

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

СТЕЦОВ  
Александр Валерьевич

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПАРОВОДОЯНОГО ПОТОКА  
В ЗАДАЧАХ С ПОТЕРЕЙ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ

Дипломная работа

Научный руководитель:  
старший преподаватель О.В. Семенович

Консультант:  
кандидат физико-математических наук  
доцент А.И. Тимощенко

Рецензент:  
доктор физико-математических наук  
профессор В.М. Анищик

Допущена к защите

«14» января 2019 г.

Зав. кафедрой ядерной физики

кандидат физико-математических наук, доцент А.И. Тимощенко

Минск, 2019

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Перечень сокращений	4
Реферат	5
Рэферат	6
Summary	7
Введение	8
Глава 1 Теплогидравлические системные реалистические расчётные коды	11
1.1 Теплогидравлические системные реалистические расчётные коды: современное состояние «парка»	11
1.2 Анализ востребованности основных «семейств» теплогидравлических системных реалистических расчётных кодов	15
1.3 Задачи с потерей теплоносителя в детерминистическом анализе безопасности: роль и место	21
1.4 Верификация и валидация расчётных кодов	24
1.5 Выводы по главе 1	28
Глава 2 Анализ системы исходных уравнений математической модели РК ATHLET	30
2.1 Уравнения модели раздельного течения фаз в формулировке, используемой в системных кодах	30
2.2 Вывод исходных уравнений математической модели расчётного кода ATHLET	34
2.2.1 Общее фазовое уравнение баланса	34
2.2.2 Фазовое уравнение баланса массы	35
2.2.3 Фазовое уравнение баланса импульса	36
2.2.4 Фазовое уравнение баланса энергии	37
2.3 Система решаемых уравнений	39
2.4 Выводы по главе 2	42
Глава 3 Критическое истечение двухфазного потока	43
3.1 Основные теоретические положения	43
3.2 Модель Муди	44
3.3 Выводы по главе 3	52
Глава 4 Вычислительные эксперименты	53
4.1 Экспериментальная установка теста «Труба Эдвардса»	53
4.2 Вычислительные эксперименты	56
4.2.1 Основные положения управления работой РК ATHLET	56
4.2.2 Колода исходных данных, использовавшаяся для вычислительных экспериментов	59

4.3 Анализ результатов вычислительных экспериментов	76
4.4 Выводы по главе 4	102
Заключение	104
Список использованной литературы	106
Приложения	120
Приложение А Матрицы валидации ПК ATHLET	120
Приложение Б Вывод исходных уравнений математической модели расчётного кода ATHLET	125
Б.1 Методика усреднения во времени	125
Б.2 Общее фазовое уравнение баланса	128
Б.3 Фазовое уравнение баланса массы	130
Б.4 Фазовое уравнение баланса импульса	132
Б.5 Фазовое уравнение баланса энергии	135
Приложение В Колода исходных данных для задачи «Труба Эдвардса»	138

## РЕФЕРАТ

Дипломная работа 148 с., 78 рис., 9 табл., 142 источников.

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

Цель дипломной работы: 1) выполнить анализ существующих результатов исследования рассматриваемой проблемы: моделирование параметров пароводяного потока в задачах с потерей теплоносителя; 2) изучить современные методики решения рассматриваемого класса задач реакторной теплофизики; 3) решить тестовую международную стандартную задачу (ISP) с потерей теплоносителя; 4) сделать анализ результатов проведенных вычислительных экспериментов.

Метод исследования – математическое моделирование

Сделан анализ существующих результатов моделирования параметров пароводяного потока в задачах с потерей теплоносителя; получена система исходных уравнений математической модели расчётного кода ATHLET; изучена методика решения задач с потерей теплоносителя; смоделирована международная стандартная задача ISP – 01 «Edwards Pipe» «Труба Эдвардса» и сделан анализ результатов.

Результаты работы докладывались на Юбилейной научной конференции студентов (8–12 октября 2018 г.). Результаты могут быть использованы в качестве методических материалов.

## РЭФЕРАТ

Дыпломная работа 148 с., 78 мал., 9 табл., 142 кр.

ЯДЗЕРНЫ РЭАКТАР, РЭАКТАРНАЯ ЎСТАНОЎКА, ПЕРШЫ КОНТУР, КАМП'ЮТЕРНЫ КОД, ЦЕПЛАГІДРАЎЛШЧНЫ КОД, СІСТЭМНЫ РЭАЛІСТЫЧНЫ КОД, АВАРЫЯ, СТРАТА ЦЕПЛАНОСБІТА, ТЭРМАГІДРАДЫНАМІКА, ЦЕПЛАМАСААБМЕН.

Мэта дыпломнай працы: 1) выканаць аналіз існуючых вынікаў даследавання разглядаанай праблемы: мадэляванне параметраў паравадзянога патоку ў задачах з стратай цепланосбіта; 2) вывучыць сучасныя метадыкі рашэння разгляданага класа задач рэактарнай цеплафізікі; 3) вырашыць тэставую міжнародную стандартную задачу (ISP) з стратай цепланосбіта; 4) зрабіць аналіз вынікаў праведзеных вылічальных эксперыментаў.

Метад даследавання – матэматычнае мадэляванне.

Зроблены аналіз існуючых вынікаў мадэлявання параметраў паравадзянога патоку ў задачах з стратай цепланосбіта; атрымана сістэма зыходных ураўненняў матэматычнай мадэлі разліковага кода ATHLET; вывучана метадыка рашэння задач з стратай цепланосбіта; змадэлявана міжнародная стандартная задача ISP-01 ISP – 01 «Edwards Pipe» «Труба Эдвардса» і зроблены аналіз вынікаў.

Вынікі працы дакладваліся на Юбілейнай навуковай канферэнцыі студэнтаў (8-12 кастрычніка 2018 г.). Вынікі могуць быць выкарыстаны ў якасці метадычных матэрыялаў.

## SUMMARY

Graduate work 148 p., 78 fig., 9 tab., 142 references.

NUCLEAR REACTOR, REACTOR SYSTEM, THE FIRST CIRCUIT, COMPUTER CODE, THERMAL-HYDRAULIC CODE, BEST ESTIMATE CODE, ACCIDENT, LOSS OF COOLANT, THERMOHYDRODYNAMICS, HEAT AND MASS TRANSFER.

The purpose of the thesis: 1) to analyze the existing results of the study of the problem: modeling the parameters of steam-water flow in problems with loss of coolant; 2) to study modern methods of solving the class of problems of reactor thermal physics; 3) to solve the test of the international standard problem (ISP) with the loss of coolant; 4) to analyze the results of computational experiments.

The method of investigation is mathematical simulation.

The analysis of the existing results of modeling the parameters of steam-water flow in the problems with the loss of coolant; the system of initial equations of the mathematical model of the calculation code ATHLET; the method of solving problems with the loss of coolant; simulated international standard problem ISP – 01 «Edwards Pipe» and the analysis of the results.

The results of the work were reported at the Jubilee scientific conference of students (8-12 October 2018). The results can be used as methodological materials.