МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЯДЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИФИ»

Институт Ядерной Физики и Технологий

Кафедра № 5

«Теоретической и экспериментальной физики ядерных реакторов»

**Домашнее задание**

по дисциплине “Теория переноса излучений”

**Расчет параметров биологической защиты для реактора КЛТ-40С с MOX-топливом, получаемым смешиванием оксидов природного урана и плутония**

Выполнил: Голов П.А.

Группа: С14-105

Проверил: Терновых М.Ю.

Москва 2018 г.

**1. Введение.**

Целью выполнения домашнего задания являются:

* ознакомление с компоновкой реакторной установки, реализованной в прототипе проектируемого реактора;
* расчет минимальных размеров биологической защиты, обеспечивающих предельно допустимый уровень облучения помещения постоянного присутствия персонала в режиме стационарной работы ЯЭУ.

**2. Базовая информация о РУ КЛТ-40С.**

РУ КЛТ-40С представляет собой комплекс систем и элементов, предназначенных для преобразования ядерной энергии в тепловую, включающий ядерный реактор и непосредственно связанные с ним компоненты, необходимые для нормальной эксплуатации и обеспечения безопасности.[2] РУ КЛТ-40С проектируется для установки на плавучий энергоблок и является маломощной реакторной установкой: электрическая мощность составляет 35 МВт, тепловая мощность – 150 МВт.

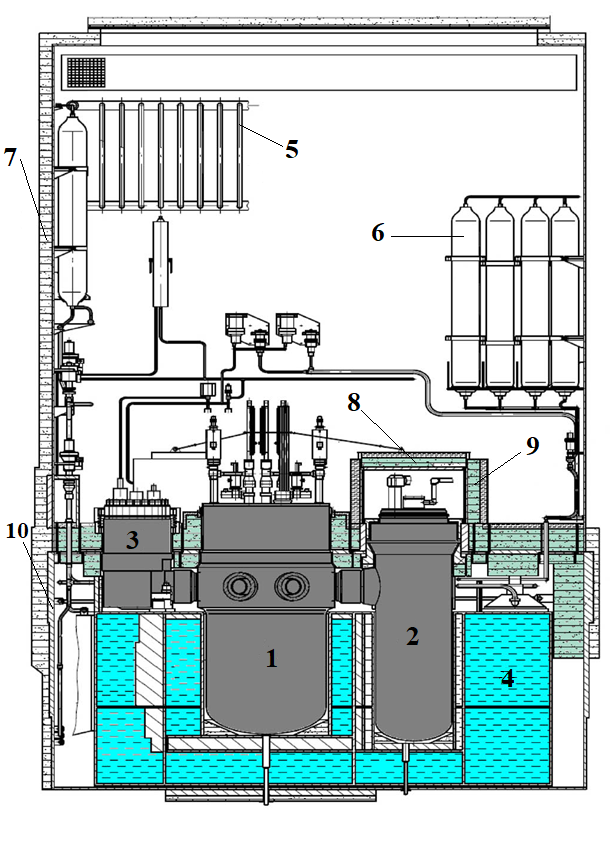
В состав ядерного блока ПЭБ входят две реакторные установки КЛТ-40С и две паротурбинные установки. Итого мощность ПАТЭС составляет 70 МВт электрической и 300 МВт тепловой мощности.[4]

Схема реакторной установки КЛТ-40С изображена на рисунке 1[3].

Реактор состоит из корпуса, крышки, выемного блока, включающего блок труб и устройств и шахту внутрикорпусную, активной зоны, приводов КГ (8 шт.) и приводов АЗ (3 шт.). Корпус и крышка изготовлены из теплоустойчивой высокопрочной перлитной стали с антикоррозийной наплавкой.[4] Тип реактора – водо-водяной, корпусной.

Активная зона реактора имеет кассетную структуру. Каждая кассета представляет собой сборку тепловыделяющих элементов, расположенных внутри шестигранного чехла ТВС по сторонам правильного треугольника. Совокупность кассет, размещенных с определенным шагом внутри выемного блока реактора, образует активную зону.[1]

В качестве топлива для реактора было решено использовать МОКС-топливо. МОКС-топливо – ядерное металлооксидное топливо, представляющее собой спеченные керамические таблетки из смеси диоксида урана и диоксида плутония. МОКС-технология позволяет повторно использовать образованные из урана делящиеся изотопы для выделения энергии.[5]



**Рисунок 1** – Реакторная установка КЛТ-40С: 1 – корпус реактора; 2 – парогенератор; 3 – главный циркуляционный насос; 4 – бак железо-водной защиты; 5 - система конденсации пара при аварийном повышении давления; 6 – газ под высоким давлением; 7 – бетонная периферийная биологическая защита; 8 – съемная биологическая защита парогенераторов; 9 – стационарная биологическая защита парогенераторов; 10 – стальная периферийная биологическая защита

Парогенератор предназначен для отвода тепла от теплоносителя 1-ого контура и генерации перегретого пара. Корпус ПГ изготовлен из низколегированной стали с антикоррозийной наплавкой.[2]

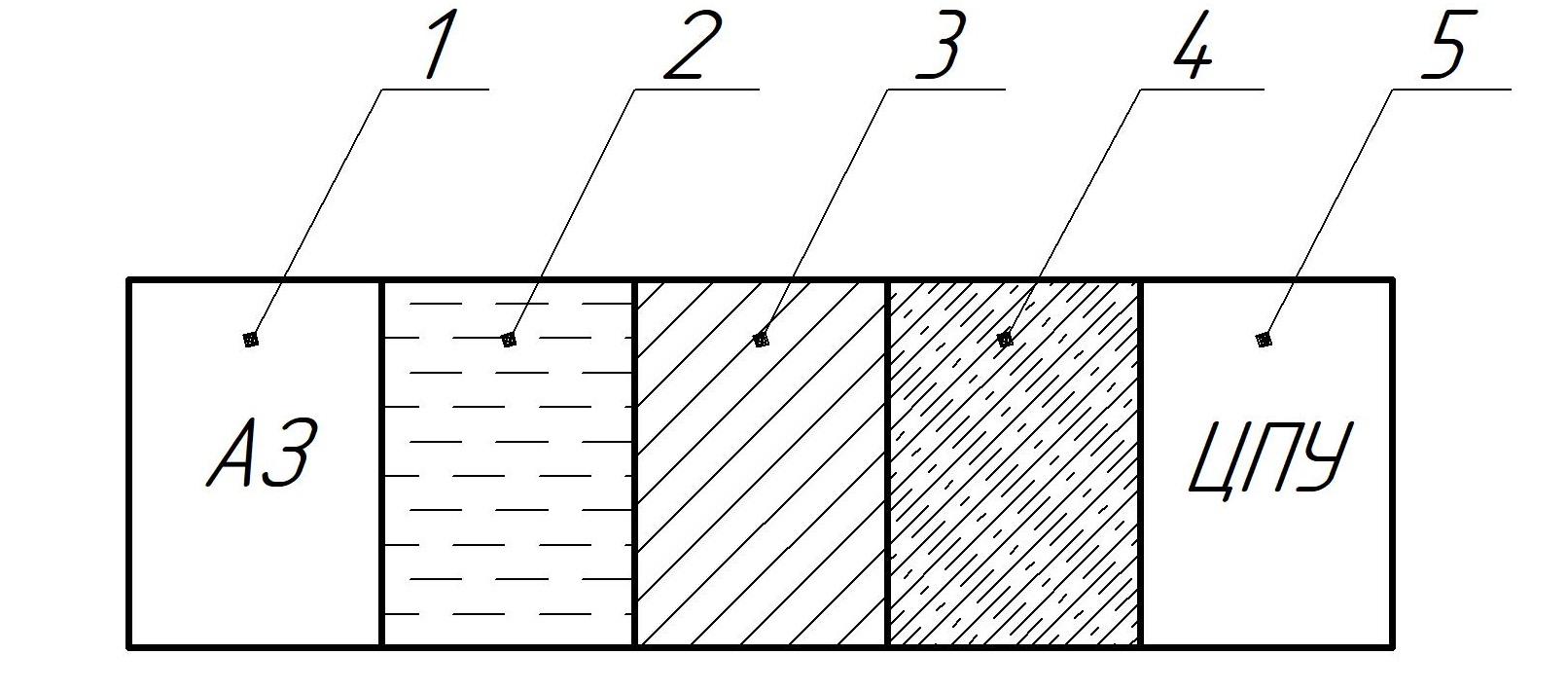
Главный циркуляционный насос – герметичный центробежный одноступенчатый насос. Предназначен для создания циркуляции теплоносителя в системе 1-ого контура в нормальных и аварийных режимах.[2]

Бак ЖВЗ представляет собой стальную конструкцию, заполненную водой. В баке размещены стальные листы для ослабления быстрых нейтронов и гамма-излучения. Размеры бака определяются из условий обеспечения необходимой эффективности ослабления излучения реактора и конструктивными соображениями.[6]

В качестве материалов биологической защиты используются простейшие и доступные компоненты: сталь, бетон и вода[2].

**3. Построение одномерной расчетной модели защиты.**

Рассмотрим упрощенную схему биологической защиты РУ КЛТ-40С (рисунок 2).



**Рисунок 2** – Одномерная расчетная модель биологической защиты: 1 – активная зона реактора; 2 – отражатель, вода в баке железо-водной защиты; 3 – корпус реактора, стенки и стальные плиты бака железо-водной защиты, стальная периферийная защита; 4 – бетонная периферийная защита; 5 – центральный пульт управления

За бетонной стеной находится зона присутствия персонала (центральный пульт управления), для которой будет рассчитываться доза облучения.

Для упрощения расчета все водные элементы (отражатель, вода в баке железо-водной защиты) и стальные элементы (корпус реактора, стенки и стальные плиты бака железо-водной защиты, стальная периферийная защита) были объединены в отдельные ячейки на одномерной расчетной модели.

Биологическая защита парогенераторов не учитывается по причине того, что эта конструкция расположена исключительно около парогенератора и практически не окружает источник изучения.

Все основные параметры биологической защиты приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Параметры элементов биологической защиты

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Защитный слой | Материал | Размер, см | Плотность, |
| Отражатель, вода в баке железо-водной защиты | Вода | 160 | 0,94 |
| Корпус реактора, стенки и стальные плиты бака железо-водной защиты, стальная периферийная защита | Сталь | 67,4 | 7,75 |
| Бетонная периферийная биологическая защита | Бетон | Необходимо определить | 2,40 |

**4. Расчет дозы нейтронов перед защитой.**

Для расчета дозы нейтронов перед защитой воспользуемся приближенным алгоритмом оценки величины потока нейтронов спектра деления из активной зоны реактора.

Число реакций деления в реакторе в единицу времени:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.4.1) |

где – тепловая мощность реактора; - средняя энергия, выделяющаяся в одной реакции деления.

Число нейтронов, образующихся в реакторе в единицу времени:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.4.2) |

где - число нейтронов, образующихся в результате реакции деления на середину кампании. Для того, чтобы с достаточной точностью определить величину , необходимо учесть основные делящиеся нуклиды в топливе реактора на середину компании. В данном реакторе основными делящимся нуклидами являются , . Среднее число нейтронов деления на середину компании определим усреднением по перечисленным изотопам, используя следующую формулу:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.4.3) |

Ядерные концентрации основных делящихся нуклидов и их микроскопические сечения деления на середину компании были получены при помощи программы GETERA. Результаты приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры основных делящихся нуклидов на середину компании

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Изотоп |  |  |  |  |  |
|  |  |  | 2,89 | 0,66 | 1,91 |
|  |  |  | 2,99 | 0,31 | 0,93 |

Используя полученные данные, произведем расчет по формуле 4.1.1:

Тогда, число нейтронов, образующихся в реакторе в единицу времени рассчитаем по формуле 4.1.2:

Площадь поверхности активной зоны найдем по формуле:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.4.4) |

где - высота активной зоны; – радиус активной зоны.

Для нахождения потока нейтронов утечки из активной зоны необходимо определить - коэффициент размножения элементарной ячейки реактора на середину компании. Определим из следующего соотношения:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.4.5) |

где – квадрат длинны диффузии:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.4.6) |

С помощью программы GETERA были получены значения коэффициента диффузии в тепловой области и значение макроскопического сечения поглощения:

Используя полученные данные, рассчитаем квадрат длинны диффузии по формуле 4.1.6:

Геометрический параметр найдем по формуле для цилиндрической геометрии:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.4.7) |

где – первый корень функции Бесселя

Таким образом, подставляя полученные значения в уравнение 4.1.5, получим:

Поток нейтронов утечки из активной зоны:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.4.8) |

Поток нейтронов спектра деления в утечке из активной зоны:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.4.9) |

где – доля нейтронов спектра деления в спектре утечки. Эта величина была рассчитана с помощью программы GETERA. Для этого были получены относительные величины потоков нейтронов быстрой и тепловой групп:

Тогда величина рассчитывается по следующей формуле:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.4.10) |

Таким образом, поток нейтронов спектра деления в утечке из активной зоны:

Мощность эквивалентной дозы нейтронов перед защитой:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.4.11) |

где - средняя энергия нейтронов спектра деления; – коэффициент качества нейтронов спектра деления; - массовый коэффициент поглощения энергии в биологической ткани.

В качестве биологической ткани принимается человек, площадь поверхности которого 1 , а масса – 100 кг.

В итоге, мощность эквивалентной дозы нейтронов перед защитой:

**3. Расчет дозы нейтронов за защитой.**

Для расчета дозы нейтронов за защитой воспользуемся моделью сечения выведения. Модель сечения выведения – приближенный метод, позволяющий рассчитать эквивалентную дозу нейтронов за защитой при условии соблюдения следующих условий:

* рассматриваются нейтроны источника с энергий > 0,3 МэВ;
* спектр источника нейтронов близок к спектру деления;
* защита представляет собой водородсодержащую систему;
* защита представляет собой достаточно толстую систему.

Мощность эквивалентной дозы за защитой рассчитывается по формуле:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.5.1) |

где - сечение выведения, d – толщина слоя защиты.

В данном проекте биологическая защита представляет собой сложную многослойную систему. Для расчета сложных многослойных систем используется принцип аддитивности:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.5.2) |

где - сечение выведения i - го слоя защиты, - толщина i-го слоя защиты.

Значения сечений выведения для материалов, используемых в данном проекте, представлены в таблице 3.

Таблица 3 - Макроскопические сечения выведения материалов защиты

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № слоя | Материал | Плотность, | , |
| 1 | Вода | 1,00 | 0,097 |
| 2 | Сталь | 7,75 | 0,166 |
| 3 | Бетон | 2,40 | 0,080 |

Плотность воды в одномерной расчетной модели биологической защиты (таблица 1) отличается от плотности воды в таблице макроскопических сечений выведения (таблица 2). Для расчета сечения выведения воды, используемой в данном проекте, воспользуемся следующей формулой:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.5.3) |

Используя формулы 4.5.1 и 4.5.2 можно определить неизвестную толщину слоя бетонной периферийной биологической защиты, при которой величина мощности эквивалентной дозы за защитой не будет превышать предельно допустимую дозу :

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.5.4) |

Таким образом, слой бетонной периферийной биологической защиты толщиной 41 см будет обеспечивать необходимую защиту.

**Список сокращений**

ПАТЭС – плавучая атомная теплоэлектростанция

ПЭБ – плавучий энергоблок

РУ – реакторная установка

КГ – компенсирующая группа

АЗ – аварийная защита

ПГ – парогенератор

ЖВЗ – железо-водная защита

**Список использованной литературы**

1. Деев В.И., Щукин Н.В., Черезов А.Л. Основы расчета судовых ЯЭУ: Учебное пособие / Под общей редакцией проф. В.И. Деева – М.: НИЯУ МИФИ, 2012.
2. Реакторная установка КЛТ-40С для атомных станций малой мощности [Электронный ресурс]: научная статья / ОАО “ОКБМ Африкантов” -Режим доступа: http://www.rosenergoatom.ru/upload/iblock/68d/68d2a9ecbfe31ad79ea5efa0e45526b3.pdf, свободный  (дата обращения: 15.02.2018).
3. Родионов Н., Воробьев В. Безопасность атомной энергетической установки “Севморпути” // Морской флот. 1989. № 10. C. 32 – 35. № 11 C. 36 – 38.
4. Плавучие атомные станции [Текст]: доклад объединения "Bellona", 2011 / А. Никитин, Л. Андреев. - Санкт-Петербург: Сезам-принт, 2011.
5. Введение в химическую технологию ядерного топлива: учебное пособие / Г.Г. Андреев, А.Н. Дьяченко; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010.
6. Определение эффективной мощности дозы нейтронов в помещениях судовых АЭУ по результатам измерений [Электронный ресурс]: доклад / ОАО “ОКБМ Африкантов” – Режим доступа: http://www.gidropress.podolsk.ru/files/proceedings/kms2012/documents/kms2012-015.pdf, свободный (дата обращения: 22.02.2018).