

более простым способом регулирования термодинамического цикла. Они способны уменьшить или устранить недостатки текущих ГТД [7].

На рисунке 1 представлена схема предполагаемого двигателя.

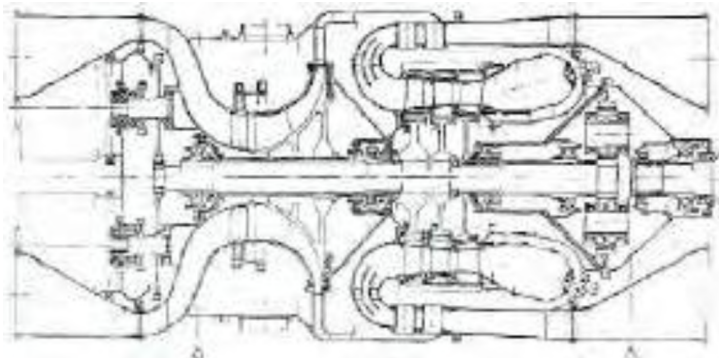


Рис. 1. Схема продольного разреза ГТД [7]

ЛИТЕРАТУРА:

1. Н.Ф.Тихонов, Е.Г. Шумихина, Л.С. Секлетина Дизель-электрическая силовая установка, Заметки ученого. Южный университет (ИУБИП). 2021.
2. В.И. Меркулов Ю.С. Кустарев энергетические машины и установки, учеб.пособие. – Мск. : Изд.-во МГТУ «МАМИ», 2006г.
3. Локомотивы на альтернативных видах топлива. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.rzd-expo.ru/innovation/stock/locomotives_for_alternative_types_of_fuels/ / свободный.– Инновационный дайджест. – (дата обращения: 10.11.2022)
4. В.И. Кочергин, И.К. Далюк, В.В. Красников Перспективные направления использования газомоторного топлива на железнодорожном транспорте, Вестник Сиб. гос. ун-та путей сообщения. 2015. № 1
5. О. К. Безюков, В. А. Жуков, М. С. Капустянский Газотурбинные двигатели на флоте: история и перспективы, ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова», Санкт-Петербург, 2021 год. Том 13. № 2
6. Medica-Viola V, Mrzljak V, Anđelić N, Jelić M. Analysis of low-power steam turbine with one extraction for marine applications. “Naše more” 67(2)/2020., pp. 87-95
7. В. И. Яишников А. М. Карпенко Газотурбинный двигатель для наземного транспорта, Вестник двигателестроения. 2012. №1.

Научный руководитель: А.Ю. Долгих, ст. преп. НОЦ И.Н. Бутакова ИШЭ ТПУ.

РАСЧЕТ ПОТЕРЬ РЕАКТИВНОСТИ ЗА СЧЕТ ШЛАКОВАНИЯ РЕАКТОРА ВВЭР-1200

Ю.С. Цыбочкина, И.А. Крутовский
Томский политехнический университет
ИШЭ, НОЦ И.Н. Бутакова, группа 5081

В результате проектирования ядерных энергетических реакторов нового поколения необходимо самостоятельно получить данные, наиболее приближенные к реальным результатам. Для этого должны учитываться основные процессы, протекающие в активной зоне реактора. Однако возникает вопрос о наличии актуальных данных для учета этих процессов или хотя бы для их оценки.

В течение кампании реактора ядерное топливо делится, высвобождая энергию и оставляя после себя осколки, которые не способны к делению. Некоторые из образованных осколков

обладают высоким сечением радиационного захвата и большим периодом полураспада. Они участвуют в непроизводительном поглощении нейтронов, тем самым мешая протеканию процесса деления ядерного топлива. Эти осколки носят название – шлаки.

Шлакование – процесс накопления в работающем реакторе стабильных и долгоживущих продуктов деления, непроизводительно поглощающих нейтроны [1, с. 334].

Учитывать процесс шлакования в течение работы реактора при проектировании важно и нужно, поскольку шлаки уменьшают запас реактивности реактора и тем самым сокращают кампанию (время работы реактора между перегрузками ядерного топлива).

Основные шлаки (с большой долей выхода) объединены в три группы по отношению микроскопического сечения поглощения¹ шлака к микроскопическому сечению поглощения основного топлива². Первая группа – шлаки с микроскопическим сечением поглощения на порядки больше микроскопического сечения поглощения основного ядерного топлива (²³⁵U). Вторая группа – шлаки, порядок микроскопических сечений которых совпадает с порядком микроскопического сечения поглощения ²³⁵U. Третья группа – шлаки, микроскопическое сечение поглощения которых на порядки меньше микроскопического сечения поглощения ²³⁵U.

Цель данной работы состоит в актуализации характеристик шлаков разных групп, образующихся в ядерном реакторе и расчета потерь реактивности за счет протекания этого процесса.

Данные микроскопических сечений радиационного захвата устарели и в некотором роде противоречивы. Определить род (или тип) шлака достаточно трудоемкий процесс из-за их большого количества и недоступности данных по их характеристикам (в особенности относительной доли выхода). Поэтому, типы шлаков и их относительные доли выхода не уточнялись, а были взяты из литературы [3, с. 214-215]. Уточнению подверглись микроскопические сечения поглощения шлаков.

В работе были собраны современные характеристики³ шлаков разных групп и методика расчета потерь реактивности за счет шлакования.

Для расчета потерь реактивности микроскопические сечения поглощения должны усредняться [2]. Для реактора типа ВВЭР-1200 с тепловой мощностью 3500 МВт, предварительно рассчитанные усредненные микроскопические сечения поглощения представлены в таблице 1 вместе с актуальными характеристиками шлаков.

Для упрощения процесса определения потерь реактивности, расчет проводился в зависимости от степени выгорания⁴.

Таблица 1. Характеристики шлаков при делении ²³⁵U

Первая группа шлаков							
Изотоп	⁶² Sm ¹⁴⁹	⁶⁴ Gd ¹⁵⁷	⁶³ Eu ¹⁵⁵	⁴⁸ Cd ¹¹³	⁶² Sm ¹⁵¹		
σ_{a0}^i , барн	40537,86	253254,4	3760,361	20170,61	15164,05		
$\bar{\sigma}_a^i$, барн	21306,7624	133110,9076	1976,4516	10601,7041	7970,2483		
γ_i , %	1,3	0,0074	0,03	0,014	0,445		
Вторая группа шлаков							
Изотоп	³⁶ Kr ⁸³	⁶¹ Pm ¹⁴⁷	⁴⁵ Rh ¹⁰³	⁵⁴ Xe ¹³¹	⁶⁰ Nd ¹⁴³	⁶² Sm ¹⁵²	⁶³ Eu ¹⁵³
σ_{a0}^i , барн	202,3203	167,7	133,1357	99,6685	325,0467	205,8906	312,6178
$\bar{\sigma}_a^i$, барн	106,3399	88,1434	69,9763	52,3859	170,8451	108,2164	164,3124
γ_i , %	0,62	2,6	2,9	2,9	6,2	0,28	0,14

¹ Для неделящихся изотопов микроскопическое сечение поглощения совпадает с микроскопическим сечением радиационного захвата.

² Основным топливом в реакторах ВВЭР является уран-235.

³ Каждый шлак характеризуется стандартным микроскопическим сечением поглощения σ_{a0}^i и выходом γ_i .

⁴ Степень выгорания – доля выгоревшего основного топлива от первоначального его количества [1].

Третья группа шлаков							
Изотоп	${}_{36}\text{Kr}^{82}$	${}_{36}\text{Kr}^{85}$	${}_{42}\text{Mo}^{95}$	${}_{47}\text{Ag}^{109}$	${}_{53}\text{I}^{127}$	${}_{53}\text{I}^{129}$	${}_{55}\text{Cs}^{133}$
σ_{a0}^i , барн	19,0761	1,6605	13,6016	90,26	6,403	30,32	28,9
$\bar{\sigma}_a^i$, барн	10,0264	0,8728	7,1490	47,4408	3,3654	15,9362	15,1899
γ_i , %	0,3	0,32	6,3	0,028	0,25	1,0	6,5
Изотоп	${}_{57}\text{La}^{139}$	${}_{59}\text{Pr}^{141}$	${}_{60}\text{Nd}^{144}$	${}_{60}\text{Nd}^{145}$	${}_{60}\text{Nd}^{146}$	${}_{43}\text{Tc}^{99}$	
σ_{a0}^i , барн	8,94	11,48	3,6257	49,4449	1,4901	23,6038	
$\bar{\sigma}_a^i$, барн	4,6989	6,0339	1,9057	25,9883	0,7832	12,4062	
γ_i , %	6,3	5,7	6,0	4,0	3,2	6,2	

Ядерная концентрация и макроскопическое сечение поглощения i -го шлака в зависимости от степени выгорания рассчитываются соответственно:

$$N_i(z) = \frac{\gamma_i \bar{\sigma}_f^5 N_{50}}{\bar{\sigma}_a^i - \bar{\sigma}_a^5} (1-z) \left(1 - (1-z)^{\frac{\bar{\sigma}_a^i}{\bar{\sigma}_a^5} - 1} \right), \quad (1)$$

$$\Sigma_a^i(z) = N_i(z) \bar{\sigma}_a^i, \quad (2)$$

где γ_i – удельный выход i -го шлака; $\bar{\sigma}_a^i$ – среднее микроскопическое сечение поглощения i -го шлака.

Относительная доля поглощаемых нейтронов для каждого шлака рассчитывается следующим образом:

$$q_{\text{ш}i}(z) = \frac{\Sigma_a^i(z)}{\Sigma_a^5(z)}. \quad (3)$$

Так как эта величина аддитивная, то относительная доля поглощаемых нейтронов равна сумме относительных долей поглощаемых нейтронов каждого шлака:

$$q_{\text{ш}}(z) = \sum_{i=1}^k q_{\text{ш}i}(z), \quad (4)$$

где k -число изотопов.

Потеря реактивности в связи с накоплением шлаков в течение кампании:

$$\rho_{\text{ш}}(z) = -q_{\text{ш}}(z)\theta. \quad (5)$$

Таким образом потеря реактивности зависит от концентрации основного топлива, мощности реактора, и длительности кампании.

Результатом расчета процесса накопления шлаков в течение кампании является график изменения потерь реактивности (рисунок 1).

Из полученных данных видно, что характер изменения зависимостей по уточненным (сплошная линия) и по неуточненным (штриховая линия) характеристикам не отличается. Однако, без уточнения характеристик шлаков, величина общей потери реактивности увеличена более чем в 1,5 раза (при максимальном выгорании). В целом, погрешность расчета между отдельными группами варьируется от 5 % до 150 %. Такая высокая погрешность связана с тем, что микроскопические сечения поглощения шлаков:

- устарели, т. е. появились более новые библиотеки данных;
- были округлены до целых чисел (зачастую кратных 5);
- не были усреднены (влияние температуры нейтронного газа весомо занижает усредненные микроскопические сечения).

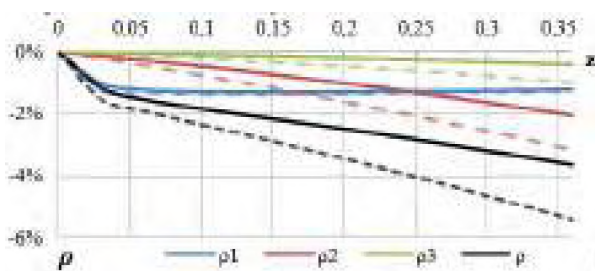


Рис. 1. Изменение потери реактивности в течение кампании по уточненным характеристикам (сплошная линия) и по неуточненным характеристикам (штриховая линия)

Заключение

В результате проведенной работы были актуализированы характеристики шлаков и методика расчета, которыми можно воспользоваться при проектировании реакторов ВВЭР на других уровнях мощности, так как потери реактивности за счет шлакования реактора ВВЭР в разных группах изменяются по схожим зависимостям, а мощность реактора влияет только на интенсивность потерь реактивности. Вначале кампании основной вклад в потерю реактивности вносят шлаки первой группы, что связано с быстрым нарастанием концентрации сильных шлаков до их стационарных концентраций.

В реакторе типа ВВЭР-1200 с тепловой мощностью 3500 МВт, при степени выгорания 35 %, потери реактивности за счет шлакования не превышают 4 %, что влияет на продолжительность кампании реактора.

Уточнение параметров шлакования значительно повышает точность определения потерь реактивности, что позволяет повысить эффективность эксплуатации ядерного реактора.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Мерзликин Г.Я. Основы теории ядерных реакторов. Изд.4-е, переработанное и дополненное. – Севастополь: ФГАОУ ВО СевГУ, 2015. – 452 с.
2. Подготовка параметров к нейтронно-физическому расчету реактора на тепловых нейтронах: методические указания к выполнению индивидуального домашнего задания по дисциплине «Физика ядерных реакторов» для студентов, обучающихся по специальности 140404 «Атомные электрические станции и установки» направления 140400 «Техническая физика» / сост. А.В. Кузьмин. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 61 с.
3. Румянцев, Геннадий Яковлевич. Расчет ядерного реактора на тепловых нейтронах : Упрощенное методическое пособие / Г. Я. Румянцев. – Москва : Атомиздат, 1967. – 124 с.: черт. – Библиогр.: с. 121-122.

Научный руководитель: к.пед.н. С.В. Лавриненко, доцент НОЦ И.Н. Бутакова ИШЭ ТПУ.

NPP POWER UNIT FOR THE CITY OF ALEXANDRIA WITH A DESALTING PLANT

M.A.E. Hegazy
Egyptian russian university, Tomsk polytechnic university
ISHE, group 5071

Introduction

Sustainable development is the main goal of the whole world and it is not forgotten that energy is the main engine and the active element for all growth and development, as it is the basic element for all sectors of the economy and a companion to human life. In an attempt for Egypt to enter this race, the government is working on increasing the supply of electricity generated using nuclear energy. Usually it is used in cities that overlook a natural source of water such as the Nile River or any of the seas overlooked by Egypt, the Mediterranean or the Red Sea. Since the salinity of these two seas is high and contains chemicals, so a desalination and treatment plant must be established for these Water before entering the plant in order to ensure that no damage or loss of efficiency occurs due to corrosion of the internal surfaces of thermal power equipment, as well as without the formation of deposits on the surfaces of heat transfer, sludge in equipment and pipelines.