

В.Д.Рисованный, А.В.Захаров, Е.П.Ключков

# ПОГЛОЩАЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ И ОРГАНЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ

Для студентов  
высших учебных  
заведений



# ОГЛАВЛЕНИЕ

|                                                                                                              |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Предисловие.....</b>                                                                                      | <b>8</b>   |
| <b>Глава первая. ПОГЛОЩАЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ И ОРГАНЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ .....</b>                    | <b>9</b>   |
| 1.1. Основные понятия и классификация поглощающих материалов .....                                           | 9          |
| 1.2. Способы регулирования ядерных реакторов.....                                                            | 11         |
| 1.3. Основные требования к поглощающим материалам и критерии их выбора .....                                 | 13         |
| 1.4. Использование поглощающих материалов в ядерных реакторах .....                                          | 17         |
| <i>Контрольные вопросы и задания .....</i>                                                                   | <i>19</i>  |
| <b>Глава вторая. РАДИАЦИОННЫЕ ЭФФЕКТЫ И СТРУКТУРНЫЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ В ПОГЛОЩАЮЩИХ МАТЕРИАЛАХ .....</b>           | <b>20</b>  |
| 2.1. Радиационные повреждения $n$ , $\alpha$ -поглотителей.....                                              | 20         |
| 2.2. Радиационные повреждения $n$ , $\gamma$ -поглотителей .....                                             | 22         |
| <i>Контрольные вопросы и задания .....</i>                                                                   | <i>33</i>  |
| <b>Глава третья. ХИМИЧЕСКОЕ И МЕХАНИЧЕСКОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПОГЛОЩАЮЩИХ И КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ .....</b> | <b>35</b>  |
| 3.1. Совместимость оксида европия со сталями и сплавами.....                                                 | 35         |
| 3.2. Совместимость гексаборида европия со сталями .....                                                      | 37         |
| 3.3. Совместимость карбида бора с конструкционными материалами .....                                         | 38         |
| <i>Контрольные вопросы и задания .....</i>                                                                   | <i>52</i>  |
| <b>Глава четвертая. КОРРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ ПОГЛОЩАЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ .....</b>                                  | <b>53</b>  |
| 4.1. Общие сведения.....                                                                                     | 53         |
| 4.2. Гафний.....                                                                                             | 54         |
| 4.2.1. Коррозия гафния в воде и паре .....                                                                   | 54         |
| 4.2.2. Коррозия гафния в органических и неорганических средах .....                                          | 60         |
| 4.2.3. Коррозия гафния при реакторном облучении в воде .....                                                 | 62         |
| 4.2.4. Окисление гафния на воздухе .....                                                                     | 67         |
| 4.3. Оксиды лантаноидов и их соединения.....                                                                 | 70         |
| 4.3.1. Оксид европия.....                                                                                    | 70         |
| 4.3.2. Сложнокислородные соединения .....                                                                    | 72         |
| 4.3.3. Дисперсионные композиции .....                                                                        | 73         |
| 4.4. Карбид бора.....                                                                                        | 74         |
| <i>Контрольные вопросы и задания .....</i>                                                                   | <i>79</i>  |
| <b>Глава пятая. КРИТЕРИИ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ОРГАНОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ .....</b>                                   | <b>80</b>  |
| 5.1. Физическая эффективность органов регулирования .....                                                    | 80         |
| 5.2. Целостность и размерная стабильность органов регулирования.....                                         | 89         |
| 5.3. Количественные критерии работоспособности органов регулирования .....                                   | 91         |
| <i>Контрольные вопросы и задания .....</i>                                                                   | <i>97</i>  |
| <b>Глава шестая. КАРБИД БОРА.....</b>                                                                        | <b>98</b>  |
| 6.1. Структура карбида бора и диаграммы состояния системы В—С .....                                          | 98         |
| 6.2. Физические и механические свойства карбида бора .....                                                   | 104        |
| 6.3. Радиационная стойкость карбида бора .....                                                               | 118        |
| 6.4. Накопление и выделение трития .....                                                                     | 151        |
| <i>Контрольные вопросы и задания .....</i>                                                                   | <i>157</i> |

|                                                                                                                      |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Глава седьмая. БОРИСТЫЕ СТАЛИ, БОРИДЫ МЕТАЛЛОВ, ДИСПЕРСИОННЫЕ ПОГЛОТИТЕЛИ</b> .....                               | 158 |
| 7.1. Бористые стали .....                                                                                            | 158 |
| 7.2. Бориды металлов .....                                                                                           | 170 |
| 7.3. Борсодержащие дисперсионные поглотители .....                                                                   | 184 |
| Контрольные вопросы и задания .....                                                                                  | 189 |
| <b>Глава восьмая. ГАФНИЙ</b> .....                                                                                   | 190 |
| 8.1. Ядерные характеристики и структура гафния .....                                                                 | 190 |
| 8.2. Основные физико-механические свойства .....                                                                     | 192 |
| 8.3. Структурные повреждения гафния при реакторном облучении .....                                                   | 199 |
| 8.4. Радиационный рост гафния .....                                                                                  | 217 |
| 8.5. Распухание гафния .....                                                                                         | 224 |
| 8.6. Влияние облучения на механические свойства гафния .....                                                         | 225 |
| Контрольные вопросы и задания .....                                                                                  | 232 |
| <b>Глава девятая. ОКСИД ЕВРОПИЯ И СОЕДИНЕНИЯ НА ЕГО ОСНОВЕ</b> .....                                                 | 233 |
| 9.1. Оксид европия .....                                                                                             | 233 |
| 9.1.1. Кристаллическая структура оксида европия .....                                                                | 233 |
| 9.1.2. Диаграмма состояния оксида европия .....                                                                      | 236 |
| 9.1.3. Физико-механические свойства оксида европия .....                                                             | 238 |
| 9.1.4. Радиационная стойкость оксида европия .....                                                                   | 240 |
| 9.2. Дисперсионные композиции .....                                                                                  | 244 |
| 9.3. Сложнокислородные соединения на основе европия .....                                                            | 251 |
| Контрольные вопросы и задания .....                                                                                  | 256 |
| <b>Глава десятая. ТИТАНАТ ДИСПРОЗИЯ</b> .....                                                                        | 257 |
| 10.1. Диаграмма состояния системы $Dy_2O_3-TiO_2$ .....                                                              | 257 |
| 10.2. Основные физико-механические свойства титаната диспрозия .....                                                 | 259 |
| 10.3. Структура титаната диспрозия .....                                                                             | 260 |
| 10.4. Совместимость с коррозионно-стойкой сталью .....                                                               | 260 |
| 10.5. Коррозионная стойкость титаната диспрозия .....                                                                | 262 |
| 10.6. Радиационная стойкость титаната диспрозия .....                                                                | 264 |
| Контрольные вопросы и задания .....                                                                                  | 268 |
| <b>Глава одиннадцатая. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ПОГЛОЩАЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ И ОРГАНЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ</b> .....                          | 269 |
| Контрольные вопросы и задания .....                                                                                  | 274 |
| <b>Глава двенадцатая. МЕТОДЫ РЕАКТОРНЫХ ИСПЫТАНИЙ И МАТЕРИАЛОВЕДЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПОГЛОЩАЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ</b> ..... | 275 |
| 12.1. Испытания в исследовательских реакторах .....                                                                  | 275 |
| 12.2. Исследования облученных материалов и изделий .....                                                             | 286 |
| Контрольные вопросы и задания .....                                                                                  | 294 |
| <b>Глава тринадцатая. РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ОРГАНОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ</b> .....              | 295 |
| 13.1. Общие сведения .....                                                                                           | 295 |
| 13.2. Органы регулирования водо-водяных энергетических реакторов .....                                               | 298 |
| 13.3. Органы регулирования канальных водографитовых энергетических реакторов большой мощности .....                  | 308 |
| 13.4. Органы регулирования кипящих реакторов .....                                                                   | 314 |
| 13.5. Органы регулирования реакторов на быстрых нейтронах .....                                                      | 315 |
| 13.6. Органы регулирования исследовательских реакторов .....                                                         | 331 |
| Контрольные вопросы и задания .....                                                                                  | 354 |

|                                                                     |            |
|---------------------------------------------------------------------|------------|
| <i>Глава четырнадцатая. ПОГЛОЩАЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ И ОРГАНЫ</i>          |            |
| <b>РЕГУЛИРОВАНИЯ ЗАРУБЕЖНЫХ ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ .....</b>             | <b>355</b> |
| 14.1. Органы регулирования реакторов PWR.....                       | 355        |
| 14.2. Органы регулирования реакторов с кипящей водой.....           | 359        |
| 14.3. Органы регулирования реакторов на быстрых нейтронах .....     | 363        |
| <i>Контрольные вопросы и задания .....</i>                          | <i>364</i> |
| <i>Глава пятнадцатая. ОБРАЩЕНИЕ С ОТРАБОТАВШИМИ</i>                 |            |
| <b>ОРГАНАМИ РЕГУЛИРОВАНИЯ .....</b>                                 | <b>365</b> |
| 15.1. Замкнутый цикл при использовании поглощающих материалов ..... | 365        |
| 15.2. Утилизация органов регулирования с европием .....             | 372        |
| <i>Контрольные вопросы и задания .....</i>                          | <i>384</i> |
| <b>Основные термины и определения .....</b>                         | <b>385</b> |
| <b>Список литературы .....</b>                                      | <b>390</b> |