

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Н.И. Бушуев

# ИСТОРИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

*Рекомендовано Учебно-методическим объединением вузов РФ  
по образованию в области строительства в качестве учебного пособия  
для студентов высших учебных заведений, обучающихся по программе  
бакалавриата по направлению подготовки 270800 «Строительство»  
(профиль «Промышленное и гражданское строительство»),  
и для студентов, обучающихся по программе специалитета  
по специальности 271101 «Строительство уникальных зданий  
и сооружений» (специализация «Строительство сооружений  
тепловой и атомной энергетики»)  
(19.05.2014 г. № 102-15/833)*

Москва 2015

УДК 621.311.25

ББК 31.47

Б94

**Рецензенты:**

профессор, доктор технических наук *В.Б. Николаев*,  
зам. начальника отдела ОСРО «НИИ энергетических сооружений»;  
профессор, доктор технических наук *В.Н. Соловьев*, ФГБОУ ВПО «МГСУ»

**Б94 Бушуев, Н.И.**

История и технология ядерной энергетики : учебное пособие / Н.И. Бушуев ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Моск. гос. строит. ун-т. Москва : МГСУ, 2015. 232 с.

ISBN 978-5-7264-1060-9

Рассмотрена специфика технологии основных процессов производства природного урана, его обогащения, изготовления тепловыделяющих элементов и сборок, радиохимической регенерации отработавшего ядерного топлива и обращения с радиоактивными отходами. Дана функциональная связь технологии и применяемого оборудования со строительными решениями. Приведены основные природные радиоактивные изотопы, требующие радиационного контроля при строительстве зданий и сооружений. Рассмотрены вопросы защиты окружающей среды от внешних техногенных воздействий, в том числе и от атомных станций.

Для студентов, обучающихся по программе бакалавриата по направлению подготовки 270800 «Строительство» (профиль «Промышленное и гражданское строительство»), и для студентов, обучающихся по программе специалитета по специальности 271101 «Строительство уникальных зданий и сооружений» (специализация «Строительство сооружений тепловой и атомной энергетики»).

**УДК 621.311.25**

**ББК 31.47**

ISBN 978-5-7264-1060-9

© ФГБОУ ВПО «МГСУ», 2015

# Оглавление

ПРЕДИСЛОВИЕ .....	3
ВВЕДЕНИЕ. ИСТОРИЯ МИСИ — МГСУ — ТЭС — СЯУ .....	5
Глава 1. ВИДЫ ЭНЕРГИИ. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ .....	9
1.1. Источники энергии .....	9
1.2. Запасы энергии .....	10
1.3. Гидроэнергетика .....	13
1.4. Теплоэнергетика .....	18
1.5. Гелиоэнергетика .....	20
1.6. Атомная энергетика .....	28
1.7. Термоядерная энергетика .....	31
1.8. Ветроэнергетика .....	36
1.9. Геотермальная энергетика .....	38
1.10. Водородная энергетика .....	41
1.11. Биоэнергетика и энергия отходов .....	41
<i>Контрольные вопросы</i> .....	43
Глава 2. ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ .....	44
2.1. Предвоенный период .....	45
2.2. Военный период .....	51
2.3. Послевоенный период .....	54
<i>Контрольные вопросы</i> .....	61
Глава 3. ОСНОВЫ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ .....	62
3.1. Основные понятия .....	62
3.2. Взаимодействие заряженных частиц с веществом .....	69
3.3. Взаимодействие гамма-излучения с веществом .....	71
3.4. Взаимодействие нейтронов с веществом .....	76
3.5. Ядерный реактор как источник ядерных превращений .....	78
<i>Контрольные вопросы</i> .....	82
Глава 4. ДОБЫЧА И ОБОГАЩЕНИЕ УРАНОВЫХ РУД .....	83
4.1. Добыча урановых руд .....	83
4.2. Очистка урановых руд от примесей .....	95
4.2.1. Механическое обогащение .....	95
4.2.2. Выщелачивание .....	97
4.2.3. Сорбция и экстракция .....	98
4.2.4. Аффинаж .....	98
4.3. Извлечение урана из морской воды .....	99
4.4. Радиоизотопное обогащение урана .....	100
4.4.1. Газодиффузионный метод обогащения .....	102
4.4.2. Центробежный метод .....	104

4.4.3. Метод разделительного сопла .....	105
4.4.4. Электромагнитный метод.....	106
4.4.5. Лазерный метод.....	107
<i>Контрольные вопросы</i> .....	109
<b>Глава 5. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ И СБОРОК .....</b>	<b>111</b>
5.1. Двухокись урана и плутония как основное ядерное горючее реакторов РФ.....	111
5.2. Конверсия $UF_6$ в $UO_2$ .....	111
5.3. Тепловыделяющие элементы .....	114
<i>Контрольные вопросы</i> .....	116
<b>Глава 6. АТОМНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ .....</b>	<b>117</b>
6.1. Характеристики АЭС.....	117
6.2. Технологические схемы атомных электростанций.....	118
6.2.1. Классификация ядерных реакторов.....	119
6.2.2. Управление ядерным реактором .....	121
6.2.3. Материалы для реакторов.....	124
6.3. Компоновка главных корпусов атомных электростанций .....	128
<i>Контрольные вопросы</i> .....	154
<b>Глава 7. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ АЭС .....</b>	<b>155</b>
7.1. АЭС с реакторами на быстрых нейтронах со свинцовым теплоносителем .....	155
7.2. Атомные станции с реакторами малой и средней мощности .....	157
7.3. АЭС с тяжеловодными реакторами.....	160
<i>Контрольные вопросы</i> .....	161
<b>Глава 8. ОТРАБОТАВШЕЕ ЯДЕРНОЕ ГОРЮЧЕЕ.....</b>	<b>162</b>
8.1. Переработка ОЯТ при помощи пьюрекс-процесса.....	166
8.2. Газофторидный метод переработки ОЯТ .....	169
<i>Контрольные вопросы</i> .....	174
<b>Глава 9. ХРАНИЛИЩА РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ.....</b>	<b>175</b>
9.1. Радиоактивные отходы АЭС.....	175
9.2. Хранилища жидких отходов .....	178
9.3. Хранилища твердых радиоактивных отходов.....	187
9.4. Комплексы хранилищ радиоактивных отходов АЭС .....	188
<i>Контрольные вопросы</i> .....	192
<b>Глава 10. БИОЛОГИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ ИЗЛУЧЕНИЙ .....</b>	<b>193</b>
10.1. Возможные последствия облучения.....	193
10.2. Лучевая болезнь .....	198
10.3. Внутреннее облучение .....	200
10.4. Фоновое облучение.....	202
<i>Контрольные вопросы</i> .....	206

Глава 11. РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СТРОИТЕЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ.....	207
11.1. Строительные материалы .....	207
11.2. Строительные материалы, требующие радиационного контроля .....	207
11.3. Обеспечение радиационной безопасности строительной продукции.....	210
<i>Контрольные вопросы</i> .....	213
Глава 12. ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ.....	214
12.1. Общие вопросы охраны окружающей среды.....	214
12.2. Ограничение опасных воздействий АЭС на окружающую среду .....	216
<i>Контрольные вопросы</i> .....	220
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	221
Библиографический список .....	223
ПРИЛОЖЕНИЯ .....	227

*Учебное издание*

**Бушуев Николай Иванович**

## ИСТОРИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Редактор *Т.Н. Донина*  
 Корректор *В.К. Чупрова*  
 Компьютерная правка *О.В. Суховой*  
 Верстка макета *О.Г. Горюновой*  
 Дизайн обложки *Д.Л. Разумного*

Подписано в печать 17.06.2015 г. И-106. Формат 60×84/16.  
 Усл.-печ. л. 13,49. Уч.-изд. 12,18. Тираж 300 экз. Заказ 193

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
 высшего профессионального образования

«Московский государственный строительный университет».

Издательство МИСИ – МГСУ.

129337, Москва, Ярославское ш., 26.

Тел. (495) 287-49-14, вн. 13-71, (499) 188-29-75, (499) 183-97-95.

Е-mail: ric@mgsu.ru, rio@mgsu.ru.

Отпечатано в типографии Издательства МИСИ – МГСУ.

Тел. (499) 183-91-90, (499) 183-67-92, (499) 183-91-44