
12.6. И наконец...бор.....	115
12.7. Процедура разведения бора .....	116

## **Глава 13. Выход на новый уровень ..... 118**

13.1. Стабильность при малой мощности .....	118
13.2. Обращение с турбиной.....	119
13.3. Запуск вращения .....	120
13.4. Синхронизация .....	121
13.5. Увеличение мощности турбины .....	124

## **Глава 14. Приступим!..... 125**

14.1. Увеличение мощности реактора.....	125
14.3. Распределение мощности.....	126
14.4. Йод и ксенон .....	128
14.5. Накопление ксенона .....	129
14.6. Ксенон после остановки.....	130
14.7. Январские распродажи .....	131

## **Глава 15. Мощность, и как ею управлять..... 132**

15.1. Набор инструментов.....	132
15.2. Практический пример: значительное уменьшение мощности.....	132
15.3. Что делать в реальности.....	134
15.4. Контроль аксиального распределения мощности .....	134
15.5. И ксенон.....	135
15.6. Гибкая работа.....	136
15.7. Следование за нагрузкой.....	138
15.8. Посмотрим вперед.....	139

## **Глава 16. Стационарная мощность – и все? ..... 140**

16.1. Слово Q .....	140
16.2. Выгорание .....	140
16.3. Первый контур.....	142
16.4. Парогенератор .....	144
16.5. Расход пара.....	145
16.6. Что еще можно сделать? .....	146
16.7. Предсказание критического режима.....	147

<b>Глава 17. Это все о безопасности</b> .....	150
17.1. Интервью .....	150
17.2. Строительство моста .....	150
17.3. Декларация безопасности .....	151
17.4. Что можно сделать неверно с PWR?.....	153
17.5. Три «С» .....	154
17.6. Автоматическая защита .....	154
17.7. Инженерно-технические средства безопасности.....	155
17.8. Сколько безопасности означает «достаточно безопасности»?.....	156
17.9. Пожар на Уиндскэйл.....	157
17.10. Интернациональные перспективы.....	159
17.11. Допустимый риск .....	160
17.12. Только маленький... ..	161
<b>Глава 18. Что может пойти не так (и что с этим делать)</b> .....	162
18.1. Можете ли вы справиться? .....	162
18.2. Авария 1: потеря электросети .....	163
18.3. Естественная циркуляция .....	164
18.4. Аккумуляторы и аварийные электрогенераторы .....	165
18.5. Насосы и прочее .....	167
18.6. Восстановление после потери электросети .....	167
18.7. Авария 2: большая потеря теплоносителя.....	168
18.8. Аварийная инъекция воды.....	169
<b>Глава 19. Меньше не всегда легче</b> .....	173
19.1. Авария 3: малая потеря охлаждающей жидкости .....	173
19.2. Выбор оператора .....	174
19.3. Поиск баланса .....	175
19.4. Движение вверх и вниз .....	176
19.5. Маленькая LOCA, большие проблемы.....	178
19.6. Авария 4: утечка в трубах парогенератора .....	179
19.7. Насколько это приемлемо? .....	182
<b>Глава 20. Что еще можно сделать неправильно?</b> .....	183
20.1. Авария 5: поломка главного паропровода .....	183
20.2. Авария 6: тяжелые аварии .....	185
20.3. Фукусима Дайити .....	187
20.4. В перспективе .....	188
20.5. Что делать с тяжелыми авариями... ..	188
<b>Глава 21. Когда теряется сила</b> .....	189
21.1. Выбег .....	189
21.2. Остановка реактора .....	190
21.3. Охлаждение.....	191
21.4. Главные циркуляционные насосы.....	192
21.5. Бор .....	193

21.6. Химики главные .....	194
21.7. Охлаждение в охлажденном состоянии .....	194
21.8. Поднимание крышки реактора.....	195
21.9. Топливо вынимаем, перетасовываем, заправляем .....	197
21.10. Путь назад .....	199
21.11. Физические испытания.....	199
21.12. В будущем.....	200

## **Глава 22. Есть и другие конструкции реакторов .....**

22.1. Немного истории .....	201
22.2. Реакторы с водой под давлением (PWR).....	203
22.3. Ядерные реакторы на кипящей воде .....	203
22.4. Реакторы CANDU .....	204
22.5. Реакторы MAGNOX.....	206
22.6. Усовершенствованный реактор с газовым охлаждением (AGR).....	207
22.7. Реактор РБМК.....	209
22.8. Реактор на быстрых нейтронах.....	210
22.9. Торий.....	212
22.10. Реакторы на бумаге.....	212
22.11. И победителем становится.....	214
22.12. Не принимайте мои слова на веру... ..	214

## **Глава 23. Как построить собственный реактор .....**

23.1. Во-первых, топливо .....	215
23.2. Плутоний .....	215
23.3. Обогащенный уран .....	216
23.4. Договор о нераспространении ядерного оружия.....	216
23.5. Природный уран.....	217
23.6. Этого никогда не будет.....	218
23.7. А кто-нибудь пытался? .....	219

## **Глава 24. И еще кое-что .....**

24.1. Одна маленькая книга.....	220
24.2. Не только операторы .....	220
24.3. Использованное топливо... ..	221
24.4. ...и радиоактивные отходы.....	222
24.5. В конце жизни .....	223
24.6. Вне электросети?.....	224
24.7. Книги, аварии и оружие .....	224
24.8. Политика и агитация .....	225

## **Глава 25. Заключение .....**

<b>Предметный указатель.....</b>	<b>228</b>
----------------------------------	------------