

В данном случае использовались 3 центра кристаллизации. Начальная концентрация азотной кислоты составляла 6 моль\л, урана – 198 г\л, начальная температура – 283 К.

Выводы: была получена математическая модель процесса кристаллизационного аффинажа гексагидрата нитрата уранила в ее первом приближении. Данная модель представляет собой симуляцию роста кристалла в двухмерном пространстве при заданных начальных условиях, а именно: концентрации урана, концентрации азотной кислоты и температуры раствора. Результатом работы данной модели является форма полученного кристалла, а также конечное распределение температуры и концентрации урана в растворе. Модель адекватно работает как для одного центра кристаллизации, так и для нескольких.

В дальнейшем запланировано:

- 1) Определить все термодинамические константы, свойственные соединениям урана;
- 2) Уточнить процессы, происходящие при кристаллизации, и добавить их в модель;
- 3) Реализовать условие теплообмена между клетками с учетом фазового состояния клеток-соседей;
- 4) Реализовать трехмерную модель процесса кристаллизации.

Список литературы:

1. Кулагин, В.А. Переработка отработавшего ядерного топлива и обращение с радиоактивными отходами / В.А. Кулагин, Т.А. Кулагина, А.И. Матюшенко // Journal of Siberian Federal University.
2. Takahiro Chikazawa. Batch Crystallization of Uranyl Nitrate/ Takahiro Chikazawa, Toshiaki Kikuchi, Atsuhiko Shibata, Tomozo Koyama, Shunji Homma // Nuclear science and Technology, vol. 45, No. 6, p. 582–587, 2008.
3. Тоффоли Т. Машины клеточных автоматов / Т. Тоффоли, М. Марголус: Мир, 1991.
4. Наумов, Лев. Клеточные автоматы - реализация и эксперименты [Электронный ресурс] / Л. Наумов, А. Шалыто : <http://www.osp.ru/pcworld/2003/08/166226/>
5. Беркович, С.Я. Клеточные автоматы как модель реальности / С.Я. Беркович: Издательство МГУ, 1993.
6. Абашева, Э.Р. Исследование и моделирование процессов кристаллизации с применением клеточных автоматов / Э.Р. Абашева: РХТУ им. Д. И. Менделеева. Москва, 2007.

Расчетно-экспериментальные исследования реактивностных параметров реактора ИРТ-Т

Сливин А.А., Чертков Ю.Б., Аникин М.Н.
slivin-a@mail.ru

Научный руководитель: доцент, кандидат физико-математических наук, Чертков Ю.Б., НИ ТПУ, кафедра ФЭУ

Реактор ИРТ-Т (исследовательский реактор типовой) – это водо-водяной реактор бассейнового типа на тепловых нейтронах с использованием в качестве замедлителя,

теплоносителя и защиты дистиллированной воды. Реактор является мощным источником нейтронного и гамма-излучения и предназначен для проведения научно-исследовательских работ в области ядерной физики, физики твердого тела, радиобиологии, решения прикладных задач в области экологии и медицины [1].

Реактор введен в эксплуатацию в 1967 году, его тепловая мощность составляет 6 МВт [1].

Улучшенный многогрупповой программный код (WIMS) [2] широко используется во всем мире для физического анализа решеток производственных и исследовательских реакторов. Существует множество версий WIMS, которые используются в настоящее время. Версия D4, отобранная по программе RERTR, была первоначально разработана в 1980 г. Программа была выбрана благодаря точному анализу решетки твэлов и возможностью неограниченного распространения данной программы.

Код и его 69-групповая библиотека были получены из Национальной лаборатории Окридж в 1992. Программа использует библиотеки ядерных данных на основе ENDF/B-VI.

Код имеет переменную размерность и может вместить библиотеку сечений с более чем 69 энергетическими группами. В настоящее время с кодом используются библиотеки сечений ENDF/B-VI с 69 и 172 энергетическими групповыми структурами. Основные области применения WIMS для моделирования исследовательских реакторов не требуют обширных знаний всех пользовательских опций WIMS.

Одной из последних модификаций данной программы является WIMS-ANL. Программа предназначена, в основном, для нейтронно-физических расчетов исследовательских ядерных реакторов, но может быть использована для большинства решеток тепловых реакторов. Данная программа была передана в ТПУ в 2014 году от ANL (США).

Целью данной работы является расчетно-экспериментальное исследование реактивных параметров реактора ИРТ-Т, проявляющихся во время его работы, с помощью программы WIMS-ANL [2] и изучение возможностей этой программы:

- изменения запаса реактивности;
- эффекта стационарного отравления ксеноном-135;
- эффекта отравления реактора самарием-149;
- темпа падения реактивности при выгорании топлива.

Один из основных физических параметров – запас реактивности реактора определяется по положению органов регулирования и по результатам определения их регулировочных характеристик в отдельные, довольно редкие моменты работы.

При проведении работы были решены следующие задачи:

- обработка результатов работы реактора (оцифровка и подготовка базы данных по работе реактора);
- численное моделирование работы реактора с помощью программ нейтронно-физического расчета;
- определение изучаемых параметров реактора по расчетным и экспериментальным данным.

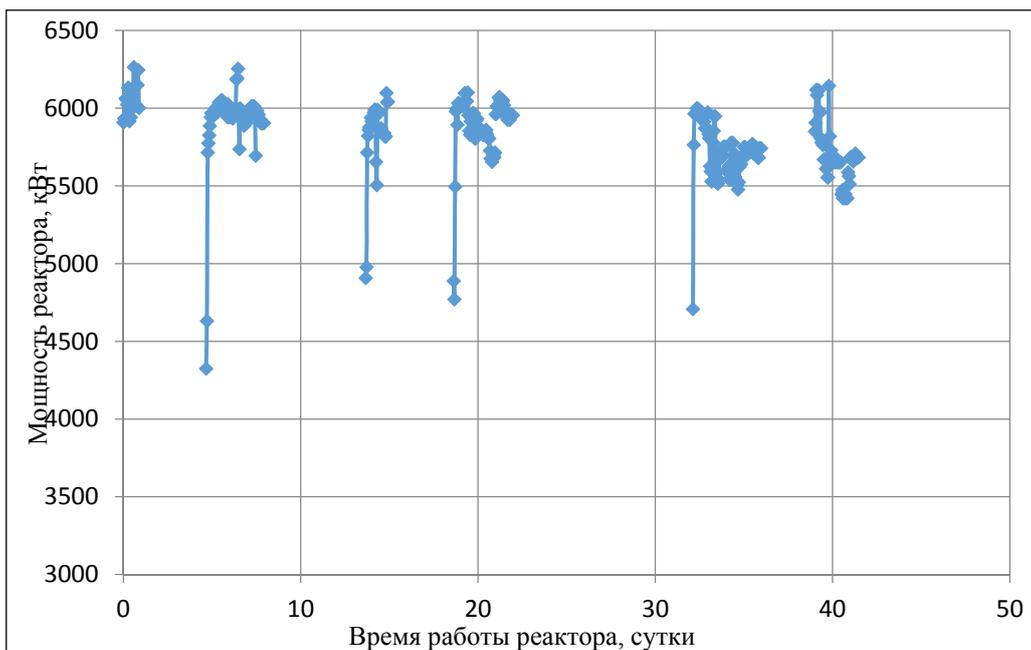


Рисунок 1. Диаграмма работы реактора в начале 2009 года

На рисунке 1 показаны обработанные результаты работы реактора на номинальной мощности.

Работа реактора ИРТ-Т в режиме частичных перегрузок топлива характеризуется недельными циклами. При продолжительности кампаний от 100 до 500 часов реактор работает с понедельника по пятницу в течение 10 – 100 часов. В оперативных журналах реактора фиксируются основные теплофизические параметры его работы.

Записи в этих оперативных журналах были исходным материалом для изучения реактивных параметров реактора.

В результате обработки экспериментальной информации были проанализированы более 100 недельных циклов работы реактора.

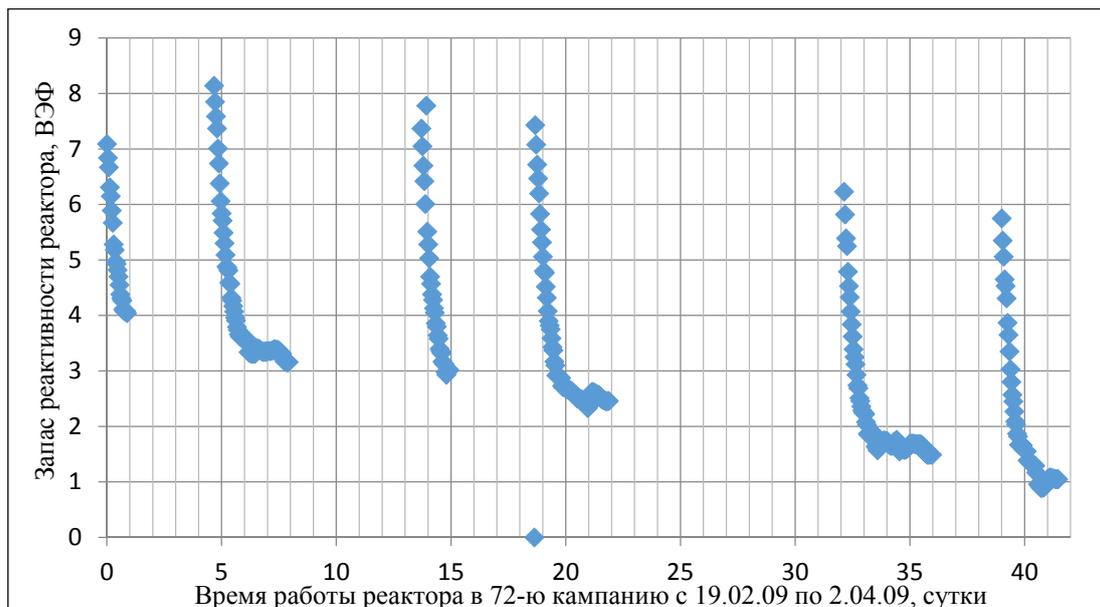


Рисунок 2. зависимость изменения запаса реактивности

На рисунке 2 изображена полученная при обработке экспериментальной информации зависимость изменения запаса реактивности. Данные кривые отражают особенности изменения одного из главных параметров реактора — запаса реактивности от времени его работы на мощности (энерговыработки). Все недельные микрокампании (циклы) имеют одинаковые закономерности.

Каждый недельный пуск реактора осуществляется через 3-ое суток. За это время ксенон-135 практически полностью распадается. То есть реактор перед каждым запуском полностью разотравлен.

В течение первых 2-х суток основные потери реактивности связаны с накоплением одного из главных отравителей — ядер ксенона-135, имеющего очень большое значение сечения захвата тепловых нейтронов.

Далее в каждой из кривых наблюдается перелом из-за того, что их концентрация достигает равновесного значения. Все дальнейшие потери связаны с выгоранием топлива, накоплением шлаков и самария-149, а также накоплением в бериллии лития-6 и гелия-3.

В силу того, что ядра ксенона имеют достаточно короткий период полураспада ($T_{1/2} \approx 9,5$ ч), уже примерно через 2-ое суток отравление реактора выходит на стационарное значение. В этот момент реактор начинает работать на мощности в стационарном отравлении.

Последующие пологие участки кривых позволяют оценить темп потери реактивности при выгорании топлива.

С помощью программы WIMS-ANL [2] с 69-ю групповой библиотекой микроконстант на основе базы данных ENDF/B-VI была создана одномерная расчетная модель реактора ИРТ-Т [3], которая позволила смоделировать все происходящие в реакторе процессы (изменение концентраций ^{135}Xe , ^{149}Sm , урана, ^3He , ^6Li , T) и определить влияние отравления на запас реактивности в процессе данных кампаний.

На рисунке 3 приведены результаты расчета изменений концентраций отравителей ^{135}Xe и ^{149}Sm в гомогенизированной активной зоне реактора, полученные по программе WIMS-ANL [2], в результате численного моделирования регулярного режима работы реактора.

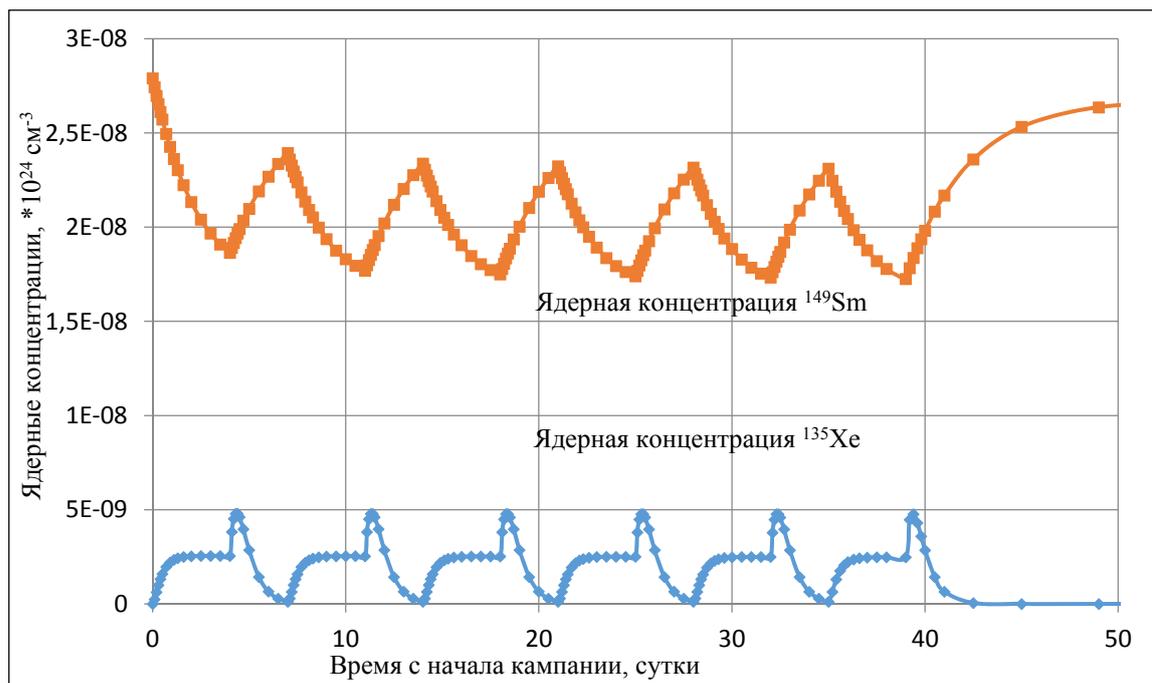


Рисунок 3. Изменение ядерных концентраций ядер-отравителей в топливе гомогенизированной активной зоны реактора

К началу каждой из микрокампаний реактора концентрация ^{135}Xe практически равна нулю. В течение первых 2-х суток после ее начала концентрация ксенона достигает равновесного значения ($2.5 \cdot 10^{15}$ ядер/см³). После завершения микрокампании в максимуме йодной ямы концентрация ^{135}Xe повышается до $5 \cdot 10^{15}$ ядер/см³.

Концентрация ^{149}Sm в течение микрокампании понижается, стремясь к равновесному значению, за счет выгорания этого нуклида, но не достигает его, так как длительность кампании для этого недостаточна. После ее окончания концентрация самария растет за счет распада накопившихся ядер предшественника ^{149}Pm возрастает до $2.6 \cdot 10^{16}$ ядер/см³. Равновесная концентрация самария-149 устанавливается в реакторе только через 10 суток. Из рисунка 3 видно, что ядерная концентрация этого нуклида почти на порядок больше, чем концентрация ксенона.

Его сечение поглощения тепловых нейтронов ($\sigma_{a0}^{\text{Sm}} = 40800$ барн) много меньше, чем у ксенона ($\sigma_{a0}^{\text{Xe}} = 2720000$ барн). Изменение его концентрации во время работы и коротких интервалов между пусками (3 суток) в ~ 20 раз больше, чем изменение концентрации ксенона. Поэтому он тоже оказывает влияние на изучаемые процессы.

Программа WIMS-ANL позволяет численно оценить и изменение запаса реактивности реактора. На рисунке 3 показаны результаты такого расчета. Они не только показывают, как меняется запас реактивности при работе реактора, но и при его остановке. Из анализа этих кривых можно определить глубину «йодной ямы», которая составляет 3,5 бэф.

Обработка экспериментальной информации позволила определить эффекты стационарного отравления ксеноном-135 – по изменению реактивности от начальной точки до точки перелома кривой после 2-3 суток от начала работы.

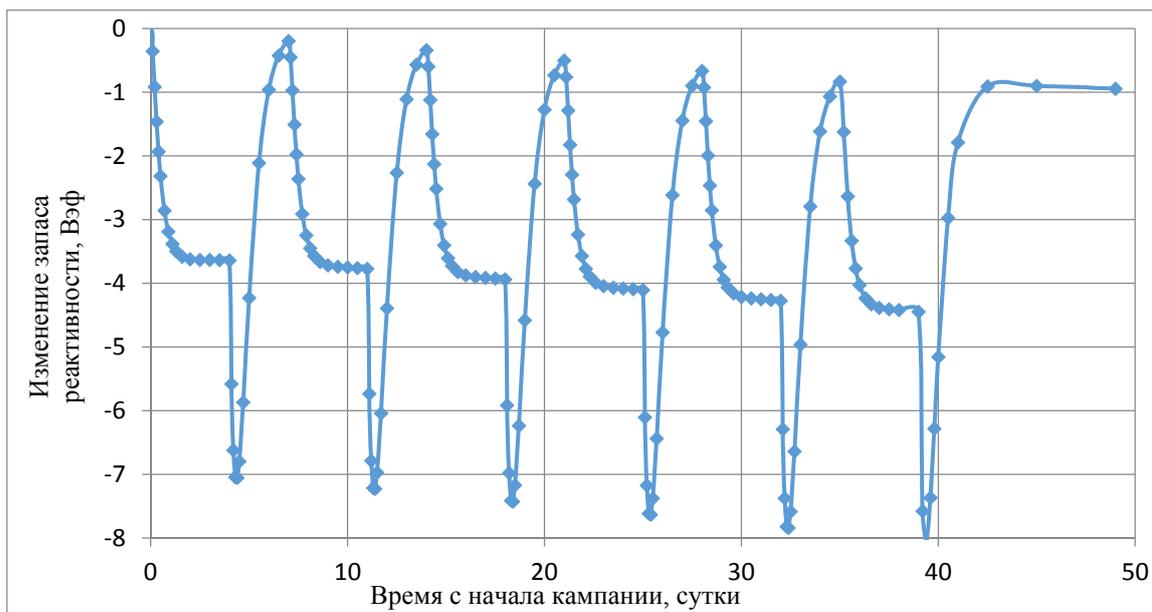


Рисунок 4. Изменение запаса реактивности реактора ИРТ-Т, полученное по расчетам по программе WIMS-ANL

На рисунке 4 показано результирующее уменьшение запаса реактивности реактора в процессе кампании.

В течение первых двух суток после начала каждой микрокампании уменьшение запаса реактивности связано, в основном, с эффектом отравления реактора ^{135}Xe . На его фоне реактивность частично высвобождается при выгорании ^{149}Sm и уменьшается при выгорании топлива. Но последние два эффекта практически компенсируют друг друга. Расчетное значение эффекта стационарного отравления реактора ИРТ-Т ^{135}Xe составляет $3.5 \beta_{\text{эф}}$.

Провалы запаса реактивности в промежутках между микрокампаниями вызываются эффектом йодной ямы, когда в реакторе, после остановки, быстро распадается короткоживущий ^{135}I , превращаясь в ^{135}Xe . Расчетное значение глубины йодной ямы составляет $3.5 \beta_{\text{эф}}$.

Пологий участок в конце работы позволяет оценить темп потери реактивности за счет выгорания топлива и шлакования.

Расчетные значения эффекта отравления реактора ксеноном-135, полученные по программе MCU дают $4.2 \beta_{\text{эф}}$. Темп потери реактивности при выгорании топлива – $0.07 - 0.1 \beta_{\text{эф}}/\text{сут}$.

Максимальное расчетное значения эффекта отравления реактора самарием-149, полученные по программе WIMS-ANL, дают $0.96 \beta_{\text{эф}}$. При характерных для реактора ИРТ-Т времени работы и стоянки изменение реактивности не превысит $0.24 \beta_{\text{эф}}$.

Выводы:

Сравнение результатов расчета реактора ИРТ-Т по программе WIMS-ANL с экспериментальными данными позволило уточнить многие его параметры.

В результате данной работы были получены следующие значения эффектов реактивности:

Таблица 1. Значения эффектов реактивности	
Эффект стационарного отравления ксеноном-135	4.2 бетаэф

Эффект изменения отравления самарием-149 при характерном для реактора ритме работы	0,24 βэф
Темп потери реактивности при выгорании топлива	0,1 βэф/сут
Величина «йодной ямы»	3,5 βэф
Дополнительные потери реактивности за счет самария-149 при длительной стоянке реактора	0,33 βэф

Список литературы:

1. Варлачев В.А., Глухов Г.Г., Скуридин В.С. и др. Исследовательский ядерный реактор ИРТ-Т. Томский политехнический университет, 2011.
2. J. R. Deen, W. L. Woodruff. WIMS-ANL USER MANUAL. REV. 6. Argonne National Laboratory. 9700 South Cass Avenue. Argonne, Illinois 60439-4841, 2004.
3. Варлачев В.А., Чертков Ю.Б., Наймушин А.Г. и др. Влияние отравления бериллия на нейтронно-физические характеристики реактора ИРТ-Т.

Создание модели обмотки низкого напряжения силового трансформатора ТРДН-25000/110

Будько А.А., Корольков Д.П.
budkoaleksander@yandex.ru

Научный руководитель: кандидат технических наук, Васильева О.В., НИ ТПУ

Аннотация. В работе приводится расчет частотной зависимости индуктивности и сопротивления витков круглого и прямоугольного сечений обмоток силового трансформатора от частоты при предположении слабой зависимости емкостей от частоты. Обмотке силового трансформатора сопоставлена электротехническая схема замещения, при составлении которой учтены три важных обстоятельства, а именно: схема замещения с распределенными параметрами, влияние скин-эффекта и использование принципа наложения по частотам.

Введение. Силовой трансформатор является одним из наиболее важных узлов электрической сети. Особенно актуальным в связи с этим является своевременное выявление развивающихся дефектов обмоток, которое позволяет вывести силовой трансформатор в ремонт прежде, чем случится авария, связанная с выходом его из строя.

В основе диагностики состояния обмоток трансформаторов низковольтными наносекундными импульсами [1] лежит импульсный генератор, формирующий импульсы с фронтом единицы наносекунд и длительностью нескольких сотен наносекунд. При этом амплитуда импульса должна быть более 200 В.

Обмотка силового трансформатора, по сути, является многочастотным колебательным контуром, состоящим из активных, индуктивных и емкостных элементов. Частотные характеристики (спектры амплитуд и фаз) несут в себе информацию о свойствах этого колебательного контура. Следовательно, можно соотнести параметры частотных характеристик с параметрами обмотки трансформатора. За основу взята обмотка низкого напряжения силового трансформатора марки ТРДН-25000/110. Трансформаторы данной марки широко распространены в отечественной энергосистеме [2].