

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

ЛЕВЕНКОВ
Владислав Андреевич

**ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ТОПЛИВНОГО
БАССЕЙНА АЭС С УЧЕТОМ ВНУТРЕННИХ ИНИЦИИРУЮЩИХ
СОБЫТИЙ, ВНУТРЕННИХ ПОЖАРОВ И ЗАТОПЛЕНИЙ**

Дипломная работа

Научный руководитель:
старший научный сотрудник
лаборатории детерминистического
и вероятностного анализа
безопасности объектов
использования атомной энергии
научного учреждения
«ОИЭЯИ-Сосны»
Э.А. Михалычева 

Консультант:
доцент, докт. техн. наук,
зам. ген. директора по научной
работе научного учреждения
«ОИЭЯИ-Сосны»
А.Г. Трифонов 

Допущен к защите 

«12» 01 2022 г.

Зав. кафедрой ядерной физики

Доцент, канд. физ.-мат. наук, А.И. Тимошенко

Минск, 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

РЕФЕРАТ	4
РЭФЕРАТ	5
SUMMARY	6
ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ	7
ВВЕДЕНИЕ	9
ГЛАВА 1 ВЕРОЯТНОСТНЫЙ АНАЛИЗ БЕЗОПАСНОСТИ	12
1.1 Основы методологии вероятностного анализа безопасности	12
1.2 Проектные основы системы охлаждения топливного бассейна	15
ГЛАВА 2 АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ТОПЛИВНОГО БАСЕЙНА	20
2.1 Критерии успеха системы охлаждения топливного бассейна. Допущения, приняты при вероятностном анализе системы ФАК	20
2.2 Анализ отказов и их последствий (FMEA) для элементов системы ФАК. Результаты вероятностного анализа системы ФАК	21
2.3 Анализ результатов расчетов. Анализ значимости и чувствительности	29
ГЛАВА 3 ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ТОПЛИВНОГО БАСЕЙНА С УЧЕТОМ ИНИЦИИРУЮЩИХ СОБЫТИЙ, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ ВНУТРИПЛОЩАДОЧНЫХ ПОЖАРАХ НА АЭС ...	37
3.1 Основные положения методики оценки влияния внутриплощадочных пожаров	37
3.1.1 Определение исходных событий, вызванных пожаром	41
3.1.2 Методика оценки частот возникновения пожаров в пожарных зонах	42
3.1.3 Анализ надежности персонала	43
3.1.4 Анализ пожарных сценариев. Отборочный анализ	45
3.1.5 Анализ пожарных сценариев. Детальный анализ	45
3.2 Анализ пожарных сценариев, отказов оборудования и возможных инициирующих событий для системы ФАК	46

ГЛАВА 4 АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМЫ ОТВОДА ТЕПЛА ОТ БАССЕЙНА ВЫДЕРЖКИ С УЧЕТОМ ВОЗМОЖНЫХ ИНИЦИИРУЮЩИХ СОБЫТИЙ, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ ВНУТРЕННИХ ЗАТОПЛЕНИЯХ 56

4.1 Основные положения методики оценки влияния внутриплощадочных затоплений.....	56
4.1.1 Критерии отбора помещений.....	58
4.1.2 Анализ систем (элементов), подверженные отказу из-за затопления.....	59
4.1.3 Отборочный анализ аварийных сценариев.....	60
4.1.4 Детальный анализ аварийных сценариев.....	61
4.2 Анализ зон затопления, отказов оборудования и возможных иницирующих событий для системы ФАК.....	61
4.2.1 Отбор источников затопления.....	63
4.2.2 Определение оборудования системы ФАК, которое может быть повреждено в результате затопления.....	64
4.2.3 Анализ надежности персонала.....	65
4.2.4 Результаты анализа.....	65
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	67
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	70

РЕФЕРАТ

Дипломная работа: 71 с., 12 рис., 8 табл., 21 источник.

Ключевые слова: АЭС, ВВЭР, СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ, АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ, ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СИСТЕМ, БАСЕЙН ВЫДЕРЖКИ ОТРАБОТАВШЕГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА.

Объект исследования: безопасность атомных электростанций.

Цель работы: провести анализ надежности системы охлаждения бассейна выдержки отработавшего ядерного топлива (ФАК) АЭС, рассмотрев аварийные сценарии для внутренних иницирующих событий, внутренних пожаров и затоплений.

Методология проведения работы: проведение вероятностной оценки надежности системы охлаждения бассейна выдержки отработавшего ядерного топлива (ФАК) с учетом внутренних иницирующих событий, выявление основных факторов, влияющих на снижение безопасности системы ФАК. Проведение анализа влияния внутренних пожаров на надежность системы ФАК, выявление основных вкладчиков в отказ системы ФАК при работе энергоблока на мощности и в стояночных режимах. Проведение анализа влияния внутренних затоплений на надежность системы ФАК, определение основных конструктивных решений, которые позволили снизить влияние внутриплощадочных затоплений на безопасность системы ФАК.

Полученные результаты и их новизна: расчеты с использованием логико-вероятностных моделей надежности системы охлаждения бассейна выдержки отработавшего ядерного топлива (ФАК) позволили определить наиболее значимых вкладчиков в снижение безопасности системы ФАК для сценариев внутренних иницирующих событий, внутренних пожаров и затоплений при работе энергоблока АЭС на мощности и в стояночных режимах.

Область возможного практического применения: результаты выполнения задания и методологические подходы могут быть использованы при проведении анализа систем безопасности АЭС.

Достоверность полученных результатов подтверждается применением верифицированных программных средств.

Автор работы подтверждает, что приведённый в ней расчётно-аналитический материал правильно и объективно отражает состояние исследуемого процесса, а все заимствованные из литературных и других источников теоретические, методологические и методические положения и концепции сопровождаются ссылками на их авторов.

РЭФЕРАТ

Дыпломная работа: 71 с., 12 мал., 8 табл., 21 крыніц.

Ключавыя словы: АЭС, ВВЭР, СІСТЭМЫ БЯСПЕКІ, АНАЛІЗ НАДЗЕЙНАСЦІ, ФУНКЦЫЯНАЛЬНЫ АНАЛІЗ СІСТЭМ, БАСЕЙН ВЫТРЫМКІ АДПРАЦАВАЛАГА ЯДЗЕРНАГА ПАЛІВА.

Аб'ект даследавання: бяспека атамных электрастанцый.

Мэта работы: правесці аналіз надзейнасці сістэмы астуджэння басейна вытрымкі ядзернага паліва, якое адпрацавала, (ФАК) АЭС, разгледзеўшы аварыйныя сцэнарыі для ўнутраных падзей, унутраных пажараў і затапленняў.

Метадалогія правядзення работы: правядзенне імавернаснай ацэнкі надзейнасці сістэмы астуджэння басейна вытрымкі ядзернага паліва, якое адпрацавала, (ФАК) з улікам унутраных ініцыявальных падзей, выяўленне асноўных фактараў, якія ўплываюць на зніжэнне бяспекі сістэмы ФАК. Правядзенне аналізу ўплыву ўнутраных пажараў на надзейнасць сістэмы ФАК, выяўленне асноўных укладчыкаў у адмову сістэмы ФАК пры працы энергаблока на магутнасці і ў стаяначных рэжымах. Правядзенне аналізу ўплыву ўнутраных затапленняў на надзейнасць сістэмы ФАК, вызначэнне асноўных канструктыўных рашэнняў, якія дазволілі знізіць уплыў унутрыпляцовачных затапленняў на бяспеку сістэмы ФАК.

Атрыманыя вынікі і іх навізна: разлікі з выкарыстаннем логіка-верагоднасных мадэляў надзейнасці сістэмы астуджэння басейна вытрымкі ядзернага паліва, якое адпрацавала, (ФАК) дазволілі вызначыць найбольш значных укладчыкаў у зніжэнне бяспекі сістэмы ФАК для сцэнарыяў унутраных ініцыявальных падзей, унутраных пажараў і затапленняў пры працы энергаблока АЭС на магутнасці і ў стаяначных рэжымах.

Вобласць магчымага практычнага ўжывання: вынікі выканання задання і метадалагічныя падыходы могуць быць выкарыстаны пры правядзенні аналізу сістэм бяспекі АЭС.

Верагоднасць атрыманых вынікаў пацвярджаецца прымяненнем верыфікаваных праграмных сродкаў.

Аўтар работы пацвярджае, што прыведзены ў ёй разлікова-аналітычны матэрыял правільна і аб'ектыўна адлюстроўвае стан даследаванага працэсу, а ўсе запазычаныя з літаратурных і іншых крыніц тэарэтычныя, метадалагічныя і метадычныя палажэнне і канцэпцыі суправаджаюцца спасылкамі на іх аўтараў.

SUMMARY

Thesis: 71 p., 12 fig., 8 tab., 21 references.

Key words: NPP, VVER, SAFETY SYSTEMS, RELIABILITY ANALYSIS, FUNCTIONAL ANALYSIS OF SYSTEMS, COOLING SYSTEM OF SPENT FUEL POOL.

Object of research: safety of nuclear power plants.

Purpose of work: reliability analysis of the cooling system of the spent fuel pool (FAK) of the nuclear power plant, considering emergency scenarios for internal initiating events, internal fires and flooding.

Work methodology: performing a probabilistic assessment of the reliability of the spent nuclear fuel pool cooling system, taking into account internal initiating events, identifying the main factors affecting the decrease in the safety of the FAK system. Analyzing the impact of internal fires on the reliability of the FAK system, identifying the main contributors to the failure of the FAK system when the power unit is operating at power and standby modes. Analysis of the impact of internal flooding on the reliability of the FAK system, identification of the main design solutions that made it possible to reduce the impact of on-site flooding on the safety of the FAK system.

Obtained results and their novelty: calculations using probabilistic logic models of the reliability of the spent nuclear fuel pool cooling system allowed identifying the most significant contributors to the safety reduction of the FAK system for scenarios of internal initiating events, internal fires and flooding when the NPP power unit is operating at power and standby modes.

Area of possible practical application: the results of the assignment and methodological approaches can be used in the analysis of NPP safety systems.

The reliability of the results confirmed by the use of certified software.

The author of the work confirms that computational and analytical material presented in it correctly and objectively reproduces the investigated process, and all the theoretical, methodological and methodical positions and concepts borrowed from literary and other sources are given references to their authors.