

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ
Кафедра ядерной физики**


ОСАДЧЕВ
Антон Евгеньевич

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ОСНОВНЫХ НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКИХ
ХАРАКТЕРИСТИК УРАН-ВОДНЫХ РАЗМНОЖАЮЩИХ СИСТЕМ
С УРАН-ГИДРИДЦИРКОНИЕВЫМ ТОПЛИВОМ С 19,75 %
ОБОГАЩЕНИЕМ ПО УРАНУ-235**

Магистерская диссертация

специальность 1-31 80 05 «Физика»

Научный руководитель
Андрей Владимирович Кузьмин
кандидат физ.-мат. наук

Допущена к защите
«11» июня 2019 г. 
Зав. кафедрой ядерной физики
к. ф.-м. наук, доцент А.И. Тимошенко



МИНСК, 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ.....	4
АГУЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРАЦЫ.....	5
GENERAL WORK DESCRIPTION	6
ВВЕДЕНИЕ.....	7
ГЛАВА 1 КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКОГО КОДА MCU-PD	9
1.1 Набор подмодулей составного физического модуля СОФИЗМ.....	12
1.1.1 Fagion – подмодуль для моделирования физических процессов методом Монте-Карло в быстрой энергетической области	12
1.1.2 Фимброэн – подмодуль физического модуля для розыгрыша столкновений нейтронов с веществом в быстрой и резонансной энергетических областях	13
1.1.3 Фимтоэн – подмодуль физического модуля для розыгрыша столкновений нейтронов с веществом в области термализации	20
1.2 Библиотеки ядерных данных.....	22
1.2.1 ACE/MCU – библиотека энергетической зависимости параметров взаимодействия нейтронов с веществом в поточечном представлении	23
1.2.2 БНАБ/MCU – библиотека 26-групповых констант взаимодействия нейтронов с веществом.....	23
1.2.3 MULTIC – библиотека 301-групповых констант с подгруппами взаимодействия нейтронов с веществом.....	23
1.2.4 LIPAR – библиотека резонансных параметров	24
1.2.5 KORT – библиотека сечений в тепловой области энергий нейтронов.....	25
1.2.6 TEPCON – библиотека 40-групповых сечений взаимодействия тепловых нейтронов с веществом	25
1.2.7 VESTA – библиотека сечений рассеяния в тепловой области энергий	26
1.2.8 BOFS – библиотека обобщенных фононных спектров замедлителей.....	27
1.3 Методические ошибки расчета.....	28
ГЛАВА 2 ОПИСАНИЕ БЕНЧМАРК-МОДЕЛИ ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА TRIGA MARK II	29
2.1 Краткое описание экспериментов.....	29
2.2 Конструкция составляющих элементов реактора.....	33
2.3 Материальный состав элементов реактора	37

ГЛАВА 3 РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ ОСНОВНЫХ НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВУХ КОНФИГУРАЦИЙ АКТИВНОЙ ЗОНЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО РЕАКТОРА TRIGA MARK 38
ЗАКЛЮЧЕНИЕ..... 44
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ..... 47
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Листинг кода MCU-PD для модели исследовательского ядерного реактора TRIGA Mark II..... 48

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Магистерская диссертация: 54 с., 11 рис., 10 табл., 14 источников, 1 прил. TRIGA, БЕНЧМАРК-ЭКСПЕРИМЕНТ, МОДЕЛИРОВАНИЕ, MCU-PD, МОНТЕ-КАРЛО, ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ РЕАКТОР, НЕПЕРИОДИЧЕСКАЯ РЕШЕТКА, ВОДЯНОЙ ЗАМЕДЛИТЕЛЬ, ГРАФИТОВЫЙ ОТРАЖАТЕЛЬ, ЭФФЕКТИВНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ РАЗМНОЖЕНИЯ.

Цель работы – рассчитать основные нейтронно-физические характеристики исследовательского ядерного реактора TRIGA Mark II с уран-гидридциркониевым топливом с 20 % обогащением по урану-235 с помощью новой версии прецизионного компьютерного кода MCU-PD. Сравнить результаты, полученные при использовании различных подмодулей и параметров, применение которых позволит подключать необходимые библиотеки ядерных данных, учитывающие особенности взаимодействия нейтронов с веществом в различных энергетических областях, рассчитывать зависимости сечений от энергии в области разрешенных резонансов формализмами Брейта-Вигнера, Адлер-Адлера или Рейха-Мура, учитывать тепловое движение и химические связи ядер вещества рассеивателя, а также эффекты интерференции нейтронных волн, рассеянных на разных ядрах. Сравнить полученные результаты с результатами бенчмарк-эксперимента.

Объект исследования – бенчмарк-модель исследовательского ядерного реактора TRIGA Mark II.

Новизна и практическая польза полученных результатов заключается в расчете основных нейтронно-физических характеристик бенчмарк-модели реактора TRIGA прецизионным компьютерным кодом MCU-PD с обновленными библиотеками ядерных данных. На основании полученных расчетных результатов в работе будут даны рекомендации по выбору подмодулей и параметров расчета, отвечающих за подключение определенных библиотек ядерных данных, применение которых позволит наиболее достоверно рассчитывать уран-водные размножающие системы с топливом, имеющим обогащение порядка 20 %.

Магистерская диссертация состоит из трех глав, в которых представлено краткое описание прецизионного компьютерного кода – MCU-PD, бенчмарк-модель исследовательского ядерного реактора TRIGA Mark II, результаты расчетов основных нейтронно-физических характеристик двух конфигураций активной зоны данного реактора, сравнение полученных результатов с результатами бенчмарк-эксперимента.

АГУЛЬНАЯ ХАРАКТАРЫСТЫКА ПРАЦЫ

Магістэрская дысертацыя: 54 с., 11 мал., 10 табл., 14 крыніц, 1 дадатак.
TRIGA, БЕНЧМАРК-ЭКСПЕРЫМЕНТ, МАДЭЛЯВАННЕ, МОНТЭ-КАРЛА, MCU-PD, ДАСЛЕДЧЫ РЭАКТАР, НЕПЕРЫЯДЫЧНАЯ РАШОТКА, ВАДЗЯНЫ ЗАПАВОЛЬНИК, ГРАФІТАВЫ АДЫВАЛЬНИК, ЭФЕКТЫЎНЫ КАЭФІЦЫЕНТ РАЗМНАЖЭННЯ.

Мэта працы – разлічыць асноўныя нейтронна-фізічныя характарыстыкі даследчага ядзернага рэактара TRIGA Mark II з уран-гідрыдцырконіевым палівам з 20 % абагачэннем па урану-235 з дапамогай новай версіі прэцызійнага камп'ютэрнага коду MCU-PD. Параўнаць вынікі, атрыманыя пры выкарыстанні розных падмодуляў і параметраў, прымяненне якіх дазволіць падключачь неабходныя бібліятэкі ядзерных дадзеных, якія ўлічваюць асаблівасці ўзаемадзеяння нейтронаў з рэчывам у розных энергетычных абласцях, разлічваць залежнасці сячэнняў ад энергіі ў галіне дазволенах рэзанансаў фармалізмамі Брэйта-Вігнера, Адлер-Адлера або Рэйха-Мура, улічваюць цеплавы рух і хімічныя сувязі ядраў рэчыва рассейвальнікаў, а таксама эфекты інтэрферэнцыі нейтронных хваль, рассеяных на розных ядрах. Параўнаць атрыманыя вынікі з вынікамі бенчмарк-эксперыменту.

Аб'ект даследавання – бенчмарк-мадэль даследчага ядзернага рэактара TRIGA Mark II.

Навізна і практычная карысць атрыманых вынікаў заключаецца ў разліку асноўных нейтронна-фізічных характарыстык бенчмарк-мадэлі рэактара TRIGA прэцызійным камп'ютарным кодам MCU-PD з абноўленымі бібліятэкамі ядзерных дадзеных. На падставе атрыманых разліковых вынікаў у працы будуць дадзены рэкамендацыі па выбары падмодуляў і параметраў разліку, якія адказваюць за падключэнне пэўных бібліятэк ядзерных дадзеных, прымяненне якіх дазволіць найбольш пэўна разлічваць уран-водныя размнажальныя сістэмы з палівам, якія маюць абагачэнне парадку 20 %.

Магістарская дысертацыя складаецца з трох раздзелаў, у якіх прадстаўлена кароткае апісанне прэцызійнага камп'ютарнага коду MCU-PD, бенчмарк-мадэль даследчага ядзернага рэактара TRIGA Mark II, вынікі разлікаў асноўных нейтронна-фізічных характарыстык дзвюх канфігурацый актыўнай зоны дадзенага рэактара, параўнанне атрыманых вынікаў з вынікамі бенчмарк-эксперыменту.

GENERAL WORK DESCRIPTION

Master's thesis: 54 p., 11 pictures, 10 tables, 14 sources, 1 application.

TRIGA, BENCHMARK EXPERIMENT, SIMULATION, MONTE-CARLO, MCU-PD, RESEARCH REACTOR, NON-PERIODIC LATTICE, WATER MODERATOR, GRAPHITE REFLECTOR, EFFECTIVE MULTIPLICATION FACTOR.

The purpose of the work is to calculate the basic neutron-physical characteristics of the research nuclear reactor TRIGA Mark II with uranium-hydridezirconium fuel with 20 % uranium-235 enrichment using the new version of the precision computer code MCU-PD. To compare the results obtained by using different submodules and parameters, the application of which will allow to connect the necessary libraries of nuclear data, taking into account the features of the interaction of neutrons with matter in different energy fields, to calculate the dependence of cross sections on energy in the region of allowed resonances by Braith-Wigner, Adler-Adler or Reich-Moore formalisms, to take into account the thermal motion and chemical bonds of the nucleus of the diffuser substance, as well as the effects of interference of neutron waves scattered on different nucleus. To compare obtained results with the results of the benchmark experiment.

The object of research is a benchmark model of the TRIGA Mark II nuclear research reactor.

The novelty and practical use of the results is to calculate the basic neutron-physical characteristics of the benchmark model of the TRIGA reactor by precision computer code MCU-PD with updated nuclear data libraries. On the basis of the obtained calculation results, recommendations on the choice of submodules and calculation parameters responsible for the connection of certain nuclear data libraries, the use of which will allow the most reliable calculation of uranium-water multiplying systems with fuel enrichment of about 20 % will be given.

The master's thesis consists of three chapters, which presents a brief description of the precision computer code MCU-PD, the benchmark-model of the research nuclear reactor TRIGA Mark II, calculation results of the basic neutron-physical characteristics of two configurations of the active zone of the reactor, the comparison of obtained results with the results of the benchmark-experiment.