

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Теплоенергетичний факультет
Кафедра атомних електричних станцій і інженерної теплофізики

«На правах рукопису»
УДК 621.039.58

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
_____ /проф. В.О.Туз/
“ ” _____ 2018 р.

Магістерська дисертація

зі спеціальності 143 Атомна енергетика

спеціалізації Атомні електричні станції

на тему: Аналіз безпеки модуля зберігання відпрацьованого ядерного палива на майданчику централізованого сховища відпрацьованого ядерного палива. Нормальна експлуатація, запроектна аварія

Виконав (-ла): студент (-ка) _____ 6 курсу, групи ТЯ-61М

Белих Дмитро Олександрович

(прізвище ім'я, по батькові)

(підпис)

Науковий керівник ст. викладач, к.т.н., Кондратюк В. А.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Консультанти:

з економічних питань к.п.н., доц. Пермінова С.О.

(назва розділу)

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

з питань охорони праці к.т.н., доц. Каштанов С.Ф.

(назва розділу)

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Рецензент

начальник відділу радіаційного захисту ДНТЦ ЯРБ,

к.ф-м.н., Богорад В.І.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2018 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»**

Факультет (інститут) Теплоенергетичний
Кафедра Атомних електричних станцій і інженерної теплофізики
Рівень вищої освіти другий (магістерський) за освітньо-науковою програмою
Спеціальність 143 Атомна енергетика
Спеціальність Атомні електричні станції

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

/В.О.Туз/

(підпис)

(ініціали, прізвище)

“ _____ ” _____ 20__ р.

**ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту**

Бєлих Дмитру Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Аналіз безпеки модуля зберігання відпрацьованого ядерного палива на майданчику централізованого сховища відпрацьованого ядерного палива. Нормальна експлуатація, запроектна аварія

науковий керівник дисертації Кондратюк Вадим Анатолійович, к.т.н.

(прізвище, ім'я, по-батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затвержені наказом по університету від «__» _____ 20__ р. № _____

2. Строк подання студентом дисертації "30" квітня 2018 р.

3. Об'єкт дослідження Радіаційна безпека встановлення на майданчику централізованого сховища відпрацьованого ядерного палива та подальшої експлуатації контейнерів з відпрацьованим ядерним паливом

4. Предмет дослідження Розподіл поля іонізуючого і нейтронного випромінювання навколо залізобетонного контейнеру зберігання відпрацьованого ядерного палива

5. Перелік питань, які потрібно розробити Розробка розрахункових моделей і визначення поля іонізуючого і нейтронного випромінювання навколо залізобетонного контейнеру зберігання відпрацьованого ядерного палива; розробка розрахункових моделей для визначення доз опромінення населення у випадку запроектних аварій на різних відстанях від централізованого сховища відпрацьованого ядерного палива для різних метеорологічних випадків

6. Орієнтовний перелік ілюстративного (графічного) матеріалу *Креслення ТВЗ типу ТВЗМ (А1), креслення ТВЗ типу ТВЗА (А1), креслення контейнеру зберігання відпрацьованого ядерного палива типу HI-STORM 100S Holtec International (А1), 4 плакати з результатами дослідження (А1), 1 плакат з зображенням розрахункових моделей (А1)*

7. Орієнтовний перелік публікацій *Питання ядерної та радіаційної безпеки централізованого сховища відпрацьованого ядерного палива АЕС України, 2017 р., с. 3-10. Розрахунок поля іонізуючого випромінювання навколо залізобетонного контейнеру сухого зберігання відпрацьованого ядерного палива, 2017 р., с. 6. Розрахунок внеску розсіяного випромінювання до потужності еквівалентної дози для системи контейнерів зберігання відпрацьованого ядерного палива, 2018 р.*

8. Консультанти розділів дисертації:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
з питань охорони праці	<i>к.т.н., доц. Каштанов С.Ф.</i>		
з економічних питань	<i>к.п.н., доц. Пермінова С.О.</i>		

9. Дата видачі завдання " 12 " березня 2018 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Видача завдання на магістерську дисертацію</i>	12.03.2018	
2	<i>Огляд літературних даних за напрямком дослідження</i>	19.03.2018	
3	<i>Створення розрахункових моделей</i>	30.03.2018	
4	<i>Проведення розрахунків моделей</i>	10.04.2018	
5	<i>Аналіз розрахункових даних</i>	13.04.2018	
6	<i>Висновки по дослідженню</i>	19.04.2018	
7	<i>Виконання графічного матеріалу</i>	23.04.2018	
8	<i>Оформлення магістерської дисертації</i>	27.04.2018	
9	<i>Підпис керівника магістерської дисертації</i>	30.04.2018	
10	<i>Проходження нормоконтролю</i>	03.05-11.05.2018	
11	<i>Попередній захист</i>	14.05-16.05.2018	
12	<i>Державний захист магістерської дисертації</i>	21.05-31.05.2018	

Студент

_____ (підпис) Белих Д. О.
_____ (прізвище та ініціали)

Науковий керівник дисертації

_____ (підпис) Кондратюк В. А.
_____ (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація: 137 с., 7 ч., 31 табл., 56 рис., 5 дод., 42 джерела.

БЕЗПЕКА, ВІДПРАЦЬОВАНЕ ЯДЕРНЕ ПАЛИВО, ЗБЕРІГАННЯ,
КОНТЕЙНЕР, ПОТУЖНІСТЬ ЕФЕКТИВНОЇ ДОЗИ, СХОВИЩЕ

Об'єкт дослідження – радіаційна безпека експлуатації контейнерів з відпрацьованим ядерним паливом (ВЯП) на майданчику централізованого сховища відпрацьованого ядерного палива (ЦСВЯП).

Предмет дослідження – розподіл поля іонізуючого і нейтронного випромінювання навколо контейнеру зберігання ВЯП.

Мета роботи – проведення аналізу радіаційної безпеки модуля зберігання ВЯП встановленого на майданчику ЦСВЯП при нормальній експлуатації та при запроектній аварії.

Методи дослідження – моделювання поля іонізуючого випромінювання навколо залізобетонного контейнеру сухого зберігання ВЯП здійснювалося за допомогою транспортного модуля методом Монте-Карло комп'ютерної програми SCALE 4.4a. Моделювання процесів перенесення радіоактивних речовин в атмосфері виконувалося в комп'ютерній програмі JRodos.

Проведено літературний огляд існуючої практики поводження з ВЯП. Розроблені консервативні моделі для розрахунку полів іонізуючого, нейтронного випромінювання навколо контейнерів зберігання ВЯП, а також проведений їх розрахунок. Розроблена консервативна модель розповсюдження радіаційного викиду в навколишньому середовищі у випадку запроектної аварії на ЦСВЯП, а також проведений її розрахунок.

За отриманими результатами виконаних досліджень проведено аналіз радіаційної безпеки модуля зберігання ВЯП на основі незалежних експертних розрахунків, який в подальшому може бути використаний при проведенні державної експертизи технології «сухого» зберігання ВЯП і лягти в основу експертних висновків щодо безпеки ЦСВЯП.

ABSTRACT

Master's thesis: 137 p., 7 sect., 31 tab., 56 fig., 5 ann., 42 ref.

SAFETY, SPENT NUCLEAR FUEL, STORE, CASK, EFFECTIVE DOSE RATE, STORAGE

The scope of the study is the radiation safety of the operation of spent nuclear fuel (SNF) storage cask at the centralized storage of spent nuclear fuel (CSSNF) site.

The subject of the study is the distribution of the fields of ionizing and neutron radiation around a storage cask with SNF.

The purpose of the study is the analysis of the radiation safety of the SNF storage module installed at the CSSNF site at normal operation and at the beyond design basis accident.

The research methods is simulation of the ionizing radiation field around the concrete cask of dry SNF has been carried out using the transport module by the Monte Carlo computer program SCALE 4.4a. The simulation of processes for the transport of radioactive substances in the atmosphere has been carried out by the computer program JRodos.

The literature review of the current practice of SNF management has been done. Conservative models were developed for calculating the fields of ionizing and neutron radiation around the storage cask with SNF, relevant calculations have been performed. A conservative model for spreading radioactive materials in the environment was developed for the case of beyond design basis accidents at the CSSNF, relevant calculations have been performed.

Based on the results of the research, the analysis of radiation safety of the SNF storage module has been done using independent expert calculations, which can be used in the future state expert review of the "dry" storage of spent fuel and will be the basis for expert conclusions about the safety of the CSSNF.

ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ	8
ВСТУП.....	10
1 СТАН ПРОБЛЕМИ ЩОДО ПОВОДЖЕННЯ З ВІДПРАЦЬОВАНИМ ЯДЕРНИМ ПАЛИВОМ І АНАЛІЗУ БЕЗПЕКИ ЙОГО ЗБЕРІГАННЯ	14
1.1 Основні напрями поведження з відпрацьованим ядерним паливом	14
1.2 Поводження з відпрацьованим ядерним паливом в світі	16
1.3 Поводження з відпрацьованим ядерним паливом в Україні	20
1.4 Технологія поведження з відпрацьованим ядерним паливом для централізованого сховища відпрацьованого ядерного палива	22
1.5 Аналіз безпеки сухого сховища відпрацьованого ядерного палива	26
1.5.1 Аналіз найбільш важливих факторів безпеки ЦСВЯП.....	27
1.5.2 Можливі підходи до аналізу радіаційного захисту централізованого сховища відпрацьованого ядерного палива	28
1.6 Висновки до першого розділу.....	30
2 РОЗРАХУНОК ПОЛЯ ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НАВКОЛО ЗАЛІЗОБЕТОННОГО КОНТЕЙНЕРУ ЗБЕРІГАННЯ ВІДПРАЦЬОВАНОГО ЯДЕРНОГО ПАЛИВА.....	31
2.1 Розрахункові моделі.....	31
2.2 Опис комп'ютерної програми SCALE	38
2.2.1 Розрахунковий модуль SAS3	38
2.3 Результати розрахунку поля іонізуючого випромінювання навколо одного залізобетонного контейнеру зберігання ВЯП	40
2.4 Аналіз отриманих розрахункових даних	42
2.5 Отримання вихідних даних для впровадження в проектну діяльність по експлуатації ЦСВЯП програми радіаційного захисту та процедур оптимізації опромінювання персоналу	44

2.6	Аналіз отриманих вихідних даних для впровадження в проектну діяльність по експлуатації ЦСВЯП програми радіаційного захисту та процедур оптимізації опромінювання персоналу	47
2.7	Висновки до другого розділу	48
3	АНАЛІЗ БЕЗПЕКИ МОДУЛЯ ЗБЕРІГАННЯ ВІДПРАЦЬОВАНОГО ЯДЕРНОГО ПАЛИВА НА МАЙДАНЧИКУ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО СХОВИЩА ВІДПРАЦЬОВАНОГО ЯДЕРНОГО ПАЛИВА ПРИ НОРМАЛЬНІЙ ЕКСПЛУАТАЦІЇ	49
3.1	Розрахунок річного ліміту часу перебування персоналу навколо контейнеру зберігання відпрацьованого ядерного палива	49
3.2	Висновок до третього розділу	50
4	РОЗРАХУНОК РОЗПОВСЮДЖЕННЯ РАДІАЦІЙНОГО ВИКИДУ В НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ І ОПРОМІНЕННЯ НАСЕЛЕННЯ	51
4.1	Розрахункові моделі	51
4.2	Опис системи підготовки прийняття рішень РОДОС	52
4.3	Аналіз розрахункових даних розповсюдження радіаційного викиду в навколишнє середовище і опромінення населення	56
4.4	Висновки до четвертого розділу	57
5	ОЦІНКА РАДІАЦІЙНИХ НАСЛІДКІВ ЗАПРОЕКТНОЇ АВАРІЇ НА ЦЕНТРАЛІЗОВАНОМУ СХОВИЩІ ВІДПРАЦЬОВАНОГО ЯДЕРНОГО ПАЛИВА	59
5.1	Максимальні значення розрахункових параметрів радіоактивного викиду ..	59
5.2	Невідкладні контрзаходи	60
5.3	Довгострокові контрзаходи	61
5.4	Висновок до п'ятого розділу	62
6	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	63
6.1	Технічні рішення та організаційні заходи з радіаційної безпеки на сухому сховищі відпрацьованого ядерного палива	63
6.1.1	Вимоги до розміщення і проектування об'єктів, призначених для роботи з джерелами іонізуючого випромінювання.	66

6.2 Електробезпека.....	68
6.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях.....	69
6.3.1 Пожежна безпека.....	73
7 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ	76
7.1 Опис ідеї проекту	76
7.1.1 Аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї	77
7.2 Технологічний аудит ідеї проекту.....	79
7.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	80
7.4 Розроблення ринкової стратегії проекту	85
7.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....	86
7.6 Висновок до сьомого розділу.....	88
ВИСНОВКИ.....	89
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	91
ДОДАТОК А «ГРАФІЧНІ МАТЕРІАЛИ ДО РОЗДІЛУ «СТАН ПРОБЛЕМИ ЩОДО ПОВОДЖЕННЯ З ВІДПРАЦЬОВАНИМ ЯДЕРНИМ ПАЛИВОМ І АНАЛІЗУ БЕЗПЕКИ ЙОГО ЗБЕРІГАННЯ»	
ДОДАТОК Б «РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ ПОЛЯ ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НАВКОЛО ЗАЛІЗОБЕТОННОГО КОНТЕЙНЕРУ ЗБЕРІГАННЯ ВІДПРАЦЬОВАНОГО ЯДЕРНОГО ПАЛИВА»	
ДОДАТОК В «РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ РАДІАЦІЙНОГО ВИКИДУ В НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ І ОПРОМІНЕННЯ НАСЕЛЕННЯ»	
ДОДАТОК Г «ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ»	
ДОДАТОК Д «ДОВІДКА ПРО ВПРОВАДЖЕННЯ»	