

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

ТУЛУП  
Павел Владимирович

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ  
В ПУЧКАХ ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩИХ СТЕРЖНЕЙ  
ПРИ ПОВТОРНОМ ЗАЛИВЕ

Дипломная работа

Научный руководитель:  
старший преподаватель О.В. Семенович

Консультант:  
к. ф.-м. н., доцент А.И. Тимошенко

Рецензент:  
д. ф.-м. н., профессор В.М. Анищик

Допущена к защите

«14» января 2019 г.

Зав. кафедрой ядерной физики  
кандидат физико-математических наук, доцент А.И. Тимошенко

Минск, 2019

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Перечень сокращений	3
Реферат	4
РЭферат	5
Summary	6
Введение	7
Глава 1 Теплогидравлические системные реалистические расчётные коды	9
1.1 Теплогидравлические расчётные коды: классификация	9
1.2 Анализ «парка» современных теплогидравлических системных реалистических расчётных кодов	13
1.3 Задачи детерминистического анализа, требующие моделирования повторного залива	23
1.4 Выводы по главе 1	25
Глава 2 Анализ системы исходных уравнений математической модели РК ATHLET	27
2.1 Уравнения модели раздельного течения фаз в формулировке, используемой в системных кодах	27
2.2 Вывод исходных уравнений математической модели расчётного кода ATHLET	31
2.3 Уравнения «модели 6-ти уравнений»	43
2.4 Выводы по главе 3	46
Глава 3 Моделирование повторного залива	48
3.1 Процессы тепломассообмена в ходе повторного залива	48
3.2 Моделируемый натурный эксперимент	55
3.3 Вычислительный эксперимент	56
3.3.1 Правила составления «колоды» исходных данных	57
3.3.2 «Колода» исходных данных моделируемого эксперимента	59
3.4 Результаты численного моделирования и их анализ	63
3.5 Выводы по главе 3	103
Заключение	104
Список использованных источников	106
Приложения	118

## РЕФЕРАТ

Дипломная работа 122 с., 59 рис., 8 табл., 127 источников.

ЯДЕРНЫЙ РЕАКТОР, РЕАКТОРНАЯ УСТАНОВКА, ПЕРВЫЙ КОНТУР, КОМПЬЮТЕРНЫЙ КОД, ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКИЙ КОД, СИСТЕМНЫЙ РЕАЛИСТИЧЕСКИЙ КОД, АВАРИЯ, ПОВТОРНЫЙ ЗАЛИВ, ПОТЕРЯ ТЕПЛНОСИТЕЛЯ, ТЕРМОГИДРОДИНАМИКА, ТЕПЛОМАССОБМЕН.

Цель дипломной работы – 1) выполнить анализ существующих результатов исследования рассматриваемой проблемы; 2) изучить современные методики рассматриваемого класса задач реакторной теплофизики; 3) решить международную тестовую задачу; 4) сделать анализ результатов проведённых вычислительных экспериментов.

Метод исследования – математическое моделирование.

Сделан анализ существующих результатов исследования результатов моделирования повторного залива пучков тепловыделяющих стержней; получена пригодная для использования с теплогидравлическим системном расчётом коде система исходных уравнений математической модели термогидродинамических процессов; изучена методика решения задач с повторным заливом; выполнена серия вычислительных экспериментов, виртуально воспроизведивших полномасштабный натурный эксперимент THETIS; сделан анализ полученных результатов.

Результаты работы докладывались на Юбилейной научной конференции студентов. Результаты могут быть использованы в качестве методологических материалов.

## РЭФЕРАТ

Дыпломная работа 122 с., 59 мал., 8 табл., 127 кр.

ЯДЗЕРНЫ РЭАКТАР, РЭАКТАРНАЯ ЎСТАНОЎКА, ПЕРШЫ КОНТУР,  
КАМПУТАРНЫ КОД, ЦЕПЛАГІДРАЎЛЧНЫ КОД, СІСТЭМНЫ  
РЭАЛІСТЫЧНЫ КОД, АВАРЫЯ, ПАЎТОРНЫ ЗАЛЎ, СТРАТА  
ЦЕПЛАНОСБІТА, ЦЕРМАГІДРАДЫНАМІКА, ЦЕПЛАМАСААБМЕН.

Мэта дыпломнай работы – 1) выканаць аналіз існуючых рэзультатаў даследаванні разгляданай праблемы; 2) вывучыць сучасныя ме-тодики разгляданага класа задач рэактарнай цеплафізікі; 3) вырашыць міжнародную тэставую задачу; 4) зрабіць аналіз вынікаў праведзеных вылічальных эксперыментаў.

Метад даследавання – матэматычнае мадэляванне.

Зроблены аналіз существующих вынікаў даследавання вынікаў мадэлявання паўторнага заліва пучкоў цеплавыдзяляльных стрыжняў; атрымана прыдатная для выкарыстання з цеплагідраўлічным сістэмным разліковым кодзе сістэма зыходных раўнанняў матэматычнай мадэлі цермагідрадынамічных працэсаў; вывучана методыка решэння задач з паўторным залівам; выканана серыя вылічальных эксперыментаў, віртуальна прайграваўшых паўнамаштабны натурны эксперымент THETIS; зроблен аналіз атрыманых вынікаў.

Вынікі работы дакладваліся на юбілейнай навуковай канферэнцыі студэнтаў. Вынікі могуць быць выкарыстаны ў якасці метадалогіскіх матэрыялаў.

## SUMMARY

Graduate work 122 p., 59 fig., 8 tab., 127 references.

NUCLEAR REACTOR, REACTOR SYSTEM, THE FIRST CIRCUIT, COMPUTER CODE, THERMAL-HYDRAULIC CODE, BEST-ESTIMATE CODE, ACCIDENT, RE-BAY, LOSS OF COOLANT ACCIDENT, THERMOHYDRODYNAMICS, THERMAL-HEAT EXCHANGE.

The purpose of the thesis – 1) to analyze the existing results of the study of the problem under consideration; 2) to study the modern methods of the considered class of problems of reactor thermal physics; 3) to solve the international test problem; 4) to analyze the results of the conducted computational experiments.

The research method is mathematical modeling.

The analysis of the existing results of the study of the simulation results of re-bay beams of fuel rods; obtained suitable for use with the thermal-hydraulic system calculation code system of the original equations of the mathematical model of thermohydrodynamic processes; studied the method of solving problems with the re-bay; performed a series of computational experiments, virtually reproducing the full-scale natural experiment THETIS; made an analysis of the results.

The results of the work were reported at the Jubilee scientific conference of students. The results can be used as methodological materials.