

## Список литературы

- 1 Андреев, Г. А. Ресурсосбережение и оптимизация затрат на предприятиях железнодорожного транспорта / Г. А. Андреев, Ю. А. Генварева // Молодежная наука в XXI веке: традиции, инновации, векторы развития : материалы VI Междунар. науч.-исслед. конф., посвящ. 50-летию Самарского государственного университета путей сообщения, Самара–Оренбург, 18–19 апреля 2023 года. – Самара; Оренбург : ОриПС–филиал СамГУПС в г. Оренбурге, 2023. – С. 17–19.
- 2 Генварева, Ю. А. Техническое обслуживание устройств СЦБ как фактор обеспечения безопасности движения железнодорожного транспорта / Ю. А. Генварева // Проблемы безопасности на транспорте : материалы XII Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 160-летию Белорусской железной дороги, Гомель, 24–25 ноября 2022 г. В 2 ч. Ч. 1. / под общ. ред. Ю. И. Кулаженко. – Гомель : БелГУТ, 2022. – С. 213–214.
- 3 Пультяков, А. В. Пути повышения эффективности технической эксплуатации устройств железнодорожной автоматики и телемеханики при внедрении мобильных рабочих мест / А. В. Пультяков, В. А. Аношин // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2024. – № 1(81). – С. 138–149. – DOI: 10.26731/1813-9108.2024.1(81).
- 4 Солдатенков, Е. Г. Опыт эксплуатации МРМ-Ш / Е. Г. Солдатенков // Автоматика, связь, информатика. – 2022. – № 2. – С. 39–40.

УДК 681.5.09

## АВТОМАТИЗАЦИЯ АНАЛИЗА ВЛИЯНИЯ ОТКАЗОВ АППАРАТНЫХ СРЕДСТВ ПО ОБЩЕЙ ПРИЧИНЕ В СИСТЕМАХ, СВЯЗАННЫХ С БЕЗОПАСНОСТЬЮ

*Т. А. ГОЛДОБИНА, Н. В. РЯЗАНЦЕВА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В эпоху технического прогресса и многообразия аппаратно-программных средств особую важность приобретают вопросы обеспечения функциональной безопасности систем, включающих в себя электрические, электронные и программируемые электронные компоненты (Э/Э/ПЭ). Одним из направлений исследований в этой области является анализ сложных систем, задачей которого является минимизация рисков, связанных с возможными отказами аппаратных средств, приводящими к аварийным ситуациям в системах, связанных с безопасностью.

Среди методик анализа видов, последствий и критичности отказов (FMECA) были разработаны специальные модели для учета кратных отказов в группе сходных по некоторым параметрам элементов [1], получившие название моделей отказов по общей причине (CCF – Common Cause Failures). Причины возникновения такого рода кратных неисправностей достаточно подробно изложены в литературе [2].

Наиболее распространенными среди упомянутых методик вычисления вероятностных характеристик отказов по общей причине являются модель  $\beta$ -фактора (Beta-Factor Model),  $\alpha$ -фактора (Alpha-Factor Model), множественных греческих букв (Multiple Greek Letter Model), биномиальная модель (Binomial Failure Rate Model). Расчетные соотношения CCF моделей основаны на методах комбинаторики и имеют ограничения на равную вероятность отказов всех  $m$  элементов CCF группы, что допустимо при рассмотрении схем постоянного резервирования [2].

Авторами спроектировано и разработано программное обеспечение, которое позволит автоматизировать процесс анализа и оценки рисков, связанных с кратными отказами аппаратных средств, и тем самым повысить надежность и безопасность эксплуатации систем, связанных с безопасностью. В качестве языка реализации был выбран высокоуровневый язык программирования Python, отличающийся эффективностью, простотой и универсальностью использования. Несомненными преимуществами языка являются: наличие обширных библиотек; совместимость – интерпретатор Python может интегрироваться с другими языками программирования, например, с Java, C и C++; адаптируемость ко всем существующим аппаратным и программным платформам; возможность программировать в объектно-ориентированной, функциональной, императивной, процедурной, структурной и других парадигмах.

В качестве системы управления базами данных была выбрана PostgreSQL в сочетании с графической средой администрирования PgAdmin, что обусловлено следующими ключевыми факторами. PostgreSQL является системой с открытым исходным кодом, что предоставляет значительную гибкость в использовании и модификации в соответствии с требованиями проекта. Поддержка различных операционных систем делает PostgreSQL удобной для разработки и тестирования в различных

средах, а совместимость со множеством языков программирования, включая Python, станет особенно значимой в ходе интеграции с другими компонентами проекта, что является важным аспектом при разработке комплексных систем. Надежность и безопасность данной СУБД обеспечивают надлежащий уровень защиты данных, что критически важно для систем, связанных с анализом безопасности или находящихся в режиме коммерческой тайны.

Приложение разработано таким образом, что доступ пользователя к базовым объектам, включая таблицы и запросы, ограничен. Это обеспечивает дополнительный уровень защиты данных и предотвращает несанкционированное изменение структуры таблиц, что имеет особое значение для приложений, анализирующих параметры надежности и безопасности. Для усиления защиты данных и обеспечения целостности информации были созданы специальные представления, которые являются таблицами с виртуальными данными. Этот подход позволяет изолировать пользователей от прямого взаимодействия с основной структурой данных, минимизируя риск случайного или преднамеренного вмешательства в критически важные элементы базы данных.

В частности, были разработаны представления, содержащие информацию о мероприятиях для логической подсистемы (программируемые элементы), мероприятиях для датчиков и исполнительных элементов; информацию о границах диагностики охвата, сведения о диапазонах диагностического тестирования для логической подсистемы, сведения о диапазонах диагностического тестирования для датчиков и исполнительных элементов. Также разработано представление для хранения виртуальных данных о системах с разными уровнями избыточности.

Данное приложение обладает интуитивно понятным интерфейсом, обеспечивающим удобство и эффективность работы, снижающим вероятность ошибок при взаимодействии с программой и позволяющим пользователям с разным уровнем подготовки успешно использовать продукт для достижения целей, связанных с обеспечением безопасности систем.

Программный продукт обладает функциональностью, достаточной для решения поставленной задачи. Прежде всего пользователю предоставляется возможность удобного выбора и импорта данных из файла csv-формата непосредственно в базу данных, которые затем отображаются в таблице главного окна приложения. Этот процесс не только упрощает загрузку и обновление информации, но и обеспечивает бесперебойную интеграцию данных, что является основой для последующей работы с информацией в рамках программы. Также имеется инструментарий для сохранения данных из таблицы базы данных в csv-файл, что позволяет пользователям легко экспортировать информацию, обеспечивая удобство документирования и архивации данных. Возможно добавление данных в существующий csv-файл без перезаписи уже имеющейся в нем информации. Реализована функция очистки данных, которая не просто удаляет текущую таблицу из базы данных, но и уничтожает все связанные с ней записи, что особенно важно перед началом нового цикла работы или тестирования. Функция инициирует процесс восстановления структуры таблицы без вмешательства пользователя, что значительно упрощает процесс управления данными.

Оценку  $\beta$ -фактора, который является основным параметром модели определения вероятностных характеристик отказов по общей причине [1], вычисляют отдельно для датчиков, логической подсистемы и исполнительных элементов. Чтобы свести к минимуму вероятность возникновения ССФ-отказов, следует сначала определить средства, эффективно защищающие от появления таких отказов. Пользователь выбирает мероприятия, которые будут использованы для системы, из раскрывающегося списка окна программы, а соответствующие им значения (баллы) параметров  $X$  и  $Y$  реализуемой модели, полученные с помощью инженерной оценки и описывающие вклад каждого из мероприятий в уменьшение числа отказов по общей причине, загружаются из базы данных.

По указанным пользователем частоте и охвату диагностического тестирования автоматически определяется дополнительный параметр  $Z$  модели. Затем рассчитывается сумма баллов  $S$  для получения значения  $\beta_{int}$  для необнаруженных отказов и  $S_D$  для получения значения  $\beta_{Dint}$  для обнаруженных отказов. Данные значения определяют доли отказов по общей причине, сопоставленные с системой 1002. Для других уровней избыточности (MoON) значение  $\beta_{int}$  уточняется согласно методике [1], в результате получаются окончательные значения  $\beta$  и  $\beta_D$ .

После оценки частоты отказов каждого компонента или группы компонентов с учетом видов отказов и результатов анализа последствий каждого вида, по команде пользователя выполняется расчет охвата диагностикой рассматриваемой системы. Вычисляются полные частоты опасных отказов, как обнаруженных, так и не обнаруженных диагностическими тестами, и полные частоты

безопасных отказов. На последнем этапе работы приложения выполняется сверка с эталонными уровнями и диапазонами охвата диагностики, описанной в методике [1], и выдается заключение. Так что пользователь может быть уверен в качестве получаемых результатов и их соответствии заданным требованиям и стандартам.

Методика  $\beta$ -фактора остается важным инструментом в области функциональной безопасности, и автоматизация процессов анализа с использованием данной методики представляется перспективным направлением улучшения точности и надежности оценок безопасности. Однако эффективность анализа может быть значительно улучшена за счет автоматизации и интеграции с современными системами диагностики и контроля, а также с системами, автоматизирующими другие расчетные модели.

#### Список литературы

1 ГОСТ Р МЭК 61508-4-2012. Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью. Ч. 4 Термины и определения [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://meganorm.ru/Data/543/54334.pdf>. – Дата доступа : 04.09.2024.

2 **Викторова, В. С.** Модели и методы расчёта надёжности технических систем / В. С. Викторова, А. С. Степанянц. – 2-е изд., испр. – М. : ЛЕНАНД, 2016. – 256 с.

УДК 621.31

### МЕТОД ОБНАРУЖЕНИЯ КОРОТКОЗАМКНУТЫХ ВИТКОВ ПО ФОРМЕ КРИВОЙ ТОКА ХОЛОСТОГО ХОДА С ПОМОЩЬЮ СВЕРТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

*И. Л. ГРОМЫКО, В. Н. ГАЛУШКО*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Статистика по выходу из строя трансформаторов систем железнодорожной автоматики, телемеханики и связи (СЖАТС) Барановичского и Гомельского отделений Белорусской железной дороги с 2014 по 2022 г. указывает, что основной причиной выхода из строя являлись короткие замыкания (37 %), обрывы в обмотках (21 %), грозовые перенапряжения. Часто (более 20 %) установление причин выхода из строя представлялось затруднительным. Так как надежность системы железнодорожной автоматики и телемеханики является важнейшим параметром функционирования железнодорожных перевозок, то отсутствие современной системы мониторинга состояния данного оборудования является актуальной задачей.

Одним из наиболее распространенных следствий ухудшения свойств изоляции являются межвитковые замыкания. При межвитковом замыкании изоляция обмотки нарушается и происходит ее пробой между витками, что впоследствии может привести к выходу из строя трансформатора.

В качестве основных причин межвиткового короткого замыкания (МКЗ) выделяют разрушение витковой изоляции из-за длительных перегрузок и недостаточного охлаждения, понижение уровня масла, попадание влаги или грязи внутрь, перенапряжения и деформации обмоток.

Признаками появления МКЗ в трансформаторе могут быть срабатывание газовой защиты на отключение, аномальный нагрев трансформаторного масла, небольшое увеличение первичного тока, различное сопротивление фаз постоянному току, срабатывание дифференциальной или максимальной токовой защиты. Подробный анализ характеристик МКЗ был приведен в статье [1].

Межвитковые короткие замыкания можно обнаружить с помощью нейронных сетей. Например, в статье [2] был приведен метод обнаружения межвитковых коротких замыканий, который по отношениям напряжений, токов, активных мощностей и коэффициентам мощностей первичной и вторичной обмоток трансформатора, с использованием сверточных нейронных сетей, может определить наличие и примерное местоположение межвиткового короткого замыкания.

В данной работе предлагается метод обнаружения МКЗ по осциллограмме тока холостого хода, с помощью сверточных нейронных сетей.

В качестве объекта исследования использовался однофазный трансформатор ТС-280Р. На рисунке 1 представлены осциллограммы тока холостого хода при нормальной работе трансформатора и с МКЗ на первичной обмотке.