

**ВЛИЯНИЕ  
НЕЙТРОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ  
НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА  
СТАЛЕЙ И СПЛАВОВ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ  
ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ**



В. П. ТАРАСИКОВ, В. А. СОЛОВЬЕВ, Г. А. БИРЖЕВОЙ,  
С. И. ПОРОЛЛО, С. В. ШУЛЕПИН, А. А. ИВАНОВ,  
М. В. ЛЕОНТЬЕВА-СМИРНОВА, Н. М. МИТРОФАНОВА,  
И. А. НАУМЕНКО, Е. М. МОЖАНОВ

**ВЛИЯНИЕ  
НЕЙТРОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ  
НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА  
СТАЛЕЙ И СПЛАВОВ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ  
ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ**



МОСКВА  
ФИЗМАТЛИТ®  
2020

УДК 621.039.53:  
621.039.531  
ББК 31.46  
В 57



*Издание осуществлено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований по проекту 19-12-00014, не подлежит продаже*

Авторский коллектив:

Тарасиков В. П., Соловьев В. А., Биржевой Г. А., Поролло С. И.,  
Шулелин С. В., Иванов А. А., Леонтьева-Смирнова М. В.,  
Митрофанова Н. М., Науменко И. А., Можанов Е. М.

**Влияние нейтронного облучения на физико-механические свойства сталей и сплавов отечественных ядерных реакторов.** — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2020. — 624 с. — ISBN 978-5-9221-1864-4.

Книга содержит сведения по влиянию нейтронного облучения на физико-механические свойства материалов, используемых в качестве оболочек твэлов, чехлов тепловыделяющих сборок, корпусов реакторов, различных элементов активной зоны реакторов и др. В реакторостроении применяется весьма широкий спектр материалов. В книге приводится перечень сплавов и сталей, находящихся применение в реакторостроении в качестве конструкционных материалов АЭС. В процессе работы были произведены сбор, обработка и анализ результатов исследований по влиянию облучения на стали и сплавы отечественных ядерных реакторов.

Книга предназначена специалистам, занятым в области разработки перспективных ядерных технологий, в создании и эксплуатации ядерных энергетических установок с жидкотеплоносителями и другими теплоносителями. Рекомендуется для научных работников, инженеров и студентов — будущих специалистов ядерно-энергетической отрасли.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие . . . . .	6
Условные обозначения, индексы, основные сокращения . . . . .	7
Введение . . . . .	11
Список литературы к Введению . . . . .	18
Глава 1. <b>Цирконий-ниобиевый сплав Zr-1 % Nb (Э110)</b> . . . . .	21
1.1. Введение. Общая характеристика сплава . . . . .	21
1.2. Влияние нейтронного облучения на свойства сплава циркония с 1 % ниобия . . . . .	23
Список литературы к Главе 1 . . . . .	47
Глава 2. <b>Цирконий-ниобиевый сплав Zr-2,5 % Nb (Э125)</b> . . . . .	51
2.1. Введение. Общая характеристика сплава . . . . .	51
2.2. Влияние нейтронного облучения на физико-механические свойства сплава циркония с 2,5 % ниобия . . . . .	52
Список литературы к Главе 2 . . . . .	91
Глава 3. <b>Циркониевый сплав Э635 (Zr-1 % Sn-1 % Nb-0,5 % Fe)</b> . . . . .	94
3.1. Введение. Общая характеристика сплава . . . . .	94
3.2. Влияние нейтронного облучения на свойства сплава Э635 . . . . .	96
Список литературы к Главе 3 . . . . .	178
Глава 4. <b>Аустенитная сталь 10X15H9C3B1 (ЭП-302)</b> . . . . .	183
4.1. Введение. Общая характеристика стали . . . . .	183
4.2. Влияние нейтронного облучения на свойства стали ЭП-302 . . . . .	184
Список литературы к Главе 4 . . . . .	186
Глава 5. <b>Аустенитная сталь 08X18H10T</b> . . . . .	188
5.1. Введение. Общая характеристика стали . . . . .	188
5.2. Влияние нейтронного облучения на физико-механические свойства стали 08X18H10T . . . . .	188
Список литературы к Главе 5 . . . . .	206
Глава 6. <b>Аустенитная хромоникелевая сталь 12X18H9T (ЭЯ1Т)</b> . . . . .	208
6.1. Введение. Общая характеристика стали . . . . .	208
6.2. Влияние нейтронного облучения на физико-механические свойства стали 12X18H9T . . . . .	209
Список литературы к Главе 6 . . . . .	223

Глава 7. Аустенитная сталь 12X18H10T . . . . .	225
7.1. Введение. Общая характеристика стали. . . . .	225
7.2. Влияние нейтронного облучения на физико-механические свойства стали 12X18H10T . . . . .	226
Список литературы к Главе 7. . . . .	248
Глава 8. Аустенитная нержавеющая сталь 12X18H9 (ЭЯ1) (и близкие ей по составу и свойствам). . . . .	250
8.1. Введение. Общая характеристика стали. . . . .	250
8.2. Влияние нейтронного облучения на свойства стали 12X18H9 . . . . .	253
Список литературы к Главе 8. . . . .	267
Глава 9. Аустенитная сталь 08X18H9 . . . . .	269
9.1. Введение. Общая характеристика стали. . . . .	269
9.2. Влияние нейтронного облучения на свойства стали 08X18H10 . . . . .	271
Список литературы к Главе 9. . . . .	279
Глава 10. Ферритно-мартенситная сталь 12X13M2C2 (ЭИ-852) . . . . .	280
10.1. Введение. Общая характеристика стали. . . . .	280
10.2. Влияние нейтронного облучения на свойства стали ЭИ-852 . . . . .	281
Список литературы к Главе 10. . . . .	296
Глава 11. Ферритно-мартенситная сталь 12X12M3БФР (ЭП-450) . . . . .	298
11.1. Введение. Общая характеристика стали. . . . .	298
11.2. Влияние нейтронного облучения на свойства стали ЭП-450 . . . . .	300
Список литературы к Главе 11. . . . .	335
Глава 12. Ферритно-мартенситная сталь 16X12MBCФР (ЭП-823) . . . . .	338
12.1. Введение. Общая характеристика стали. . . . .	338
12.2. Влияние нейтронного облучения на свойства стали ЭП-823 . . . . .	341
Список литературы к Главе 12. . . . .	357
Глава 13. Ферритно-мартенситная сталь ЧС-139 . . . . .	359
13.1. Введение. Общая характеристика стали. . . . .	359
13.2. Влияние нейтронного облучения на свойства стали ЧС-139. . . . .	359
Список литературы к Главе 13. . . . .	360
Глава 14. Ферритно-мартенситная сталь 16X12B2ФТаР (ЭК-181) . . . . .	361
14.1. Введение. Общая характеристика стали. . . . .	361
14.2. Влияние нейтронного облучения на свойство стали ЭК-181. . . . .	362
Список литературы к Главе 14. . . . .	364
Глава 15. Аустенитная сталь 09X16H15M3Б (ЭИ-847) . . . . .	366
15.1. Введение. Общая характеристика стали . . . . .	366
15.2. Влияние нейтронного облучения на сталь ЭИ-847. . . . .	368
Список литературы к Главе 15. . . . .	473



---

Глава 16. <b>Хромоникелевая сталь ЭП-172 (07X16Н15МЗБР)</b> . . . . .	480
16.1. Введение. Общая характеристика стали. . . . .	480
16.2. Влияние нейтронного облучения на свойства стали ЭП-172 . . . . .	481
Список литературы к Главе 16 . . . . .	490
Глава 17. <b>Сталь 06X16Н15М2Г2ТФР (ЧС-68)</b> . . . . .	492
17.1. Введение. Общая характеристика стали. . . . .	492
17.2. Влияние нейтронного облучения на свойства стали ЧС-68 . . . . .	494
Список литературы к Главе 17 . . . . .	594
Глава 18. <b>Аустенитная сталь 07X16Н19М2Г2БТР (ЭК-164)</b> . . . . .	600
18.1. Введение. Общая характеристика стали. . . . .	600
18.2. Влияние нейтронного облучения на свойства стали ЭК-164. . . . .	602
Список литературы к Главе 18 . . . . .	609
Глава 19. <b>Перлитная сталь 15X2МФА</b> . . . . .	611
19.1. Введение. Общая характеристика стали. . . . .	611
19.2. Влияние нейтронного облучения на свойства стали 15X2МФА . . . . .	612
Список литературы к Главе 19 . . . . .	615
Глава 20. <b>Перлитная сталь 15X2НМФА</b> . . . . .	616
20.1. Введение. Общая характеристика стали. . . . .	616
20.2. Влияние нейтронного облучения на свойства стали 15X2НМФА . . . . .	617
Список литературы к Главе 20 . . . . .	618
Глава 21. <b>Перлитная сталь 15X2НМФА-А</b> . . . . .	619
21.1. Введение. Общая характеристика стали. . . . .	619
21.2. Влияние нейтронного облучения на свойства стали 15X2НМФА-А . . . . .	620
Список литературы к Главе 21 . . . . .	620