

Имя пользователя:
Баранюк Александр Володимирович

ID проверки:
1011555378

Дата проверки:
13.06.2022 09:43:36 EEST

Тип проверки:
Doc vs Internet + Library

Дата отчета:
13.06.2022 09:49:57 EEST

ID пользователя:
100007114

Название файла: TYa81-KovalZ-diplom

Количество страниц: 23 Количество слов: 3713 Количество символов: 26047 Размер файла: 611.48 KB ID файла: 1011427021

Обнаружены модификации текста (могут влиять на процент совпадений)

15.7% Совпадения

Наибольшее совпадение: 3.37% с источником из Библиотеки (ID файла: 1000032436)

9.18% Источники из Интернета 223 Страница 25

14% Источники из Библиотеки 668 Страница 27

0% Цитат

Исключение цитат выключено

Исключение списка библиографических ссылок выключено

0% Исключений

Нет исключенных источников

Модификации

Обнаружены модификации текста. Подробная информация доступна в онлайн-отчете.

Замененные символы 55

Подозрительное форматирование 4
страницы

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

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

Валерій ТУЗ

“ ” 2022 р.

Дипломна робота

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою *Атомні електричні станції*
спеціальності *143 Атомна енергетика*
на тему: *Реакторна установка ВВЕР-1000 потужністю 780 МВт*
зі збагаченням 2,76 %

Виконав (-ла): студент (-ка) *4* курсу, групи *ТЯ-81*

Коваль Захар Павлович
(прізвище ім'я, по батькові)

(підпис)

Керівник

к.т.н. доц. Коньшин В.І.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Консультант:

з питань охорони праці
(назва розділу)

к.т.н., доц. Сергій Капитанов
(посада, вчене звання, науковий ступінь та звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Рецензент

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

(підпис)

Засвідчую, що у цій дипломній роботі немає
запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ - 2022 року

3 СПЕЦ ПИТАННЯ: «Методи збільшення глибини вигорання палива в реакторах ВВЕР-1000»

3.1 Водо-водяні енергетичні реактори потужністю тисяча мегават (ВВЕР-1000 МВт)

ВВЕР-1000 є водо-водяним енергетичним реактором корпусного типу, який має міцний металевий корпус циліндричної будови з еліптичним дном. Стінки корпусу покриті антикорозійною наплавкою для зменшення впливу агресивного середовища в середині активної зони (АкЗ) реактора (нейтронне випромінювання, високий тиск теплоносія, висока температура).

В якості теплоносія та сповільнювача в реакторі використовується хімічно очищена глибоко-знесолена легка вода, оскільки вода має високі теплоемні характеристики, в неї низький коефіцієнт активації під дією іонізуючого випромінювання, а з економічної точки вона має низьку вартість. Вода знаходиться в корпусі під тиском 16 МПа, тому для перевантаження палива реактор необхідно зупиняти.

В реакторі розташовується головна енерговидільна частина якою є АкЗ. Вона складається з 163 гексагональних ТВЗ з розміром «під ключ» 234 мм (Рисунок 3.1). Кожна ТВЗ складається з 331 стрижня, з них 312 тепловиділяючих паливних елемента (ТВЕЛ) та 18 направляючих трубок для пучка регулюючих стержнів системи управління та захисту (СУЗ), центральна трубка для кріплення дистанційуючих решіток (щоб витримувати крок між ТВЕЛами в ТВЗ) та вміщення в неї вимірювальних приладів. [13]

Регулювання потужністю виконується за допомогою декількох способів: рідинне регулювання, механічне та вигоряючими поглиначами (ВП). Рідинне регулювання полягає у введенні в АкЗ (теплоносій) розчину борної кислоти (НЗВОЗ), концентрація якої на початку компанії 7 г/кг, також таке регулювання називається повільним, оскільки ефект від нього настає не відразу. Механічне регулювання полягає у введенні в АкЗ органів СУЗ, залежно від того на скільки необхідно змінити потужність, ми вводимо ці стрижні. Регулювання ВП полягає

у введенні в АкЗ стрижнів, з поглинаючого матеріалу або додавання цього матеріалу в паливо (нижче більше детально). Будова реактору ВВЕР-1000 наведена на Рисунок 3.2

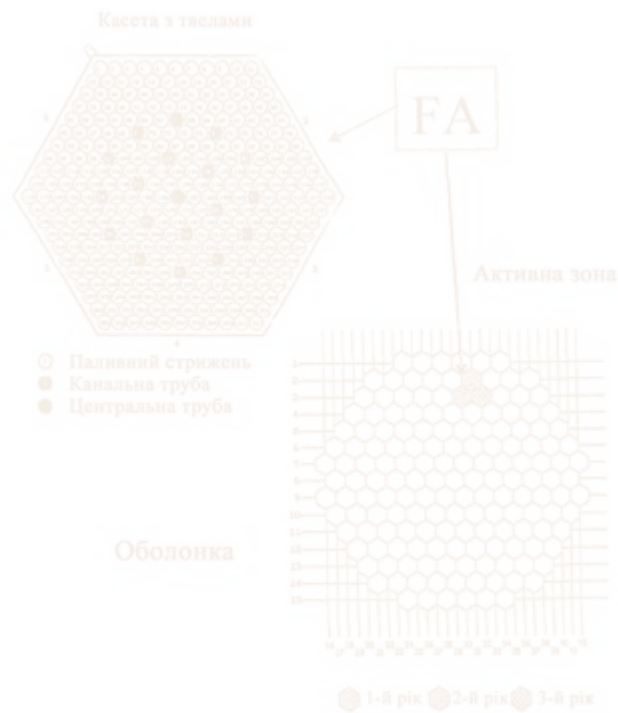
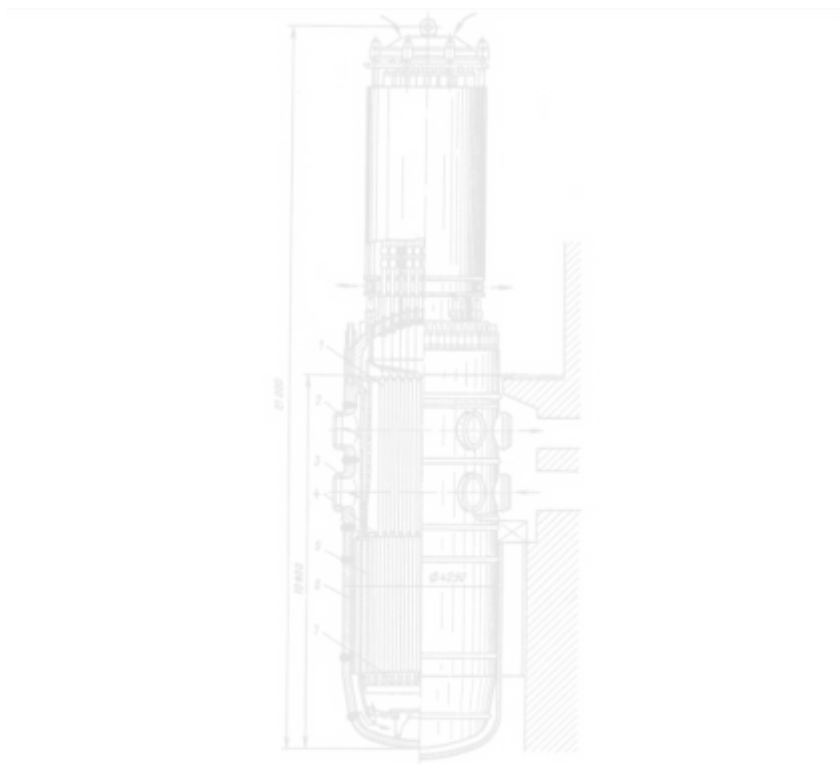


Рисунок 3.1– Поперечний переріз ТВЗ та АкЗ ВВЕР-1000 Рівненської АЕС [8]



1 – направляючі труби підвісок кластерів органів СУЗ; 2 – патрубок виходу теплоносія; 3 – патрубок входу теплоносія; 4 – прижимна плита; 5 – активна зона; 6 – стінка реакторного корпусу; 7 – опірна плита активної зони.

Рисунок 3.2 – Загальний вид реактора ВВЕР-1000 [10]

3.2 Вигорання палива (загальні відомості)

Для початку, необхідно розібратися, що ж відбувається в ядерному реакторі (ЯР) при його роботі. В ЯР відбувається велика кількість різних процесів під час експлуатації (зміна реактивності; вигорання ядерного палива; отруєння та шлакування реактора; зміна коефіцієнта розмноження; тощо), що пов'язані між собою і впливають один на інший.

Один з цих процесів пов'язаний зі зміною нуклідного складу палива. Що відбувається за рахунок взаємодії нейтрону з ядром палива, що призводить до збудження ядра палива і в подальшому поділу з утворення нових ядер (осколки ділення) або нового неподільного ядра за допомогою радіаційного захоплення. Утворенні ядра за допомогою радіаційних перетворень можуть змінитися не один раз, таким чином відбувається зміна нуклідного складу палива, і вона триває всю компанію реактора, і навіть вже після вилучення палива з АкЗ (залишкове енерговиділення).

При зміні нуклідного складу палива виділяється великий обсяг енергії, який ми використовуємо для отримання тепла або електроенергії. Виділення енергії відбувається не тільки за рахунок завантаженого подільного матеріалу (^{235}U ...), а також поділу напрацьованого матеріалу (^{239}Pu ; ^{240}Pu ; ^{241}Pu ...).

Деякі процеси, які відбуваються з завантаженим паливом в реакторі з уран-плутонієвим циклом[14]:

1. Захоплення нейтронів ядрами урану ^{235}U , після чого утворюються нові ядра (уламки ділення) або ізотопи урану ^{236}U ;
2. Радіаційне захоплення ядрами урану ^{238}U нейтронів, після чого через декілька днів за рахунок бета-розпаду утворюється ^{239}Pu , який може відігравати роль подільного елемента;
3. Захоплення нейтронів ядрами плутонію ^{239}Pu , після процес такий, як з ядрами урану ^{235}U але з утворенням ^{240}Pu .

За рахунок цих процесів відбувається зміна концентрації подільного матеріалу (завантаженого та напрацьованого), що впливає на зміну запасу реактивності в нашому реакторі, яка залежить від коефіцієнта розмноження. Ця зміна концентрації подільного матеріалу і є **вигоранням**.

Є декілька визначень з якими найчастіше пов'язують це поняття.

Вигорання – це зменшення кількості завантаженого подільного матеріалу, тобто це відношення різниці мас палива Δm_U до маси початкового завантаження палива m_U .

$$a = \frac{\Delta m_U}{m_U} \cdot 100\%$$

Але значно частіше використовують спосіб, який полягає в порівнянні виділеної енергії при роботі реактора за певний час до маси завантаженого палива.

$$a = \frac{Q_m \cdot t}{m_U},$$

з формули випливає, що одиницею вимірювання глибини вигорання є $\frac{\text{МВт} \cdot \text{добу}}{t}$.

З економічної точки зору, глибина вигорання палива – один з найважливіших показників економічної складової атомних електричних станцій (АЕС), яка визначає паливну складову собівартості електроенергії та теплової енергії, що відпускається споживачу.

3.3 Методи впливу на вигорання палива

3.3.1 Вплив вигоряючих поглиначів на вигорання палива в активній зоні реактора

При розробці ядерних реакторів (ЯР), що характеризуватися великою потужністю та кампанією реактора, необхідно мати значний запас реактивності. Компенсація цієї реактивності звичайними стержнями регулювання викликає значні труднощі при конструюванні і створює великі нерівномірності нейтронного поля в АкЗ. Один із способів компенсації надлишкової реактивності є – введення в АкЗ вигоряючих поглиначів (ВП).

Вигоряючий поглинач – це такий елемент, який вводиться в АкЗ має великий переріз поглинання теплових нейтронів але продукти реакції, які при цьому утворюються мають набагато менший переріз поглинання.

Можна вибрати таку швидкість вигорання поглинача, що система буде критичною в будь-який момент роботи ЯР без втручання ззовні. Це дає можливість значно зменшити долю реактивності, яку необхідно погасити механічною системою регулювання, вирівняти поле енерговиділення і збільшити питому потужність установки. Швидкість вигорання поглинача визначається його перерізом захоплення нейтронів і характером розміщення в АкЗ ЯР.

Є декілька способів розміщення ВП в АкЗ гетерогенний та гомогенний. Також є спосіб напilenня ВП на паливо.

Гетерогенний – вигоряючий поглинач не змішується з паливом(фізично розділені якимось бар'єром). ВП частково заміщають ТВЕЛи в паливних решітках ТВЗ або розміщують у каналах, передбачених в ТВЗ для поглинаючих елементів системи управління захистом (СУЗ). Позитивний моментом використання цього способу розміщування є можливість регулювати ВП, що не можна зробити з гомогенним. Після експлуатації вони витягуються з реакторної установки (РУ) та відправляються на зберігання.

Недоліком цього виду ВП є:

- погіршення економічності паливного циклу за рахунок додаткових витрат на виготовлення, транспортування й зберігання після опромінювання;
- необхідність підвищення збагачення палива при заміщенні частини твेलів в ТВЗ (при цьому збільшується лінійне теплове навантаження на твели);
- неповного вигорання поглинача, що призводить до втрат енерговиробітку реактора (тобто не вивільняється повністю «законсервована» реактивність).

Гомогенний спосіб розміщення ВП полягає в змішуванні ВП безпосередньо з паливом, тобто рівномірне інтегруванні ВП в паливо. За рахунок цього нам не потрібно використовувати канали для СУЗ, збільшувати збагачення

палива, витратити додаткові кошти на зберігання і відпрацьованого транспортування ВП. У цього способу розташування є свої недоліки, як ускладнення регенерації відпрацьованих ТВЕЛів.

Елементи або сполуки, які використовуються на сьогоднішній день в якості ВП: борний; гадолінієвий; ербійовий та інші. [18]

Борний вигоряючий поглинач – як правило, використовується у формі карбиду бора (B_4C), що забезпечує термічну та хімічну стійкість сполуки. Можуть використовувати, як природний бор так і збагачений за ^{10}B до 75% Масові та теплові перерізи захоплення наведені в тТаблиця 3.1 .

Таблиця 3.1 – Ізотопний склад природного бору та їх теплові перерізи захоплення[9] та [10]

Ізотоп	Доля, %	$\sigma_{a,}$ барн	$\sigma_{a,}$ пр., барн	$\sigma_{a,}$ сум $0,75\text{-}^{10}B$, барн
^{10}B	81,9	3837	≈ 710	≈ 4010
^{11}B	19,1			

Приведемо приклад використання гомогенно розташованого борного вигоряючого поглинача, розрахунки якого проводилися за допомогою розрахункового коду «WIMSD5» [6]. Дані для розрахунків узяв з 1 та 2 розділів цієї роботи.

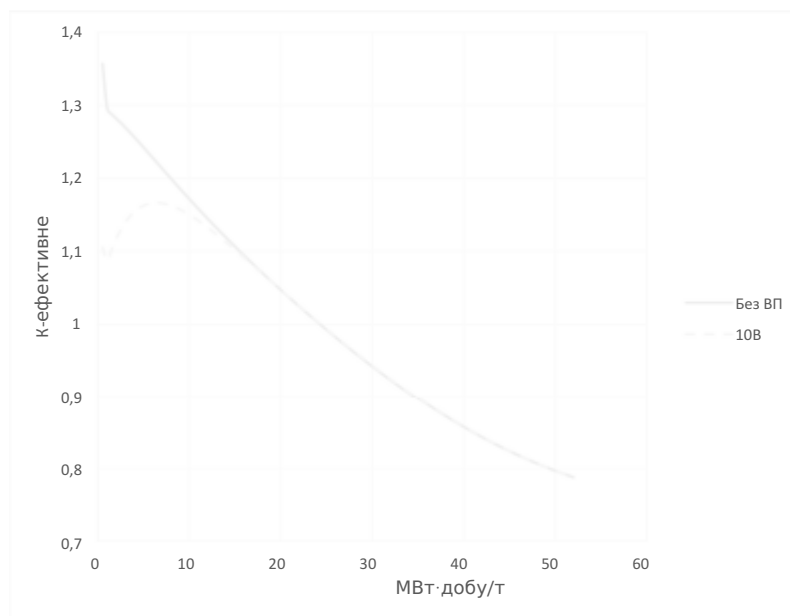


Рисунок 3.3 – Глибина вигорання палива з борним поглиначем і без ВП

В якості ВП, я використав бор (^{10}B , 100%). З графіка на Рисунок 3.3 видно, що на початку компанії надлишкова реактивність була компенсована але це тривало лише певний час, після реактивність почала зростати десь до 7 МВт·дб/т. Після цієї відмітки вона знову почала падати. Це все відбувається за рахунок вигорання ВП.

Гадолінієвий вигоряючий поглинач – використовується з природного гадолінію у формі триоксид гадолінію (Gd_2O_3). Природній гадоліній складається з 7 ізотопів лише ^{152}Gd є радіоактивним, всі інші стабільні. Склад та теплові перерізи захоплення наведені в Таблиця 3.2 .

Таблица 3.2 – Ізотопний склад природного гадолінію, їх теплові перерізи захоплення та середні значення [8] та [10]

Ізотоп	Доля, %	σ_a , барн	
^{152}Gd	0,2	1070	≈46600
^{154}Gd	2,18	92,3	
^{155}Gd	14,8	600000	
^{156}Gd	20,47	1,7	
^{157}Gd	15,65	254000	
^{158}Gd	24,84	2	
^{160}Gd	21,86	0,8	

Також приведемо приклад використання гомогенно розташованого гадолінієвого поглинача в ВВЕР-1000 взятого з [8]

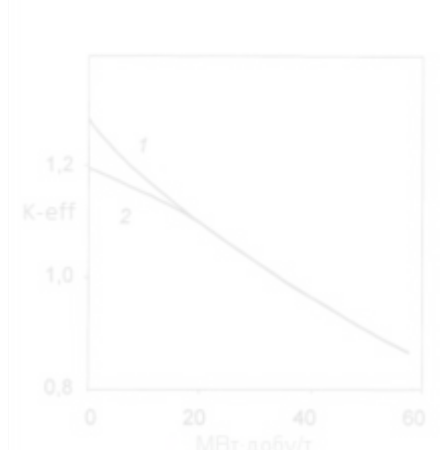


Рисунок 3.4 – Глибина вигорання з гадолінієвим (2) і без (1) поглинача

На Рисунок 3.4 перша крива відповідає завантаженому паливу без використання вигоряючого поглинача, а друга крива вже з використання ВП у вигляді Gd_2O_3 (3.7% від маси урану) в 12 ТВЕЛах, в кожній ТВЗ.

Однією з задач ВП є зменшення коефіцієнта ефективного розмноження на початку компанії. З рисунку видно, що гадолінієвий поглинач впорався з цією задачею, але зі збільшенням вигорання не так однозначно. Вже після відмітки глибини вигорання в 20МВт·добу/т ефект ВП нівелюється через сам же гадоліній (непарні ізотопи в складі природнього гадолінію за рахунок радіаційного захоплення, ізотопи з найбільшими перерізами поглинання в тепловій області стають ізотопами з набагато меншим значенням перерізу). З цього можна зробити висновки, що цей вид поглинача і спосіб його розміщення допоміг на початку компанії але не призвів до бажаних результатів (суттєвого збільшення глибини вигорання), ба навіть більше інколи застосовуючи цей ВП можна зменшити глибину вигорання, проте все ж його використання допоможе вирівняти енерговиділення по діаметру.

Використання того чи іншого способу розміщення ВП в АкЗ залежить від того, з якою метою це робиться, тому треба це враховувати.

3.3.2 Створення більш стійких ТВЕЛів

При розробці методів збільшення глибини вигорання палива необхідно враховувати, що вона обмежена стійкістю оболонки ТВЕЛів. На даний момент в Україні, а саме на Запорізькій АЕС 6 блок, обмеження по глибині вигорання палива дорівнюють 55МВт·дб/т [11]. Оскільки під час роботи ЯР на оболонку діє висока температура теплоносія з одного боку та температура палива з іншого; тисне все поділене паливо, яке збільшилося в об'ємі майже в 2 рази (бо розміри атомів приблизно однакові, а при розпаді ядер урану утворюються два нових ядра) – розпухання палива; нейтронне навантаження; також впливає вид теплоносія, палива, сповільнювача, самої оболонки ТВЕЛа, як будова так і матеріал.

Тому для збільшення глибини вигорання ядерного палива в реакторах ВВЕР-1000 необхідно зробити більш витривалі оболонки ТВЕЛів або зменшити вплив, який діє на оболонку.

Як мінімум можна зменшити кількість перехідних процесів в реакторі, а саме зміни потужності реактора, через недостатню кількість споживачів в енергосистемі. (може треба прибрати, це як коментарь)

Як приклад можна привести порівняння 3-х типів тепловиділяючих збірок «ТВС-А», «УТВС» та «ТВС-В» і як від їх конструкційного виконання залежить витривалість оболонок ТВЕЛів. Данні наведені в Таблиця 3.3 та Таблиця 3. 4 узяті з [16]

Таблиця 3.3 – Порівняння відносної питомої енергії розсіювання для різних ТВЗ після 900 ефективних діб роботи в базовому навантаженні

Режим навантаження	Базовий (100%)		
	"УТВС"	"ТВС-А"	"ТВС-В"
Тип ТВЗ			
Глибина вигорання ядерного палива МВт*діб/кг-U	63,83	59,45	56,88
Ефективна деформація оболонки ре, %	10,06	10,32	12,52
Накопичена питома енергія розсіювання матеріалу оболонки А, МД/м ³	9,933	10,42	16,03
Відносна питома енергія розсіювання, %	62	65	100

Таблица 3. 4 – Порівняння відносної питомої енергії розсіяння для різних ТВЗ після 900 ефективних діб роботи в змінному навантаженні

Режим навантаження	Змінний		
	"УТВС"	"ТВС-А"	"ТВС-В"
Тип ТВЗ	"УТВС"	"ТВС-А"	"ТВС-В"
Глибина вигорання ядерного палива МВт*діб/кг-U	63,95	59,56	57
Ефективна деформація оболонки ре, %	7,648	7,862	9,402
Накопичена питома енергія розсіяння матеріалу оболонки А, МД/мЗ	7,313	7,721	11,51
Відносна питома енергія розсіяння, %	63,5	67,1	100

Дослідники зробили висновок, що оболонка "ТВС-В" має найменшу витривалість, порівняно з іншими. Ще можна додати, що це вплинуло на глибину вигорання палива, як бачимо з даних таблиць у «УТВС» є найменшою питома енергія розсіяння за якою проводили дослідження і глибина вигорання в неї найбільша. Цей приклад дає зрозуміти, що глибина вигорання залежить від стійкості оболонки.

3.3.3 Збагачення палива

Одним зі способів впливу на глибину вигорання палива в реакторах ВВЕР-1000 є зміна збагачення палива. Оскільки, концентрація ^{235}U в природному урані є недостатньою для роботи енергетичного реактора на теплових нейтронах типу ВВЕР-1000, Таблица 3.5

Таблица 3.5 – Состав природного урана [7]

ИЗОТОП	^{234}U	^{235}U	^{238}U
Доля, %	0,0055	0,72	99,2745

Тому проводять збагачення. Збагачення – технологічний процес, який полягає у збільшенні концентрації ^{235}U по відношенню до концентрації ^{238}U . Його здійснюють за допомогою газодифузійного або центрифужного способу на розділювальних заводах після попереднього фторування, тобто перетворення природного урану в гексафторид урану UF_6 . Фторування зазвичай відбувається за рахунок двох процесів: сухий та очисно-фторидний процес. Після цього гексафторид урану пропускається через пористі мембранофільтри до отримання потрібного збагачення палива. Або досягання заданого збагачення за допомогою центрифужного способу.

Головним критерієм дієвості процесу збагачення за ^{235}U є концентрація ^{235}U , яка лишилася у відвалі або збіднілому урані. На даний момент це 0.2-0.3 % [12], очевидно, що чим меншим буде ставати це значення, тим краще, оскільки за рахунок цього можна буде використовувати меншу кількість уранової руди, що як економічно, так і екологічно позитивно вплине на атомну енергетичну галузь.

Приклад зміни збагачення палива, на основі ТВЗ, яку розглядали в 1 та 2 розділі даної роботи. Розрахунки були виконані за допомогою розрахункового коду «WIMSD5» [6]

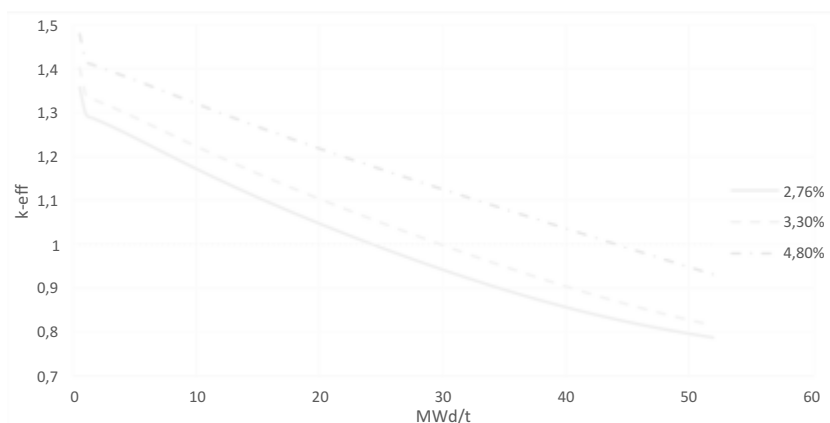


Рисунок 3.5 – Залежність ефективного коефіцієнта розмноження від вигорання при різному збагаченні ядерного палива

На Рисунок 3.5 наведено три графіка, які характеризують різну збагачуваність палива (2,76%; 3,3% та 4,8%), точковою лінією позначена межа коефіцієнта розмноження при якій може працювати реактор (тобто відбуватися ланцюгова реакція поділу подільного матеріалу), що дорівнює одиниці. З графіка видно, що найбільше вигорання при збагаченні 4,8% за ^{235}U , це відбувається за рахунок збільшення концентрації подільного матеріалу, що в свою чергу приводить до поділу більшої кількості подільного матеріалу, тобто виділення більшої кількості енергії. При цьому необхідно враховувати кількість напрацьованих радіоактивних нуклідів і їх радіоактивність, якщо їх кількість збільшиться, то час витримки ТВЗ в басейнах витримки збільшиться, а це може призвести до додаткового витрат.

Ще можна привести приклад, як паливо з різним збагаченням в «ТВСА» залежить від вигорання.

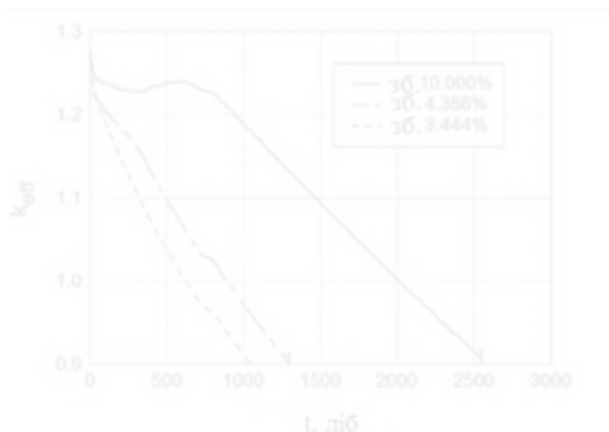


Рисунок 3.6 – Зміна розмножуючи властивостей «ТВСА» [17]

З графіка видно, що зі збільшення збагачення палива, збільшується і час роботи, відповідно вигорання палива теж збільшується. Але є недоліки, які пов'язані, як з вартістю палива, нормами безпеки (вони посилюються, бо паливо більш збагачене). Також необхідно враховувати радіоактивність та витримку в басейні витримки (згадував про це вище). Також приведемо приклад з [17].

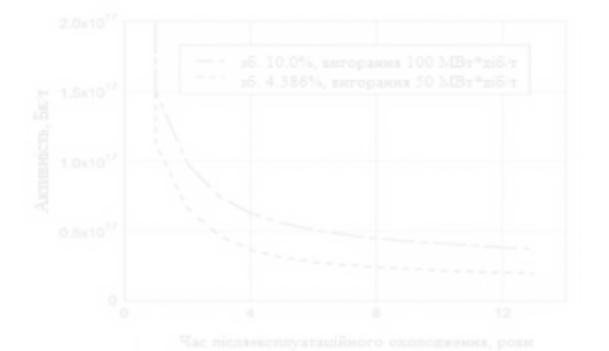


Рисунок 3.7 – Зміна активності відпрацьованого ядерного палива (ВЯП) [17]

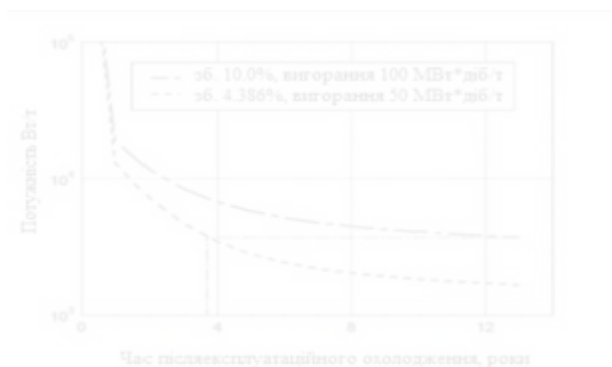


Рисунок 3.8 – Зміна залишкового енерговиділення ВЯП [17]

З цих графіків наглядно видно, що зі збільшенням збагачення палива збільшився і час перебування ВЯП в басейні витримки з 4 до 12 років, що є значущим. Тому для того, щоб використовувати таке паливо необхідно модернізувати басейни витримки, бо за 12 років в басейні витримки накопичиться велика кількість ВЯП перш-ніж почнуть його звідтіля вивантажувати на майданчики сухого зберігання. Позитивним є те, що зменшується кількість ВЯП в об'ємі на одиницю виробленої потужності.

3.3.4 Перестановка палива в реакторах ВВЕР-1000

На даний момент в реакторах ВВЕР-1000 використовується чотирирічна паливна компанія, яка дає змогу збільшити вигорання палива. Це досягається за рахунок багатьох модифікацій, які були проведені на АЕС. Однією з них є різні методи перевантаження ядерного палива в АкЗ. А саме часткове перевантаження палива з його переміщенням по радіусу АкЗ. Знизу наведений приклад завантаження паливом ЯР Рисунок 3.9 для кожного такого завантаження, розташування ТВЗ по АкЗ перераховується персонально.

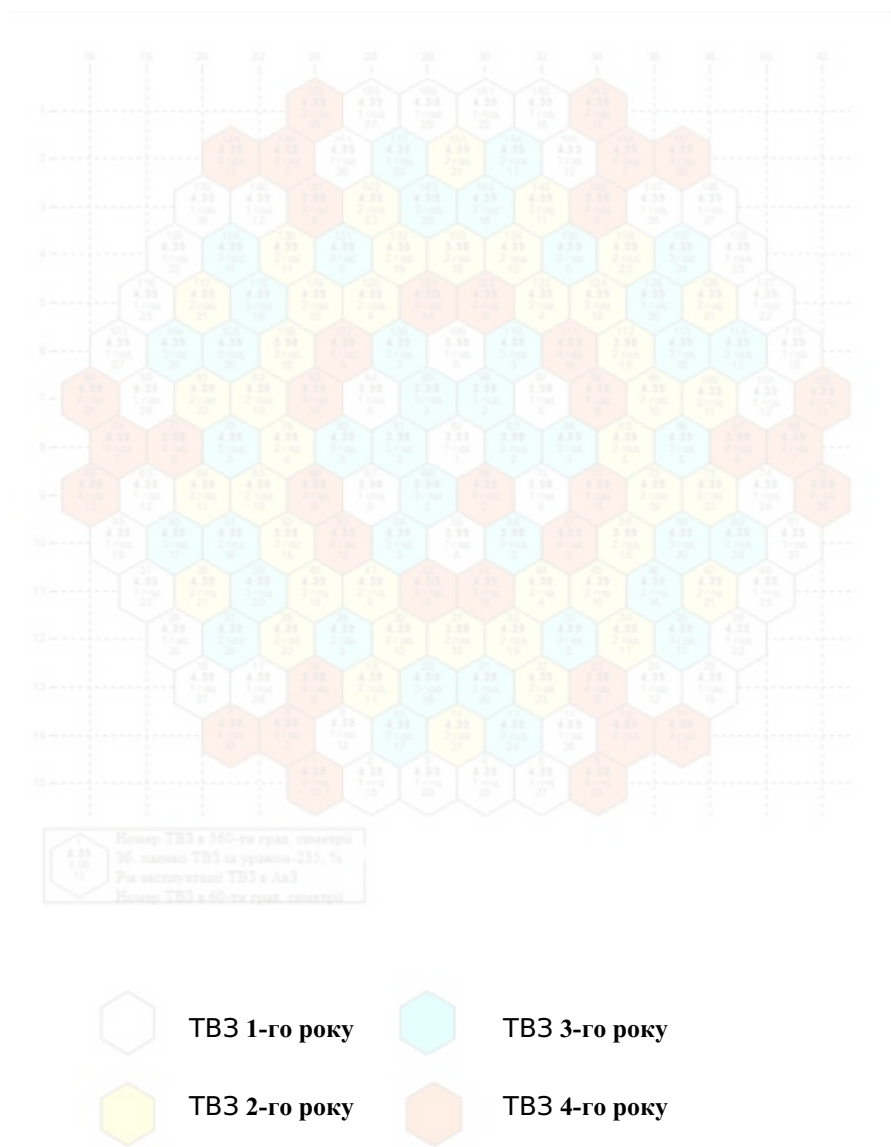


Рисунок 3.9 – Картограма 24-го паливного завантаження енергблоку №6 для сектору симетрії 360 градусів. Всі зображені ТВЗ типу «ТВСА» [11]

З вдосконаленням алгоритмів перевантаження палива, можна збільшити глибину вигорання.

3.3.5 Збільшення маси палива в АкЗ

Оскільки вигорання палива це зменшення кількості подільного матеріалу в паливі, то очевидно, що зі збільшення кількості подільного матеріалу виділиться більша енергія і збільшиться середня глибина вигорання по АкЗ.

Збільшення маси палива АкЗ реактора можна досягти різними способами. Один з них це збільшення кількості ТВЗ в реакторі але щоб застосувати його необхідно збільшити розміри самого реактора або зменшити об'єми, які займає внутрішньо реакторне обладнання. З цим пов'язано ряд проблем як інженерних так і економічних, такі як складність виготовлення більшого реактора, зменшення за рахунок цього характеристик міцності; складність транспортуванні (в Україні це здійснюється за допомогою залізниці, тому є обмеження по ширині); зменшення рівня безпеки, через прибирання додаткового внутрішньореакторного обладнання.

Другий спосіб полягає у збільшенні маси палива в ТВЕЛі за рахунок позбавлення від центрального отвору, що дасть додатковий простір для розміщення палива. Можна привести приклад порівнявши паливо компанії «ТВЕЛ» та «Westinghouse». Компанія «ТВЕЛ» поставляла на українські станції ТВЗ «ТВЗ-А», які мають центральний отвір в паливній таблетці діаметром 14 [мм], а «Westinghouse» «ТВЗ-В» не має внутрішнього отвору [15].

Таблиця 3.6 – Відмінні конструктивні характеристики ТВЕЛів ТВЗ-А та ТВЗ-В [15]

Параметр	ТВЗ-А	ТВЗ-В
Зовнішній діаметр оболонки, см	0,914	0,910
Внутрішній діаметр оболонки, см	0,773	0,8
Товщина оболонки, см	0,069	0,057
Діаметр паливної таблетки, см	0,757	0,784

Таблица 3.6 – Продовження

Діаметр центрального отвору таблетки, см	0,14	-
Зазор між паливом та оболонкою, см	$7,5 \cdot 10^{-3}$	$8 \cdot 10^{-3}$
Наявність впади в паливі	-	з обох сторін
Діаметр впадини, см	-	0,62
Глибина впадини, см	-	0,02
Загальна вага палива в ТВЕЛі, кг	1,487	1,554

З наявних відмінностей в таблиці 3.6 можна побачити, що маса палива ТВЗ-W є вищою в порівнянні з ТВЗ-A.

Список використаних джерел

1. Широков С. С. Фізика ядерних реакторів: Навч. Посібник. – Вид. 2-ге. – К., 1998. – 288 с.: іл. – Рос. мовою. – ISBN 5-7763-8427-3
2. Ривкин С.Л., Александров А.А. Теплофизические свойства воды и водяного пара. М.: Энергия, 1980. – 420 с.
3. Бойко В.И., Кошелев Ф.П., Шаманин И.В. [и др.] Физический расчет ядерного реактора на тепловых нейтронах: учебное пособие. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 504 с.
4. Теплогідрравлічні процеси в енергетичних установках. Розрахунова робота [Електронний ресурс]: Навч. посіб. для студ. спеціальності 143 «Атомна енергетика», спеціалізації «Атомні електричні станції» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: В.Ю.Кравець, Є.С. Алексеїк, О.С.Алексеїк – Електронні текстові дані (1 файл: 0,79 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 39 с.
5. Решетников Ф.Г., Бибилашвили Ю.К., Головнин И.С. и др. Разработка, производство и эксплуатация тепловыделяющих элементов энергетических реакторов. – М.: Энергоатомиздат. – 1995. – Т.1. – 320 с.
6. WIMSD5 Deterministic Multigroup Reactor Lattice Calculations URL: <http://www.nea.fr/abs/html/nea-1507.html>
7. Вікіпедія [Електронний ресурс] : вільна бібліотека /ізотопи урану/ 2015 URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%86%D0%B7%D0%BE%D1%82%D0%BE%D0%BF%D0%B8_%D1%83%D1%80%D0%B0%D0%BD%D1%83
8. Широков С. В., Заец В. В. Глубина выгорания ядерного топлива ВВЭР с различными выгорающими поглотителями К. - 2011
9. Live Chart of Nuclides [Електронний ресурс]: База даних нуклідів URL: <https://www-nds.iaea.org/relnsd/vcharthtml/VChartHTML.html>
10. Тема 18 использование выгорающих поглотителей [Електронний ресурс]: URL: <https://dereksiz.org/tema-18-ispolezovanie-vigorayushih-poglotitelej.html>

11. АЛЬБОМ НЕЙТРОННО – ФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АКТИВНОЙ ЗОНЫ РЕАКТОРА ЭНЕРГОБЛОКА № 6 ЗАЭС КАМПАНИЯ № 24
12. Энергетика історія, сучасність і майбутнє. Розвиток атомної енергетики та об'єднаних енергосистем [Електронне ресурс] / 6.2.2.Збагачення урану/ – К., 2011-2013. URL: <http://energetika.in.ua/ua/books/book-4/part-1/section-6/6-2/6-2-2-zbagachennya-uranu>
13. Энергетика історія, сучасність і майбутнє. Розвиток атомної енергетики та об'єднаних енергосистем [Електронне ресурс] /2.4.1.Реактори на теплових нейтронах/ – К., 2011-2013. URL: <http://energetika.in.ua/ua/books/book-4/part-1/section-2/2-4/2-4-1>
14. Широков С. В. Нестационарные процессы в ядерных реакторах: Навч. посібник. – К., 2002. – 286 с. – Рос. мовою. – ISBN 5-8238-0765-1
15. Максимов М.В., Пельх С.Н., Маслов О.В., Баскаков В.Е. Методика сравнения долговечности оболочек твэлов, работающих в переменном режиме. – Одесса, 2008
16. Максимов М.В., Пельх С.Н., Баскаков В.Е. Сравнение долговечности оболочек твэлов реактора ВВЕР-1000, работающего в переменном режиме. – Одесса, 2009
17. Белодед Е.И., Ковбасенко Ю.П. Некоторые характеристики топлива с обогащением выше 5 % гипотетической кассеты ТВСА реактора ВВЭР-1000 - 2016
18. Энергетика історія, сучасність і майбутнє. Розвиток атомної енергетики та об'єднаних енергосистем [Електронне ресурс] /7.2Нове ядерне паливо– К., 2011-2013. URL: <http://energetika.in.ua/ua/books/book-4/part-1/section-7/7-2>
19. Про охорону праці: [Електронне ресурс]. Закон України від 14.10.1992 р. № 2695-XII. Відомості Верховної Ради України (ВВР), 1992, № 49, ст.668. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12#Text>

20. Коваль М.П. Порівняння паливних циклів реактора ВВЕР-1000 з використанням палива ТВЗА та ТВС-W. Дипломна робота: Севастополь – 2015
21. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень ДСН 3.3.6.042-99: [Електронне ресурс]. Постанова міністерства охорони здоров'я України головний державний санітарний лікар України від 01.12.1999 р. №44. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va042282-99#Text>
22. Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин ДСанПІН 3.3.2.007-98: [Електронне ресурс]. Постанова головного санітарного лікаря України від 10.12.1998 р. №7. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0007282-98#Text>
23. Про введення в дію Державних гігієнічних нормативів «Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97)»: [Електронне ресурс]. Постанова головного державного санітарного лікаря України перший заступник міністра охорони здоров'я України від 01.12.1997 р. №62. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0062282-97#Text>
24. ГГ[Н 6.6.1-6.5.0611-2000. Нормы радиационной безопасности Украины. Дополнение: Радиационная защита от источников потенциального излучения. (НРБУ-97/Д-2000). Киев, 2000 г.
25. ДБН В.2.5-28-2006 "Природне і штучне освітлення "[Електронне ресурс]: Наказ міністерство будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України від 15.05.2006 р. №168 URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0168667-06#Text>

Совпадения

Источники из Интернета

223

11	https://zp.edu.ua/sites/default/files/konf/konspekt_lekciy_opg_fret.pdf	1.75%
23	https://econ.vernadskyjournals.in.ua/journals/2019/30_69_4/30_69_4_2/30_69_4_2.pdf	3 источника 1.4%
24	https://core.ac.uk/download/pdf/323530054.pdf	1.37%
26	https://op.edu.ua/sites/default/files/publicFiles/news/2_roboty_peremozhci_sayt.pdf	26 источников 1.37%
27	https://core.ac.uk/download/pdf/323532052.pdf	1.35%
28	http://www.vtei.com.ua/konfa/23_05_19/11_72.pdf	1.35%
33	https://core.ac.uk/download/pdf/323533126.pdf	1.27%
35	https://uchika.in.ua/polojennya-pro-vipusknu-atestaciyu-studentiv-kpi-im-igorya-sik.html?page=14	17 источников 1.19%
36	https://core.ac.uk/download/pdf/323529024.pdf	1.19%
37	https://ela.kpi.ua/handle/123456789/31817	2 источника 1.19%
38	https://dduvs.in.ua/wp-content/uploads/files/Structure/library/student/lectures/1116/2.1.pdf	1.19%
39	http://eir.zntu.edu.ua/bitstream/123456789/4005/1/Koliesnik_Current.pdf	1.16%
40	https://core.ac.uk/download/pdf/323535516.pdf	16 источников 1.13%
41	http://nbuv.gov.ua/node/5652	18 источников 1.13%
42	https://core.ac.uk/download/pdf/323528397.pdf	1.13%
45	http://bmc.fbmi.kpi.ua/uploads/diplom/bosenko-olga-volodimir%D1%96vna.pdf	2 источника 1.08%
46	http://energetika.in.ua/ru/books/book-4/part-1/section-5/75-entsiklopediya/rozvitok-atomnoji-energetiki-ta-ob-edn	2 источника 1.08%
47	http://bitec.nuou.org.ua/wp-content/uploads/2019/07/nuou_ebook-1.pdf	1.02%
51	https://tnpu.edu.ua/vyhovna%20robota/2020_final_Zbirnyk%20tez_Gender.pdf	2 источника 0.97%
53	https://docplayer.net/70189516-Magisterska-disertaciya.html	0.94%
54	https://don.kyivcity.gov.ua/files/2018/5/22/mon.pdf	10 источников 0.92%

56	https://duan.edu.ua/images/News/UA/Departments/Management/2020/monograph_ekstr_dyst_navch.pdf	2 источника	0.89%
58	http://eir.zntu.edu.ua/bitstream/123456789/5212/1/MR_Shirocolobov.pdf		0.89%
59	https://hrliga.com/index.php?id=11741&module=news&op=view		0.86%
62	https://www.wszia.opole.pl/ebook/9_2020.pdf	2 источника	0.81%
64	https://fisf.sspu.edu.ua/images/2021/gerfil/zbirnik_2021_7fae1.pdf		0.7%
65	https://donnaba.edu.ua/docs/navchannya/pidsumkova_atestecia.pdf		0.7%
67	https://www.BiblioFond.ru/view.aspx?id=662926		0.67%
70	http://tc.kpi.ua/content/diplom/studwork/MW_Godnyi.pdf		0.65%
74	https://knowledge.allbest.ru/physics/3c0a65635b3bc79b5d53a89421206d37_0.html		0.57%
75	http://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/30677/3/dyplom_Yurchenko_K_2020.pdf		0.57%
76	http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/RE18103.html		0.57%
77	https://docs.dtkr.ua/ru/doc/va042282-99	16 источников	0.54%
79	http://fmv.nau.edu.ua/wp-content/uploads/2020/06/%D0%97%D0%91%D0%86%D0%A0%D0%9D%D0%98%D0%9A-VI-%D0%9...		0.54%
86	https://khntusg.com.ua/wp-content/uploads/2019/11/visnik_hntusg_206.pdf		0.48%
92	http://distance.dnu.edu.ua/ukr/nmmateriali/documents/2013diplom.pdf	3 источника	0.43%
94	https://ipiend.gov.ua/wp-content/uploads/2021/12/ZMINY-POLITYChNYKh-REZhYMIV.pdf		0.43%
96	https://lpnu.ua/sites/default/files/2020/dissertation/1595/arhitekurno-planuvalnaorganizacijaberezkoov.pdf		0.43%
98	http://eadnurt.diit.edu.ua/bitstream/123456789/4707/1/WaterProtection.pdf		0.4%
99	https://tou.edu.kz/arm/upload/umk_pdf/132833.pdf	8 источников	0.4%
100	https://nashaucheba.ru/v74711/teplogidravlichnij-rozrahunok-reaktora-tipu-rbmk-1000	3 источника	0.4%
102	http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/RE12719.html	9 источников	0.35%
103	http://elib.biblioatom.ru/text/atomnaya-energiya_t108-5_2010/0004	2 источника	0.32%
109	http://www.kdu.edu.ua/conf_fin/materials_2020.pdf	2 источника	0.27%

110	https://infourok.ru/stattya-na-temu-genderni-osoblivosti-aleksitimii-1785471.html	10 источников	0.27%
113	https://www.BiblioFond.ru/view.aspx?id=867908	3 источника	0.24%
114	http://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/cybertesis/11530		0.24%
115	http://tef.kpi.ua/files/pdf/programa_fahovih_vstupnih_2016_1427608799.pdf		0.22%
116	https://www.naiiu.kiev.ua/files/naukova-diyalnist/naukovi-zaxodi/zbirnuki/2020/diskus-pytannya.pdf		0.22%
117	http://dipromisto.gov.ua/files/NMD/DBN_B.2.2-12_2018.pdf	17 источников	0.22%
118	https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream-download/123456789/71323/1/%D0%91%D0%BB%D1%83%D0%B6%D0%B0	18 источников	0.22%
119	http://earchive.tpu.ru/bitstream/11683/7570/1/TPU012259.pdf		0.22%
120	https://kneu.edu.ua/userfiles/fupstap/ZbD196rka_tez_24_02_2021.pdf		0.22%

Источники из Библиотеки

668

1	TYa-Matkovsky-diploma-2019	ID файла: 1000032436	Учебное заведение: National Technical University	59 источник	3.37%
2	TYa51-PotoskuievVS-diploma-2019 (1)	ID файла: 1000051892	Учебное заведение: National Technical Uni	2 источник	3.07%
3	TYa51-SemakPS-diploma-2019	ID файла: 1000058446	Учебное заведение: National Technical University	6 источник	2.77%
4	TYa52-TarasiukBV-diploma-2019	ID файла: 1000051888	Учебное заведение: National Technical Universi	47 источник	2.67%
5	TYa52-MykytyukIO-diploma-2019	ID файла: 1000063003	Учебное заведение: National Technical University of Ukr...		2.61%
6	TYa51-MaslygaYO-diploma-2019	ID файла: 1000053756	Учебное заведение: National Technical University of Ukra...		2.13%
7	TYa82-Kurnik-diploma-2022	ID файла: 1011420949	Учебное заведение: National Technical University of	23 источник	2.13%
8	Мещерінов	ID файла: 1000035014	Учебное заведение: National Technical University of Ukraine "Kyiv	31 источник	2.05%
9	TYa82-GrishinDI-diploma-2022	ID файла: 1011426326	Учебное заведение: National Technical University	5 источник	2.05%
10	Студенческая работа	ID файла: 1000092429	Учебное заведение: Lviv Polytechnic National Universit	62 источник	1.83%
12	Студенческая работа	ID файла: 1000090409	Учебное заведение: Lviv Polytechnic National Universit	6 источник	1.7%
13	Студенческая работа	ID файла: 1000090430	Учебное заведение: Lviv Polytechnic National Universit	8 источник	1.67%
14	Студенческая работа	ID файла: 1000095234	Учебное заведение: Lviv Polytechnic National Universit	2 источник	1.64%

15	TF51-Tkach-diploma-2019	ID файла: 1000053913	Учебное заведение: National Technical University of U	12 Источник	1.59%
16	Студенческая работа	ID файла: 1000084657	Учебное заведение: Lviv Polytechnic National Universit	2 Источник	1.56%
17	Студенческая работа	ID файла: 1000090431	Учебное заведение: Lviv Polytechnic National University		1.54%
18	Студенческая работа	ID файла: 1000090410	Учебное заведение: Lviv Polytechnic National University		1.51%
19	Студенческая работа	ID файла: 1000090420	Учебное заведение: Lviv Polytechnic National Universit	19 Источник	1.51%
20	Студенческая работа	ID файла: 1000043790	Учебное заведение: Zhytomyr National Agroecological	45 Источник	1.45%
21	Студенческая работа	ID файла: 1000072673	Учебное заведение: Lviv Polytechnic National Universit	8 Источник	1.45%
22	TF51-Piven-diploma-2019	ID файла: 1000053958	Учебное заведение: National Technical University of Uk	7 Источник	1.43%
25	Студенческая работа	ID файла: 1000098233	Учебное заведение: Lviv Polytechnic National Universit	2 Источник	1.37%
29	Петровець С.О. ТС-51	ID файла: 1000042559	Учебное заведение: National Technical University of Ukr	2 Источник	1.35%
30	TYa81mp-KharchenkoAS-thesis-2019	ID файла: 1000744069	Учебное заведение: National Technical Univ	21 Источник	1.32%
31	Студенческая работа	ID файла: 1003944128	Учебное заведение: Lviv Polytechnic National Universit	4 Источник	1.29%
32	Студенческая работа	ID файла: 1000790694	Учебное заведение: Poltava National Technical Yuri Ko	19 Источник	1.29%
34	Єсін Д Г	ID файла: 1000097937	Учебное заведение: National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic I...		1.24%
43	Студенческая работа	ID файла: 1000108880	Учебное заведение: Ternopil Volodymyr Hnatiuk Natio	37 Источник	1.13%
44	Студенческая работа	ID файла: 1000099111	Учебное заведение: Lviv Polytechnic National Universit	2 Источник	1.1%
48	Студенческая работа	ID файла: 1005649292	Учебное заведение: National Aviation University	7 Источник	1.02%
49	Студенческая работа	ID файла: 1000691379	Учебное заведение: Lviv Polytechnic National Universit	12 Источник	1%
50	ДП Олійник М.Є.БЕ-51	ID файла: 1000032109	Учебное заведение: National Technical University of Uk	7 Источник	0.97%
52	TereschenkoDV_Rlg61_bachelor_2020	ID файла: 1004123574	Учебное заведение: National Technical University of...		0.94%
55	Студенческая работа	ID файла: 3481561	Учебное заведение: National University of Life and Environ	5 Источник	0.89%
57	Студенческая работа	ID файла: 10013494	Учебное заведение: National Aviation University		0.89%
60	Студенческая работа	ID файла: 1003720872	Учебное заведение: National University of Life and Env	12 Источник	0.83%

61	Колібабчук Н.О. ТС-51	ID файла: 1000026025	Учебное заведение: National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytech...	0.81%
63	Олійник В В	ID файла: 1000076155	Учебное заведение: National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytech...	0.73%
66	Студенческая работа	ID файла: 1006960515	Учебное заведение: Zhytomyr National Agroecological U... 5 Источник	0.7%
68	Студенческая работа	ID файла: 1004527908	Учебное заведение: Taras Shevchenko National Univers... 2 Источник	0.67%
69	Студенческая работа	ID файла: 1000081006	Учебное заведение: National University of Water Manag... 5 Источник	0.67%
71	TYa72mp-GankoTO-thesis-2018	ID файла: 8640697	Учебное заведение: National Technical University of... 25 Источник	0.62%
72	Студенческая работа	ID файла: 1011069958	Учебное заведение: Zhytomyr National Agroecological... 24 Источник	0.62%
73	Студенческая работа	ID файла: 1005722427	Учебное заведение: National Aviation University... 3 Источник	0.57%
78	TYa71mn-PecheritsyaIO-thesis-2019	ID файла: 11883590	Учебное заведение: National Technical Univers... 6 Источник	0.54%
80	Студенческая работа	ID файла: 3800920	Учебное заведение: Yuriy Fedkovych Chernivtsi National U... 29 Источник	0.54%
81	Студенческая работа	ID файла: 1000092336	Учебное заведение: Lviv Polytechnic National Universit... 4 Источник	0.51%
82	Студенческая работа	ID файла: 1005715551	Учебное заведение: Lviv Polytechnic National University	0.51%
83	Студенческая работа	ID файла: 1009316187	Учебное заведение: Taras Shevchenko National University of Kyiv	0.48%
84	TYa42-SemeniukAM-diploma-2018	ID файла: 5990686	Учебное заведение: National Technical University of Ukrain...	0.48%
85	TYa71mp-AdilshaeVT-thesis-2018	ID файла: 8433848	Учебное заведение: National Technical University of Ukrain...	0.48%
87	Носаль_О_Ю ТС-51	ID файла: 1000074352	Учебное заведение: National Technical University of Ukraine "Kyiv P...	0.46%
88	Студенческая работа	ID файла: 1000039393	Учебное заведение: Lviv Polytechnic National University	0.46%
89	Олексієнко_2020	ID файла: 1005725613	Учебное заведение: National Technical University of Ukraine " 5 Источник	0.43%
90	Студенческая работа	ID файла: 1005766969	Учебное заведение: National University of Water Manag... 2 Источник	0.43%
91	Yeskova	ID файла: 1000032166	Учебное заведение: National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic In...	0.43%
93	Думанський_ЛА41	ID файла: 5966987	Учебное заведение: National Technical University of Ukraine "Kyiv Polyt...	0.43%
95	Студенческая работа	ID файла: 1007008830	Учебное заведение: Yuriy Fedkovych Chernivtsi National Univers...	0.43%
97	Студенческая работа	ID файла: 8560952	Учебное заведение: V.I. Vernadsky Taurida National University	0.43%

101	Atomna-1-2020	ID файла: 1001284677	Учебное заведение: National Technical University of Ukraine "Kyiv	2 Источник	0.38%
104	TYa41-KukhotskaO-diploma-2018	ID файла: 5984465	Учебное заведение: National Technical University of Ukrain...		0.32%
105	TYa42-KozyrRV-diploma-2018	ID файла: 5990696	Учебное заведение: National Technical University of UI	2 Источник	0.3%
106	TYa82-TymoshenkoVC-specialquestion-2022	ID файла: 1011417091	Учебное заведение: National Technical Univer...		0.3%
107	Krutenchuk_Tezy	ID файла: 7589352	Учебное заведение: National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytech...		0.3%
108	Студенческая работа	ID файла: 1000081255	Учебное заведение: Lviv Polytechnic National Universit	20 Источник	0.27%
111	Студенческая работа	ID файла: 1011251391	Учебное заведение: Vasyl Stus Donetsk National University		0.27%
112	Студенческая работа	ID файла: 1008423546	Учебное заведение: National University of Life and Environment...		0.24%
121	Студенческая работа	ID файла: 1004142887	Учебное заведение: National University of Water Mana	3 Источник	0.22%
122	6 Коломак На проверку курсовий	ID файла: 1004147129	Учебное заведение: National Technical U	29 Источник	0.22%
123	Студенческая работа	ID файла: 1003753478	Учебное заведение: Lutsk National Technical University	2 Источник	0.22%
124	Студенческая работа	ID файла: 2100029	Учебное заведение: National University of Water Management and ...		0.22%
125	Студенческая работа	ID файла: 1000021948	Учебное заведение: Lviv Polytechnic National University		0.22%