**РЕФЕРАТ**

**дипломной работы**

студента кафедры   
ядерной физики   
физического факультета БГУ

Мейсак Илья Николаевич

Руководитель: Бабичев Л.Ф., зав. лабораторией моделирования и суперкомпьютерных технологий в ядерной физике и энергетике Объединенного института энергетических и ядерных исследований – Сосны НАН Беларуси, к.ф.-м.н

Диплом 105 с., 35 рис., 27 табл., 11 источников, 1 приложение

НЕЙТРОНЫ, МЕТОД МОНТЕ-КАРЛО, МОНТЕ-КАРЛО МОДЕЛИРОВАНИЕ, КОД MCU-PD, ЯДЕРНЫЙ РЕАКТОР, ВВЭР, АКТИВНАЯ ЗОНА РЕАКТОРА, ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩИЙ ЭЛЕМЕНТ, НАПРАВЛЯЮЩИЙ КАНАЛ, ДИСТАНЦИОНИРУЮЩАЯ РЕШЕТКА, ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩАЯ СБОРКА, БОРНАЯ КИСЛОТА, ГРАДУИРОВКА ОР СУЗ.

Объектом исследования дипломной работы является активная зона водоводяного энергетического реактора ВВЭР-1200. Данным реактором комплектуются 1 и 2 энергоблоки строящейся Белорусской АЭС.

Целью работы является разработка и практическая реализация метода градуировки поглощающих стержней системы управления и защиты (ПС СУЗ), а также метода нахождения критической концентрации борной кислоты в теплоносителе реактора с использованием прецизионного компьютерного кода MCU-PD, сертифицированного ГК «Росатом» и Ростехнадзором для проведения расчетов реакторов типа ВВЭР.

В работе использован метод Монте-Карло для моделирования процессов взаимодействия нейтронов с веществом.

Для проверки предложенных методов была создана Монте-Карло модель активной зоны реактора ВВЭР-1200/491. В модель включены тепловыделяющие сборки, набранные из твэлов, органы регулирования СУЗ, радиальный и аксиальный отражатели. Все узлы реактора смоделированы в соответствии с документацией (Предварительный отчет по обоснованию безопасности 1-го блока Белорусской АЭС от 27.03.2013 г.); параметры и размещение ядерного топлива соответствует началу кампании пусковой топливной загрузки.

С помощью Монте-Карло модели был произведен расчёт рабочей (критической) концентрации борной кислоты в реакторе, а затем, используя данную концентрацию борной кислоты, произведена градуировка поглощающих стержней рабочей (12-й) группы и градуировка отдельного кластера поглощающих стержней, размещённых в центральной ТВС. Расчёт производился на минимально контролируемом уровне мощности (МКУ) реактора в начале кампании пусковой топливной загрузки.

Результаты расчётов позволяют судить о некоторых параметрах безопасности, в частности о скорости ввода положительной реактивности при извлечении ОР СУЗ, о правильности и применимости разработанных методов расчёта физических характеристик ОР СУЗ и концентрации борной кислоты.

Построенная модель и результаты расчётов позволяют независимо проверить соответствующие расчёты разработчиков поставляемого реактора, а также предсказать значения рассчитываемых характеристик.

С точки зрения скорости ввода положительной реактивности, и центральный кластер поглощающих стержней и 12-я группа стержней отвечают требованиям безопасности (скорость ввода не превышает 0.07 βэфф/с). Вес аварийной защиты реактора на МКУ составил 16.6 βэфф. Метод градуировки поглощающих стержней с помощью Монте-Карло моделирования довольно эффективен при градуировке групп стержней, когда их физический вес составляет порядка 0.7 βэфф, и менее эффективен в случае градуировки одиночного кластера стержней (ввиду малого физического веса). Для нахождения критической концентрации борной кислоты в первом контуре предложенный метод даёт хорошие результаты за приемлемое время и, возможно, может быть использован повсеместно.

Все работы по построению модели «с нуля», по расчёту ядерных концентраций материалов, по обработке результатов и т.д. были сделаны автором полностью самостоятельно. Глава 3 «Методики определения рассчитываемых параметров реактора» была разработана совместно с научным консультантом. Были учтены замечания и пожелания научного руководителя и научного консультанта по работе.

Разработанная модель и результаты расчётов вошли в 2 (два) отчёта о научно-исследовательской работе ГНУ «ОИЭЯИ – Сосны» НАН Беларуси.

**РЭФЕРАТ**

Дыплом 105 с., 35 мал., 27 табл., 11 крыніц, 1 дадатак

НЕЙТРОНЫ, МЕТАД МОНТЭ-КАРЛА, МОНТЭ-КАРЛА МАДЭЛІРАВАННЕ, КОД MCU-PD, ЯДЗЕРНЫ РЭАКТАР, ВВЭР, АКТЫЎНАЯ ЗОНА РЭАКТАРА, ЦЕПЛАВЫДЗЯЛЯЛЬНЫ ЭЛЕМЕНТ, НАКІРОЎВАЮЧЫ КАНАЛ, ДЫСТАНЦЫЙНАЯ РАШОТКА, ЦЕПЛАВЫДЗЯЛЯЛЬНАЯ ЗБОРКА, БОРНАЯ КІСЛАТА, ГРАДУІРОЎКА ОР СКА.

Аб'ектам даследавання дыпломнай работы з'яўляецца актыўная зона водавадзянога энергетычнага рэактара ВВЭР-1200. Дадзеным рэактарам камплектуюцца 1 і 2 энергаблокі Беларускай АЭС, якая будуецца.

Мэтай работы з'яўляецца распрацоўка і практычная рэалізацыя метаду градуіроўкі паглынальных стрыжняў сістэмы кіравання і абароны (ПС СКА), а таксама метаду знаходжання крытычнай канцэнтрацыі борнай кіслаты ў цепланосбіце рэактара з выкарыстаннем прэцызійнага камп'ютэрнага кода MCU-PD, сертыфікаванага ДК «Росатам» і Растэхнаглядам для правядзення разлікаў рэактараў тыпу ВВЭР.

У рабоце скарыстаны метад Монтэ-Карла для мадэлявання працэсаў ўзаемадзеяння нейтронаў з рэчывам.

Для праверкі прапанаваных метадаў была створана Монтэ-Карла мадэль актыўнай зоны рэактара ВВЭР-1200/491. У мадэль ўключаны цеплавыдзяляльныя зборкі, набраныя з цеплавыдзяляльных элементаў, органы рэгулявання СКА, радыяльны і аксіяльныя адбівальнікі. Усе вузлы рэактара змадэляваныя ў адпаведнасці з дакументацыяй (Папярэдняя справаздача па абгрунтаванні бяспекі 1-га блока Беларускай АЭС ад 27.03.2013 г.); параметры і размяшчэнне ядзернага паліва адпавядае пачатку кампаніі пускавой паліўнай загрузкі.

З дапамогай Монтэ-Карла мадэлі быў здзейснены разлік рабочай (крытычнай) канцэнтрацыі борнай кіслаты ў рэактары, а затым, выкарыстоўваючы дадзеную канцэнтрацыю борнай кіслаты, праведзена градуіроўка паглынальных стрыжняў рабочай (12-й) групы і градуіроўка асобнага кластара паглынальных стрыжняў, размешчаных у цэнтральнай ТВЗ. Разлік здзяйсняўся на мінімальна кантралюемым узроўні магутнасці (МКУ) рэактара ў пачатку кампаніі пускавой паліўнай загрузкі.

Вынікі разлікаў дазваляюць меркаваць аб некаторых параметрах бяспекі, у прыватнасці аб хуткасці ўводу дадатнай рэактыўнасці пры выцягванні ОР СКА, аб правільнасці і прымянімасці распрацаваных метадаў разліку фізічных характарыстык ОР СКА і канцэнтрацыі борнай кіслаты.

Пабудаваная мадэль і вынікі разлікаў дазваляюць незалежна праверыць адпаведныя разлікі распрацоўшчыкаў пастаўляемага рэактара, а таксама прадказаць значэнні разлічваемых характарыстык.

З пункту гледжання хуткасці ўводу дадатнай рэактыўнасці, і цэнтральны кластар паглынальных стрыжняў і 12-я група стрыжняў адказваюць патрабаванням бяспекі (хуткасць ўводу не перавышае 0.07 βэф/с). Вага аварыйнай абароны рэактара на МКУ склала 16.6 βэф. Метад градуіроўкі паглынальных стрыжняў з дапамогай Монтэ-Карла мадэлявання даволі эфектыўны пры градуіроўцы груп стрыжняў, калі іх фізічная вага складае парадку 0.7 βэф, і менш эфектыўны ў выпадку градуіроўкі адзіночнага кластара стрыжняў (па прычыне малой фізічнай вагі). Для знаходжання крытычнай канцэнтрацыі борнай кіслаты ў першым контуры прапанаваны метад дае добрыя вынікі за прымальны час і, магчыма, можа быць выкарыстаны паўсюдна.

Усе работы па пабудове мадэлі «з нуля», па разліку ядзерных канцэнтрацый матэрыялаў, па апрацоўцы вынікаў і г.д. былі зроблены аўтарам цалкам самастойна. Раздзел 3 «Методыкі вызначэння разлічваем параметраў рэактара» была распрацавана сумесна з навуковым кансультантам. Былі ўлічаны заўвагі і пажаданні навуковага кіраўніка і навуковага кансультанта па рабоце.

Распрацаваная мадэль і вынікі разлікаў ўвайшлі ў 2 (дзве) справаздачы аб навукова-даследчай рабоце ДНУ «АІЭЯД – Сосны» НАН Беларусі.

**ABSTRACT**

Diploma 105. 35 Fig. 27 of Table. 11 sources, one appendix

NEUTRON, METHOD MONTE-CARLO, MONTE CARLO SIMULATION, CODE MCU-PD, A NUCLEAR REACTOR, VVER, REACTOR CORE, FUEL ELEMENT, GUIDE CHANNEL, SPACING GRID, FUEL ASSEMBLY, BORIC ACID, CALIBRATION OF CONTROL RODS.

The object of study of the thesis is an active area of water-water power reactor VVER-1200. Power unit №1 and №2 will be equipped with such type of reactor in Belarusian NPP.

The aim is the development and practical implementation of the method of grading absorbing rods control and protection system (CPS), and the method for finding the critical concentration of boric acid in the reactor coolant using precise computer code MCU-PD, certified by SC "Rosatom" and the RosTechNadzor for VVER.

We used the Monte-Carlo method for the simulation of the interaction of neutrons with matter.

To verify the proposed methods was created the Monte-Carlo model of the core of the VVER-1200/491. The model contains the fuel assemblies, created from the fuel rods, regulators CPS, radial and axial reflectors. All components of the reactor are modeled according to the documentation (preliminary safety analysis report of the 1st unit of the Belarusian NPP on 03.27.2013); parameters and deployment of nuclear fuel corresponds to the beginning of the campaign starting fuel load.

Using the Monte-Carlo model was produced calculation work (critical) concentration of boric acid in the reactor, and then using this concentration of boric acid is produced grading absorbing rods working (12 minutes) of the group and grading individual cluster of absorbent rods, placed in the central TVS. Calculation was made for a controlled minimum power level of the reactor at the beginning of a campaign starting fuel load.

The calculation results provide a glimpse of some of the security settings, in particular the speed of the input positive reactivity, added by removing control rods, and about the accuracy and applicability of the developed methods for calculating the physical characteristics of control rods and boron concentration.

The constructed model and the results of calculations allow verifying independently the relevant conditions of the supplied reactor development, as well as the predicted values calculated characteristics.

In terms of speed input of positive reactivity and the central cluster of absorbing rods and 12th group of the rods, meet the safety requirements (input speed does not exceed 0.07 βeff/s). The weight of the reactor protection on the controlled minimum power level totaled 16.6 βeff. Method of calibrating absorber rods by means of Monte-Carlo simulation is quite effective in the calibration rods groups when their physical weight is about 0.7 βeff and less effective in the case of calibration of a single rod cluster (because of the small physical weight). To find the critical concentration of boric acid in the primary circuit proposed method gives good results in a reasonable time and, probably, can be used universally.

All work on the construction of a model "from scratch", on the calculation of concentrations of nuclear materials, the processing of the results, etc., were taken completely independently by the author. Chapter 3, "Methods of determining the calculated parameters of the reactor" was developed together with the scientific adviser. Comments and suggestions of the supervisor and scientific consultant about the work were taken into account.

The developed model and the results of calculations were included into the two (2) reports on the research work of the GNU "JIPNR - Pines" NASB.