**Державна служба України з надзвичайних ситуацій**

**ЛЬВІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**БЕЗПЕКИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ**

**Д.О. Чалий, А.Б. Тарнавський,**

**Р.Ю. Сукач, Р.Б. Веселівський**

**ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА АЕС**

**Навчальний посібник**

**Частина ІI**

**Львів**

**КАМЕНЯР**

**2020**

**УДК 621.039.587**

**Ч 12**

*Рекомендовано Вченою радою*

*Львівського державного університету безпеки життєдіяльності*

*(протокол № 4 від 26 листопада 2019 р.)*

**Рецензенти:**

**Ісупов В.І.**, заступник головного інженера з підготовки персоналу –   
начальник НТЦ ВП “Хмельницька АЕС”;

**Ковалишин В.В.**, завідувач кафедри ліквідації наслідків надзвичайних   
ситуацій Інституту післядипломної освіти Львівського державного   
університету безпеки життєдіяльності, д.т.н., професор;

**Семерак М.М.**, завідувач кафедри теплоенергетики, теплових та атомних електричних станцій Інституту енергетики та систем керування   
Національного університету “Львівська політехніка”, д.т.н., професор.

**Чалий Д.О. та ін.**

**Ч 12 Техногенна безпека АЕС: Навч. посібн. ; Ч. ІI. / Д. О. Чалий, А. Б. Тар-навський, Р. Ю. Сукач, Р. Б. Веселівський; Держ. служба України з над- звичайних ситуацій; Львів. держ. ун-т безпеки життєдіяльності. – Львів: Камкняр, 2020. – 340 с.**

**ISBN 978-966-607-540-7**

В навчальному посібнику висвітлено особливості технологічних процесів, що   
відбуваються у технологічному обладнанні I-го контуру, та у гермооболонці. Описано особливості, технічні характеристики та планування головного циркуляційного контуру. Розглянуто процеси експлуатації тепловидільних елементів як ядерного палива для енергоблоків з реакторами типу ВВЕР-1000. Значну увагу приділено основним відомостям про основні системи безпеки АЕС з реакторами типу ВВЕР-1000. Навчальний посібник призначений для курсантів та студентів пожежно-технічних навчальних закладів ІІІ-IV рівнів акредитації, може бути корисний для студентів ВНЗ, що навчаються за галуззю знань 14 “Електрична інженерія” спеціальністю 143 “Атомна енергетика”, а також бажаючих самостійно ознайомитися з сучасним станом розвитку атомної енергетики.

© Д.О. Чалий, А.Б. Тарнавський,

Р.Ю. Сукач, Р.Б. Веселівський, 2020

ISBN 978-966-607-540-7 © Видавництво “Каменяр”, 2020

**ЗМІСТ**

|  |  |
| --- | --- |
| Перелік основних скорочень ...................................................................  Вступ .........................................................................................................  **Розділ 5. КОМПОНУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО**  **ОБЛАДНАННЯ I КОНТУРА РЕАКТОРА**  **ТИПУ ВВЕР У ГЕРМООБОЛОНЦІ** .................................  5.1. Головний циркуляційний трубопровід теплоносія I контура .......  5.2. Головний циркуляційний насос .......................................................  5.3. Системи компенсації тиску ..............................................................  5.4. Парогенератори .................................................................................  5.5. Басейн витримки ядерного палива ..................................................  5.6. Перевантажувальна машина ............................................................  5.7. Полярний кран ...................................................................................  5.8. Основний і резервний шлюзи гермооболонки ...............................  5.9. Транспортний шлюз гермооболонки ..............................................  **Розділ 6. ЯДЕРНЕ ПАЛИВО ДЛЯ ЕНЕРГОБЛОКІВ З**  **РЕАКТОРАМИ ВВЕР-1000** .................................................  6.1. Конструкція і характеристики тепловидільного елемента ...........  6.2. Конструкція і характеристики тепловидільної збірки ...................  6.3. Конструкція кластера для реакторів ВВЕР ....................................  6.4. Характеристика комплексу касет для реакторів ВВЕР .................  6.5. Цикл використання палива у реакторі ВВЕР-1000 ........................  **Розділ 7. ОСНОВНІ СИСТЕМИ БЕЗПЕКИ НА АЕС З**  **РЕАКТОРАМИ ВВЕР-1000** .................................................  7.1. Система управління і захисту реактора ..........................................  7.2. Система аварійно-планового розхолодження TQ ..........................  7.3. Пасивна система аварійного охолодження активної зони ............  7.4. Спринклерна система .......................................................................  7.5. Група аварійного введення бору .....................................................  7.6. Система аварійного парогазовидалення .........................................  7.7. Система аварійного підживлення парогенераторів .......................  7.8. Система технічного водозабезпечення відповідальних  споживачів групи “А” .......................................................................  7.9. Система промконтура TF .................................................................  7.10. Системи вентиляції реакторного відділення ................................  Література .................................................................................................  **ДОДАТОК 1.** Світові постачальники ТВЗ ............................................  **ДОДАТОК 2.** Перелік АЕС світу ...........................................................  **ДОДАТОК 3.** Організації, які працюють в сфері використання  ядерної енергії і промисловості та  використовуються для забезпечення  ядерно-паливного циклу України ..................................  **ДОДАТОК 4.** Інформаційні ресурси .....................................................  **ДОДАТОК 5.** [Міжнародні конвенції, меморандуми та угоди](http://www.atom.gov.ua/ua/law/intccs.html)  у сфері атомної енергетики ............................................  **ДОДАТОК 6.** Нормативно-правові акти, які регулюють  діяльність ядерної енергетики та атомної  промисловості в Україні .................................................  **ДОДАТОК 7**. Нормативно-правові акти з питань ядерної  та радіаційної безпеки України ......................................  **ДОДАТОК 8**. Нормативно-правові акти  Держатомрегулювання України .................................... | 5  6  8  8  19  37  50  70  85  94  100  106  111  111  114  127  130  133  139  139  145  163  179  190  206  213  225  235  246  259  263  264  295  299  305  312  324  330 |

**Перелік основних скорочень**

АЕС – атомна електростанція

АЗ – аварійний захист

АКНП – апаратура контролю нейтронного потоку

БВ – басейн витримки

БЗТ – блок захисних труб

БЩУ – блочний щит управління

БПУ – блочний пункт управління

ВВЕР – водоводяний енергетичний реактор

ВКП – внутрішньокорпусні пристрої

ВТВЗ – відпрацьована тепловидільна збірка

ВХР – воднохімічний режим

ВЯП – відпрацьоване ядерне паливо

ГЦК – головний циркуляційний контур

ГЦН – головний циркуляційний насос

ГЦТ – головний циркуляційний трубопровід

ІЗП – імпульсний запобіжний пристрій

КВП – контрольно-вимірювальні прилади

КГО – контроль герметичності оболонок

КТ – компенсатор тиску

ОР – орган регулювання

ОР СУЗ – орган регулювання системи управління і захисту

ПГ – парогенератор

ПЕЛ – поглинальний елемент

ПЗР – планово-запобіжний ремонт

ПС – поглинальні стержні

ПС СУЗ – поглинальні стержні системи управління і захисту

РДЕС – резервна дизель-генераторна електростанція

РУ – реакторна установка

РЩУ – резервний щит управління

САОЗ – система аварійного охолодження активної зони

СВРК – система внутрішньореакторного контролю

СВП – стержні з вигоряючим поглиначем

СУЗ – система управління і захисту

ТВЕЛ – тепловидільний елемент

ТВЗ – тепловидільна збірка (рос. ТВС – тепловыделяющая сборка)

ТЕН – трубчастий електронагрівач

**ВСТУП**

Розвиток людського суспільства неможливий без використання природних ресурсів нашої планети, без споживання різних видів енергії у зростаючих масштабах. Усі здобутки сучасної цивілізації, величезна   
різноманітність товарів, різний за швидкістю і комфортом транспорт,   
космічні польоти і т.ін. є реальні лише завдяки тій величезній кількості штучної енергії, яку виробляє людство.

З кожним роком у багатьох країнах світу все гостріше постає   
проблема забезпечення різними видами енергії. Ще більші масштаби розвитку енергопостачання й енергоспоживання у недалекому майбутньому зумовлюють подальше інтенсивне зростання їхніх різноманітних впливів на всі компоненти природного довкілля у глобальному масштабі. “Теплове забруднення” планети, “парниковий ефект”, “кисневе голодування”, кислотні дощі, виснаження озонового шару, масштабні забруднення токсичними хімічними речовинами і радіонуклідами, швидке скорочення біологічного розмаїття – це не повний перелік бід, якими людство розплачується за цивілізаційний комфорт. В основі цього комфорту й усіх пов’язаних з ним негативних наслідків лежить, насамперед, виробництво та використання енергії. Основними причинами такого становища є   
нестача та вичерпність традиційних енергоносіїв (вугілля, нафти та природного газу).

В історії людства не було наукової події, більш видатної за своїми наслідками, ніж відкриття ділення ядер урану. Цей винахід додав до запасів енергетичних копалин істотну кількість ядерного палива. Запаси   
урану у земній корі оцінюються величезним числом – 1014 млн тонн. Але основна маса цього багатства перебуває у розпорошеному стані – у гранітах, базальтах. У водах світового океану кількість урану сягає 436 млн тонн. Багатих родовищ урану, де видобуток був би недорогим, відомо небагато, тому загалом ресурси урану, котрі можна видобути при сучасних технологіях та за прийнятну ціну, оцінюють у 108 млн тонн. Людина отримала у своє розпорядження величезну, ні з чим незрівнянну силу, нове могутнє джерело енергії, закладене в ядрах атомів, – ядерну енергію.

У 31 країні світу експлуатується 191 атомна електростанція з 448 енергоблоками загальною електричною потужністю 397 006 МВт (нетто) з яких 99 – у США, 58 – у Франції, 46 – у Китаї, 42 – в Японії, 37 – в РФ, 24 – у Республіці Корея та 22 – в Індії. Україна має 13 діючих ядерних реакторів і посідає 9-те місце у світі за їх кількістю. На цей час у різних країнах будують 52 енергоблоки, з яких 11 – в Китаї, 7 – в Індії, 6 – в РФ, 4 – в Республіці Корея та 4 – в Об’єднаних Арабських Еміратах.

До 2050 року фахівці прогнозують збільшення потужностей світової атомної енергетики щонайменше вдвічі (є пропозиції збільшити   
потужності навіть вчетверо), тобто збудувати кілька сотень ядерних реакторів і відповідно наростити виробництво ядерного палива. На сьогодні центр експансії ядерної енергетики розташований в Азії. Це Китай, Індія, Японія, Північна Корея, Тайвань.

Припущення про недостатню увагу до ядерної енергетики в ЄС не відповідає дійсності. В цих країнах середній рівень частки ядерної електроенергії сягає приблизно 34-43 % (тобто перебуває на рівні України). Терміни експлуатації енергоблоків ще не вичерпано і гострої потреби у будівництві нових АЕС сьогодні немає. Країни ЄС можуть зробити перерву у спорудженні АЕС і дочекатись освоєння найбільш перспективних реакторів нових типів, тому вони серйозно ставляться до участі у міжнародних проектах з їх розробки.

Щоб продуктивно розвиватися далі атомна енергетика має відповідати цілій низці вимог, зокрема:

– необмежене забезпечення людства паливними ресурсами шляхом ефективного використання природного урану, а надалі і торію;

– унеможливлення важких аварій із радіаційними викидами (які   
тягнуть за собою евакуацію населення) за будь-яких відмов   
устаткування, помилок персоналу та зовнішніх впливів (таке унеможливлення має досягатися передусім завдяки безпеці   
реакторів, яка, у свою чергу, має ґрунтуватися на грамотній   
експлуатації природних якостей та закономірностей паливних компонентів);

– екологічно безпечні виробництва енергії й утилізації відходів шляхом замкнення паливного циклу зі спаленням у реакторі   
довгоживучих актиноїдів і продуктів поділу, з радіаційно еквівалентним захороненням радіоактивних відходів без порушення природного радіаційного балансу;

– перекриття каналу поширення ядерної зброї, пов’язаного з ядерною енергетикою, через поступове виключення з неї технологій вилучення плутонію з відпрацьованого ядерного палива і збагачення урану, а також через забезпечення фізичного захисту ядерного палива від крадіжок;

– економічна конкурентоспроможність шляхом зниження вартості та відтворення палива, підвищення ефективності термодинамічного циклу, розв’язання проблем безпеки АЕС без ускладнення їхніх конструкцій і висунення особливо жорстких вимог до   
персоналу та устаткування.