

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
Обнинский институт атомной энергетики –
филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего
образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
(ИАТЭ НИЯУ МИФИ)

Отделение Интеллектуальные кибернетические системы

**Выпускная квалификационная работа —
бакалаврская работа**

по направлению подготовки **09.03.02 Информационные системы и технологии**

Направленность (профиль) **Информационные технологии**

**«Разработка приложения для автоматизированного
статистического анализа данных, полученных при
КГО стендовым методом на реакторах типа ВВЭР»**

Выполнил:

студент гр. ИС2-Б20

_____ Костевич А.Е.

Руководитель ВКР,

старший преподаватель ОИКС

_____ Радаев А.В.

Нормоконтроль

доцент отделения ИКС, к.ф.-м.н.

_____ Качанов Б.В.

Выпускная квалификационная

работа допущена к защите

Руководитель

образовательной программы

09.03.02 Информационные системы

и технологии

канд. тех. наук

_____ Мирзеабасов О.А.

Обнинск, 2024 г

РЕФЕРАТ

Работа 22 стр., 1 табл., 3 рис., 5 ист.

РАЗРАБОТКА ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ, ПОЛУЧЕННЫХ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ КГО СТЕНДОВЫМ МЕТОДОМ ДЛЯ РЕАКТОРОВ ТИПА ВВЭР.

Объектом разработки является настольное приложение с графическим интерфейсом, поддерживающее функции визуализации, экспорта, а также статистического анализа данных.

Целью данной работы является разработка программного обеспечения с целью повышения точности и упрощения процесса анализа данных, полученных при проведении КГО в пеналах СОДС для реакторов типа ВВЭР.

Задачами ВКР являются изучение и анализ существующего метода КГО, выбор критериев для анализа данных, выбор и освоение инструментов разработки, реализация алгоритмов анализа данных.

В работе производится подробный анализ существующего подхода к проведению процедуры и анализу данных КГО на реакторах типа ВВЭР, приводятся предложения по улучшению и автоматизации этого подхода, а также описывается процесс разработки программного обеспечения с учётом внесённых предложений. Разработанное приложение было успешно апробировано на Нововоронежской АЭС.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Реперный радионуклид — радионуклид, по выходу которого из твэла в теплоноситель первого контура судят о герметичности оболочки твэла, так как он обладает ядерно-физическими и химическими характеристиками, позволяющими надежно регистрировать его в условиях эксперимента.

Негерметичный твэл - твэл, в оболочке которого имеется повреждение, приводящее к выходу продуктов деления из него.

Негерметичная ТВС — ТВС, в составе которой имеются негерметичные твэлы.

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

БВ — Бассейн выдержки.

ВВЭР — Водо-водяной энергетический реактор.

КГО — Контроль герметичности оболочек.

ЛПР — Лицо, принимающее решение.

ПД — Продукты деления.

ПК — Продукты коррозии.

СОДС — Система обнаружения дефектных сборок.

ТВС — Тепловыделяющая сборка.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1 Обзор существующей методики проведения процедуры КГО стендовым методом	4
1.1 Основные положения	4
1.2 Процедура проведения КГО стендовым методом	4
1.3 Обработка результатов	5
1.4 Учет выгорания топлива ТВС	10
2 Предложения по улучшению методики обработки данных	12
2.1 Проблемы существующего подхода	12
2.2 Метод IQR	13
2.3 Анализ принадлежности данных одному статистическому рас- пределению	13
3 Проектирование приложения с учётом внесённых предло- жений	14
3.1 Требования к проектируемому приложению	14
3.2 Обзор инструментов разработки	15
3.3 Архитектура приложения	16
3.4 Пользовательский сценарий использования	16
4 Разработка приложения	18
4.1 Исходный код	18
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	19
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	20
Приложение А	21

ВВЕДЕНИЕ

Атомные электростанции играют ключевую роль в современной энергетике. Однако сопутствующие ядерной энергетике риски требуют непрерывного совершенствования методов контроля и обслуживания ядерных установок.

В частности, одним из значимых аспектов эксплуатации ядерных реакторов является контроль герметичности оболочек тепловыделяющих элементов. В настоящее время анализ данных, полученных при проведении КГО, частично осуществляется в ручном режиме, что требует значительных ресурсов времени и труда. Более того, этот подход подвержен человеческим ошибкам и может ограничивать возможности в проведении анализа данных с высокой точностью и скоростью.

Как известно, одним из недостатков реактора типа ВВЭР является невозможность перегрузки топлива без остановки реактора и ошибка, допущенная при принятии решения относительно герметичности ТВС, может потребовать незапланированную остановку реактора, что влечёт за собой существенные экономические издержки.

Цель настоящей работы заключается в разработке программного обеспечения, работа которого направлена на повышение эффективности и достоверности результатов КГО, а также снижение трудовых затрат.

В данной работе будет проведен обзор существующего метода обработки результатов КГО, приведены предложения по его автоматизации, а также описан процесс создания прототипа программного обеспечения.

1. Обзор существующей методики проведения процедуры КГО стендовым методом

1.1. Основные положения

В данной работе рассматривается метод КГО в пеналах СОДС [1], который является одним из наиболее надёжных способов определения негерметичных ТВС. СОДС входит в состав обязательного оборудования всех действующих и проектируемых АЭС с реактором ВВЭР.

Метод основан на измерении утечки ПД из-под оболочек твэлов путем гамма-спектрометрического анализа изотопного состава проб воды, отбираемых из контура циркуляции СОДС, по активности реперных радионуклидов ^{131}I , ^{134}Cs , ^{136}Cs , ^{137}Cs и ^{133}Xe . Инициирование выхода радионуклидов в воду стенда КГО осуществляется посредством изменения давления циркулирующей по контуру стенда воды в процессе выдержки ТВС в этой воде – настаивании.

1.2. Процедура проведения КГО стендовым методом

1. Процедура проведения КГО начинается проведения испытаний для каждой ТВС в пеналах СОДС с последующим отбором проб воды.

Проверка ТВС проводится при циркуляции воды по контуру стенда КГО без ее замены и состоит из двух циклов:

- Настаивание ТВС при избыточном (верхнем) давлении в контуре от $4,5 \cdot 10^5$ Па до $6,0 \cdot 10^5$ Па продолжительностью 5 минут.
- Настаивание ТВС при избыточном (нижнем) давлении в контуре от $1,0 \cdot 10^5$ Па до $1,5 \cdot 10^5$ Па до полного перемешивания (не менее 15 минут).

С целью соблюдения одинаковых условий испытаний требуется, чтобы значения верхнего и нижнего избыточного давления были одинаковыми при проверке всех ТВС.

2. После завершения настаивания ТВС производится отбор пробы воды из контура стенда КГО.

3. В каждой j -ой пробе воды, взятой из стенда КГО при испытании j -ой ТВС, на спектрометрической установке измеряются значения удельной активности и приводятся на момент останова реактора:

- $A_{j,\text{КГО}}^i$ — реперных i -х радионуклидов продуктов деления (^{131}I , ^{134}Cs , ^{136}Cs , ^{137}Cs и ^{133}Xe)
- $A_{j,\text{КГО}}^{i'}$ — радионуклида продуктов коррозии(ПК) (^{54}Mn или ^{58}Co , ^{60}Co , ^{51}Cr , ^{59}Fe).

4. Для учета фоновой активности радионуклидов йода, цезия и продуктов коррозии периодически производится измерение их активности в воде, подаваемой в стенд КГО (с каждой вновь приготовленной порцией раствора борной кислоты на СВО), и в бассейне выдержки (один раз в сутки).

5. Проверка фоновой составляющей за счет загрязнения стенда радиоактивными продуктами (холостая проба) производится перед началом работ по КГО, а также периодически (не реже одного раза в сутки). Для этого без загрузки ТВС в пенал проводятся все операции по промывке контура и настаиванию с отбором и анализом пробы.

6. Итогом проведения спектрометрического анализа проб воды является таблица значений, в которых для каждой j -ой ТВС приводятся в соответствие значения активности $A_{j,\text{КГО}}^i$ каждого из регистрируемых реперных радионуклидов и $A_{j,\text{КГО}}^{i'}$ продуктов коррозии. Статистический анализ результатов измерения проводится для ТВС, в пробах которых значимо регистрировались ПД. Результаты измерений ТВС, при проверке которых реперные ПД не регистрировались, из статистического расчета исключаются.

1.3. Обработка результатов

1. Анализ герметичности ТВС, согласно [1], основан на выборочном поиске выбросов методом "трёх сигм".

2. Основными реперными радионуклидами, по которым устанавливается наличие(отсутствие) негерметичных твэлов в ТВС являются ^{131}I , ^{134}Cs , ^{137}Cs . Наличие в контролируемой пробе ^{136}Cs и(или) ^{133}Xe , значимо

превышающих их содержание в холостых пробах, является однозначным основанием для включения ТВС в список подозрительных, требующих как минимум дополнительной проверки.

3. Полученные значения представляются в графическом виде в такой хронологической последовательности, в какой ТВС проверялись в стенде КГО. Примеры графического представления результатов КГО приведены на рисунках 1 и 2. На основании визуального анализа этих данных на графике может быть сделано заключение, относятся ли они к одному статистическому распределению. Таким способом проводится оценка соблюдения одинаковых условий проверки всех ТВС. Если условия менялись с течением времени (на практике так происходит почти всегда), то производится разделение исходных данных на выборки, которые относятся к одному статистическому распределению.

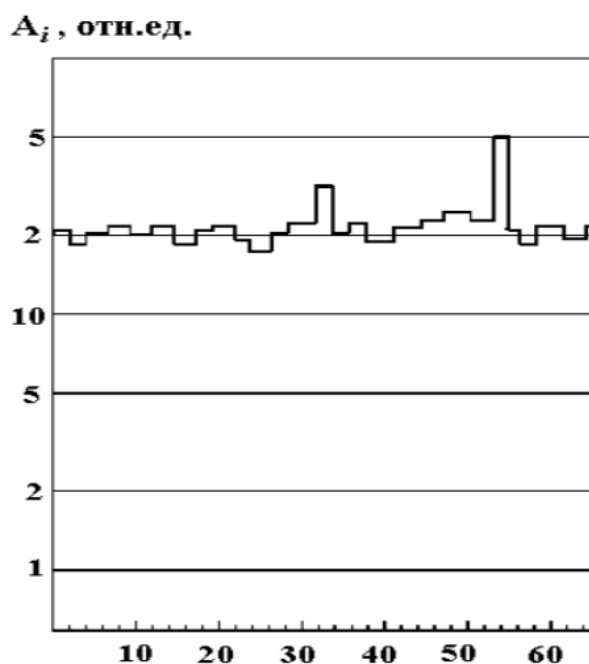


Рисунок 1 – Графическое хронологическое представление данных, принадлежащих к одному распределению. [1]

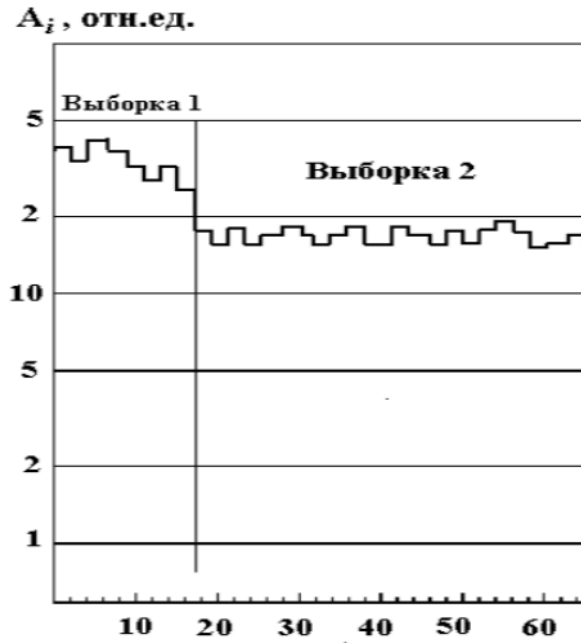


Рисунок 2 – Графическое хронологическое представление данных, принадлежащих к различным распределениям. [1]

4. Для каждой полученной совокупности данных, относящихся к одному и тому же статистическому распределению, вычисляются $\bar{A}_{\text{кго}}^i$ — среднеарифметические значения удельной активности радионуклидов ^{131}I (и ^{134}Cs , ^{136}Cs , ^{137}Cs , ^{133}Xe) и $\bar{A}_{\text{кго}}^{i'}$ — среднеарифметическое значение удельной активности ^{54}Mn (или ^{58}Co , ^{60}Co , ^{51}Cr , ^{59}Fe), по формулам 1 и 2:

$$\bar{A}_{\text{кго}}^i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N A_{j,\text{кго}}^i \quad (1)$$

$$\bar{A}_{\text{кго}}^{i'} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N A_{j,\text{кго}}^{i'} \quad (2)$$

Кроме того, рассчитывают соответствующие им среднеквадратичные отклонения (стандартные статистические неопределенности) по формулам 3 и 4:

$$\sigma_{A_{\text{кго}}^i} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{j=1}^N (A_{j,\text{кго}}^i - \bar{A}_{\text{кго}}^i)^2} \quad (3)$$

$$\sigma_{A_{\text{кго}}^{i'}} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{j=1}^N (A_{j,\text{кго}}^{i'} - \bar{A}_{\text{кго}}^{i'})^2} \quad (4)$$

где N — количество проверенных ТВС.

5. Если $N > 10$, то ТВС, для которых выполняется условие 5 являются герметичными.

$$A_{j, \text{кго}}^i \leq A_{\text{кго}}^i + 3 * \sigma_{A_{\text{кго}}^i} \quad (5)$$

ТВС, для которых одновременно выполняются условия 6 и 7 являются негерметичными.

$$A_{j, \text{кго}}^i > A_{\text{кго}}^i + 3 * \sigma_{A_{\text{кго}}^i} \quad (6)$$

$$A_{j, \text{кго}}^{i'} \leq A_{\text{кго}}^{i'} + 3 * \sigma_{A_{\text{кго}}^{i'}} \quad (7)$$

Важно отметить, что активности радионуклидов ПК измеряются с целью учёта при анализе данных. ПК, образующиеся в конструкционных материалах реактора по мере эксплуатации, переносятся по теплоносителю и могут откладываться на ТВС, что влечёт за собой повышение активности в том числе и реперных ПД [2]. Именно поэтому повышение активности реперных ПД совместно с активностями ПК может являться признаком некачественной отмывки ТВС при подготовке к проведению испытаний.

6. Если количество ТВС в выборке $N < 10$, то в формулах 5-7 в качестве коэффициента при и вместо коэффициента 3 используются коэффициенты Стьюдента, приведенные в таблице 1, для доверительной вероятности 0,95.

Таблица 1 – Значения коэффициента Стьюдента в зависимости от количества проверенных ТВС и вероятности, с которой ТВС могут быть отнесены к разряду имеющих негерметичные твэлы

Кол-во ТВС	0,95	0,99	0,999
2	12,7	66,7	637
3	4,30	9,93	31,6
4	3,18	5,84	12,9
5	2,78	4,60	8,61
6	2,57	4,03	6,86
7	2,45	3,71	5,96
8	2,36	3,50	5,41
9	2,31	3,36	5,04
10	2,26	3,25	4,78

7. Заключение о герметичности ТВС, для которых при выполнении условия 7 условие 6 выполняется не для всех основных реперных ПД(^{131}I , ^{134}Cs , ^{137}Cs), производится с учетом дополнительной информации: наличие (величина удельной активности) в пробах КГО других реперных ПД(^{136}Cs , ^{133}Xe), а также соотношения активности ^{134}Cs и ^{137}Cs с учётом выгорания.

8. Если в результате вычислений выявлены ТВС, содержащие твэлы с негерметичными оболочками, то проводится повторный расчет величин по формулам 1-4 и проверка по условиям 6 и 7 для остальных ТВС.

9. Повторение расчетов и проверок производится до тех пор, пока все ТВС, включаемые в повторную проверку, не будут удовлетворять условию 5.

10. После завершения последовательно проведенных расчетов и проверок повторный КГО твэлов проводится для следующих ТВС:

- для которых выполняется условие 6 для основных реперных ПД и одновременно не выполняется условие 7;
- для которых выполняется условие 6, но проверенных сразу после ТВС, для которых также выполняется условие 6.
- для которых выполняются условие 6 и условие 7, но удельная активность ^{134}Cs и ^{137}Cs в пробе не превышала $7,4 \cdot 10^4$ Бк/кг ($2 \cdot 10^{-6}$ Ки/кг).

11. Результат повторной проверки включается в анализируемую совокупность вместо первичного, если он качественно отличается от него.

1.4. Учет выгорания топлива ТВС

Радионуклид ^{137}Cs ($t_{1/2}=30$ лет) является конечным продуктом радиоактивного бета-распада предшественников в цепочке радиоактивного распада. Влияние других мод образования ^{137}Cs несущественно, так что количество атомов этого радионуклида в топливе и под оболочкой ТВЭЛ оказывается прямо пропорционально выгоранию.

Радионуклид ^{134}Cs ($t_{1/2}=2,06$ лет) образуется преимущественно за счет реакции (n, γ) на ядрах стабильного изотопа ^{133}Cs , который является последним членом цепочки радиоактивного распада и накапливается в топливе практически линейно с выгоранием.

Поскольку образование ^{134}Cs из ^{133}Cs в первом приближении линейно с выгоранием, общее количество ^{134}Cs оказывается близким к квадратичной функции от выгорания, естественно, с учетом радиоактивного распада. Таким образом, соотношение активностей ^{134}Cs и ^{137}Cs в топливе и под оболочкой оказывается значимо зависящим от выгорания. При проведении КГО на остановленном реакторе в пеналах СОДС определение соотношения удельных активностей радионуклидов ^{134}Cs и ^{137}Cs в пробах КГО может быть использовано в качестве индикатора для дополнительной проверки факта обнаружения ТВС с негерметичными ТВЭЛами.

1. Для ТВС, в которых при выполнении условия (7) условие (6) выполняется не для всех контролируемых реперных ПД, строится коэффициент, равный отношению отношения удельных активностей ^{134}Cs и ^{137}Cs в j-ой пробе стенда КГО:

$$K_{\text{кго}}^j = \frac{A_{j,\text{кго}}^{134\text{Cs}}}{A_{j,\text{кго}}^{137\text{Cs}}} \quad (8)$$

На основе сопоставления определенных по формуле (8) коэффициентов $K_{\text{кго}}^j$ - соотношений измеренных удельных активностей ^{134}Cs и ^{137}Cs в пробах от ТВС, определенных как негерметичные, с кривой, приведенной на рисунке 3 определяются расчетные выгорания топлива ТВС с негерметичными ТВЭЛами.

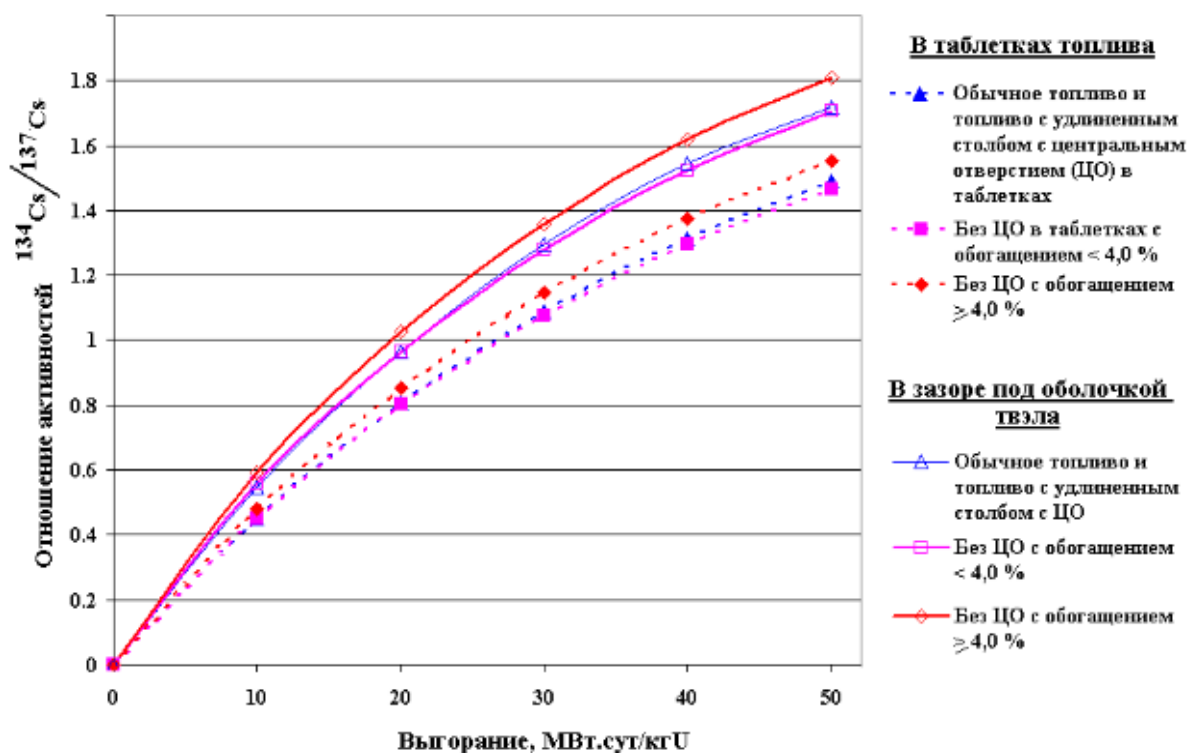


Рисунок 3 – Расчетные соотношения активностей радионуклидов ^{134}Cs и ^{137}Cs в топливе и в зазоре под оболочкой твэлов в функции выгорания для типичных историй облучения топлива реакторов ВВЭР-1000. [1]

2. Совпадение (с учетом неопределенностей) полученных таким образом выгораний топлива с выгораниями топлива этих же ТВС по данным физических расчетов (с учетом неравномерности энерговыделения и выгорания по высоте и радиусу кассеты) является дополнительным фактом, подтверждающим наличие негерметичных твэлов в составе контролируемых ТВС.

2. Предложения по улучшению методики обработки данных

2.1. Проблемы существующего подхода

Рассмотрев методику проведения процедуры КГО согласно[1] можно выделить несколько замечаний, которые можно пересмотреть:

1. Метод анализа данных, приведённый в параграфе 1.3, основывается на поиске выбросов по правилу "3 сигм". Данное правило утверждает, что абсолютная величина отклонения нормально распределённой случайной величины от её математического ожидания не превосходит трёх среднеквадратичных отклонений с вероятностью[3]:

$$P(|X - m| < 3\sigma) = 0,9973 \quad (9)$$

Проблема этого метода заключается в том, что он применим для выборок, значения которых извлечены из нормально распределённых генеральных совокупностей. Но в случае проведения КГО(согласно разделу 1) нет достаточных оснований утверждать, что все значения активностей будут распределены по нормальному закону. Следовательно, требуется проверить характер распределения для каждой выборки с целью установления корректности применения метода "3 сигм".

Кроме того, среднее и среднеквадратическое отклонение, рассчитываемые в данном методе, также изменяются под воздействием аномальных значений, что приводит к маскировке выбросов[4]. Следовательно, имеет смысл рассмотреть альтернативы, например метод межквартильного размаха(IQR).

2. Процедура КГО с учётом времени и объёма испытаний может проходить до нескольких недель. С течением времени в БВ, а также в воде, подаваемой на стенд КГО, может изменяться концентрация борной кислоты с целью борного регулирования, что негативно сказывается на однородности условий проведения испытаний. В связи с этим значения активностей ПД, полученные в разное время, могут принадлежать разным статистическим распределениям, следовательно, анализироваться должны отдельно.

Согласно пункту 1.3.3, разделение на выборки происходит "На основании визуального анализа" графических данных. Хочу отметить, что в изучаемой методике существует способ анализа полученных выборок на принадлежность к одному статистическому распределению с целью объединения нескольких выборок, но он не учитывает анализ на корректность разбиения исходных данных. В связи с вышеперечисленным возникает необходимость проверки данных в выборках, полученных на основании визуального анализа.

3. Описанный процесс анализа данных производится в ручном режиме с использованием программного комплекса Excel. Автоматизация этого процесса позволит снизить вероятность ошибок, ведущих к преждевременной остановке реактора, а также снизить потребность во временных и трудовых затратах.

2.2. Метод IQR

2.3. Анализ принадлежности данных одному статистическому распределению

3. Проектирование приложения с учётом внесённых предложений

3.1. Требования к проектируемому приложению

С целью обеспечения наибольшей точности и минимизации рисков, связанных с возможностью некорректного принятия решений относительно герметичности ТВС, предлагаю разработать приложение для обработки и анализа данных, полученных при КГО стендовым водным методом на реакторе типа ВВЭР, которое призвано помочь лицу, принимающему решения относительно герметичности ТВС. Основной задачей данного приложения является автоматизированная (под контролем ЛПР) обработка и анализ данных. Исходные данные хранятся в табличном виде в формате ODS. Под обработкой и анализом данных понимается разделение исходных данных на выборки, принадлежащие к одному статистическому распределению, произведение всех необходимых расчётов, а также принятие решения относительно герметичности ТВС. После предварительного анализа методики, описанной в главе 1, а также учитывая изложенное в главе 2, могу выдвинуть следующие требования к приложению:

1. Приложение должно наглядно демонстрировать ЛПР основания принятия решения относительно герметичности ТВС, т.е. иметь обширный функционал для визуализации и экспорта графиков распределений, негерметичных ТВС и т.д. Исходя из этого был выбран формат настольного приложения с графическим интерфейсом.

2. Приложение должно иметь функционал для проведения статистических тестов с целью проверки выборок, заданных пользователем, на принадлежность одному статистическому распределению, а также на характер распределения.

В качестве статистических тестов предлагаю использовать:

- U-критерий Манна-Уитни — с целью установления принадлежности выборок к одному статистическому распределению
- Критерий Шапиро-Уилка [5] — с целью проверки на отклонение

распределения выборки от нормального закона.

- Критерий Стьюдента для независимых выборок — с целью установления статистически значимых различий между независимыми выборками, независимые выборки должны быть распределены нормально (Проверяется критерием Шапиро-Уилка).

3. Приложение должно поддерживать поиск выбросов методами "IQR" и "3 сигма". По усмотрению ЛПР может применяться любой метод в зависимости от ситуации.

4. Приложение должно иметь возможности для экспорта всех преобразованных данных, на основании которых принимались решения о герметичности, в исходный ODS формат.

3.2. Обзор инструментов разработки

Для разработки приложения на основании требований, описанных в 3.1, были выбраны следующие инструменты:

1. Язык программирования Python - высокоуровневый, интерпретируемый, объектно-ориентированный язык программирования, который широко используется для разработки веб-приложений, научных вычислений, анализа данных, искусственного интеллекта, автоматизации задач и многих других областей. В совокупности с большим набором пользовательских библиотек, python предоставляет мощные инструменты для обработки, анализа и визуализации данных.

В качестве альтернативы Python рассматривался язык R. R предоставляет более широкий спектр функций по обработке и анализу данных, но набор инструментов для визуализации, а также создания интерфейса приложений ограничен. Именно этот фактор стал решающим в пользу Python.

2. Библиотека Pandas - программная библиотека на языке Python для обработки и анализа данных. Работа Pandas с данными строится поверх библиотеки NumPy, являющейся инструментом более низкого уровня. Предоставляет специальные структуры данных и операции для манипулирования табличными данными. Преимущество Pandas заключается в деше-

визне операций и скорости работы, что делает ее неотъемлемым инструментом для анализа данных, машинного обучения, статистики и других областей, где требуется работа с табличными данными.

3. Библиотека NumPy предоставляет эффективные контейнеры для работы с массивами и матрицами данных. В совокупности с Pandas она широко используется для выполнения математических операций и вычислений в Python.

4. SciPy — библиотека, основанная на расширении NumPy, которая применяется для более сложных научных и инженерных вычислений. SciPy в основном написана на Python и частично на языках C, C++ и Fortran, в связи с чем отличается высокой производительностью и скоростью работы. В рамках разработки приложения использовался модуль `scipy.stats`, который предоставляет обширный функционал для проведения статистических вычислений.

5. Библиотеки Matplotlib и Seaborn. Эти библиотеки предоставляют возможности для визуализации данных в Python. Matplotlib является основной библиотекой для создания различных типов графиков, в то время как Seaborn предоставляет более высокоуровневый интерфейс для создания статистических графиков.

6. PyQt — набор расширений кроссплатформенного графического фреймворка Qt, выполненный в виде библиотеки Python. Qt — фреймворк для разработки кроссплатформенного программного обеспечения с графическим интерфейсом, написанный на языке программирования C++.

3.3. Архитектура приложения

3.4. Пользовательский сценарий использования

Ниже приведены шаги, которые будет выполнять пользователь при работе с проектируемым приложением:

1. Импорт данных: пользователь выбирает файл в формате `.ods` с входными данными для анализа.

2. Анализ входных данных: перед пользователем открывается окно, в котором имеется возможность построения и гибкого редактирования гра-

фиков по входным данным. Согласно, 1.3.3 на основании визуального анализа графиков, пользователь разделяет входные данные на выборки.

3. Анализ выборок: После разбиения входных данных возникает возможность выполнения статистических тестов для каждой выборки. Пользователь выбирает выборку и анализируемую величину, после чего запускает статистические тесты. Результаты тестов выводятся в отдельном окне для каждой выборки и анализируемой величины. На основании результатов тестов, пользователь делает заключение о корректности разбиения входных данных и возможности дальнейшего анализа.

В случае, если результаты статистических тестов не позволяют проводить дальнейший поиск выбросов в выборках, окно с выборками закрывается и шаги 2-3 повторяются до тех пор, пока все выборки не будут удовлетворять условиям, позволяющим проводить поиск выбросов.

4.

4. Разработка приложения

4.1. Исходный код

Исходный код программ можно добавить с помощью окружений, определенных сразу после преамбулы. Пример — на листинге 1.

Листинг 1 – Пример кода на языке R

```
1 # Проверка и тестирование пакета deSolve
2 require(deSolve)
3 require(rgl)

4 # система Хиндмарша - Розе с параметрами
5 # используются параметры в виде списка (parms$a etc)
6 hindrose <- function(t,y,parms)
7 {
8   ydot <- vector(len=3)
9   ydot[1] <- y[2] - parms$a * y[1]^3 + parms$b*y[1]^2 + parms$ltext - y[3]
10  ydot[2] <- parms$c - parms$d*y[1]^2 - y[2]
11  ydot[3] <- parms$r * (parms$s*(y[1]-parms$xs)-y[3])
12  return(list(ydot))
13 }
```

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проделанной работы была проведена — описать результаты бурной деятельности по выполнению ВКР, разумно в виде списка выполненных задач.

Разработанная программа позволяет — перечислить основные функциональные характеристики и особенности, можно в виде списка:

- выполнено такое-то задание;
- разработана некоторая система;
- у работы есть перспективы развития.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Сборки тепловыделяющие ядерных реакторов типа ВВЭР-1000 ТИПОВАЯ МЕТОДИКА КОНТРОЛЯ ГЕРМЕТИЧНОСТИ ОБОЛОЧЕК ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ / АО «Концерн Росэнергоатом». — 2009. — РД ЭО 1.1.2.10.0521-2009.
2. Поведение продуктов коррозии в первом контуре ЯЭУ с водным теплоносителем / Б. А. Гусев [и др.] // Вестник СПбГУ. Серия 4. Физика. Химия. — 2012. — № 4. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/povedenie-produktov-korrozii-v-pervom-konture-yaeu-s-vodnym-teplonositelem>.
3. *Кремер. Н. Ш.* Теория вероятностей и математическая статистика — 5-е изд. — Москва : Издательство Юрайт, 2024. — С. 538.
4. *Дорофеев В. С., Волосатова Т. М.* Ансамблирование методов обнаружения выбросов при подготовке обучающей выборки данных. // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. — 2022. — 10(3). — URL: <https://moitvivi.ru/ru/journal/pdf?id=1210>.
5. *Александровская Л. Н., Кириллин А. В.* Рекомендации по применению ряда критериев проверки отклонения распределения вероятностей от нормального закона в практике инженерного статистического анализа // Известия Самарского научного центра РАН. — 2017. — № 1—1. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/rekomendatsii-po-primeneniyu-ryada-kriteriev-proverki-otkloneniya-raspredeleniya-veroyatnostey-ot-normalnogo-zakona-v-praktike>.

Приложение А

Листинг А.1 – Часть кода реализации класса HashMapValue

```
1 public class HashMapValue {
2
3     protected String filename;
4     protected HashMap<String, String> hashValue =
5     new HashMap<>();
6     protected HashMap<String, Boolean> hashKeysFlag =
7     new HashMap<>();
8
9     public void setData(String key, String value) {
10         hashValue.put(key, value);
11     }
12
13     public String getData(String key) {
14         return hashValue.get(key);
15     }
16     /* ... */
17 }
```

Листинг А.2 – Пример кода

1 код второго приложения
