

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Муженко Александра Сергеевича на тему «Методы и модели оценки эффективности процессов межмодульного взаимодействия в системах сбора и обработки информации электрических подстанций», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика.

Актуальность работы. Современное развитие электроэнергетики Российской Федерации характеризуется активным внедрением интеллектуальных электрических подстанций (ПС) нового поколения, использованием цифровых технологий управления и контроля. В таких условиях возрастает роль систем сбора и обработки информации (ССОИ), ключевым элементом качественного функционирования которых является эффективное межмодульное взаимодействие. На уровне присоединения ПС такой модульностью обладают контроллеры присоединений, выполняющие функции формирования сигналов телеуправления, сбора первичных телеизмерений, их предварительной обработки и передачи на верхние уровни управления. От качества межмодульного взаимодействия в контроллере присоединения (КП) напрямую зависит своевременность передачи сигналов, их корректность и достоверность, и как следствие, надежность и безопасность функционирования всей ПС.

При создании модульных ССОИ недостаточно ограничиваться проектированием и оптимизацией отдельных модулей, необходимо иметь методы и модели, позволяющие комплексно оценить эффективность процессов межмодульного взаимодействия, выявить критические проблемы при различных режимах работы ПС.

Таким образом, разработка методов и моделей оценки эффективности межмодульного взаимодействия в ССОИ ПС, представленная в диссертации Муженко А.С., является актуальной научной и прикладной задачей, поскольку она способствует повышению качества проектирования и эксплуатации ПС, а также обеспечивает их соответствие современным требованиям к надежности и безопасности электроэнергетических систем.

Представленная диссертационная работа выполнена в соответствии с приоритетным направлением научно-технологического развития «Высокоэффективная и ресурсосберегающая энергетика» и перечнем важнейших наукоемких технологий (раздел критических технологий «Технологии создания высокоэффективных систем генерации, распределения и хранения энергии (в том числе атомной)»).

Новизна исследований и полученных результатов, обоснованность, достоверность и значимость выводов.

Проведенные автором исследования позволили сформулировать ряд положений, характеризующих научную новизну представленной работы. Одним из наиболее значимых результатов является разработка метода описания модульной ССОИ. Предложенное решение позволяет гибко адаптировать конфигурацию системы к характеристикам конкретного объекта автоматизации, исключая при этом возможность возникновения основных ошибок настройки взаимодействия модулей.

Не менее значимым научным результатом является разработка вероятностных метода и модели, а также имитационной модели ССОИ, позволяющих оценить влияние параметров конфигурации входящих в систему модулей на работу сети передачи данных с целью обоснованного выбора наиболее эффективных их комбинаций по сформулированным критериям.

Динамические процессы, протекающие в ССОИ, оценивались автором на основе разработанного им метода оценки времени передачи сообщений.

Отличительной особенностью полученных автором научных положений является их универсальность, обеспечивающая возможность внедрения результатов исследования на различных этапах разработки и тестирования опытных образцов модульных ССОИ не только для ПС, но и для других электроэнергетических систем. Данное обстоятельство определяет значимость полученных автором результатов для науки и практики.

Обоснованность и достоверность основных положений работы подтверждается результатами физических экспериментов, использованием современных компьютерных технологий и применением методов имитационного моделирования.

Диссертационная работа Муженко А.С. состоит из введения, четырех глав, перечня основных результатов, списка литературы и приложений.

Во введении кратко сформулирована актуальность работы, степень разработанности темы, цель и задачи диссертационного исследования, объект, предмет и методы исследования, положения, выносимые на защиту, научная новизна полученных результатов, а также их теоретическая и практическая значимость.

Первая глава посвящена анализу существующих методов и технических средств контроля электрических подстанций. В рамках выполненного анализа представлена классификация и приведены общие характеристики подстанций. Рассматривая подстанцию как объект контроля и управления, автор выполнил оценку числа измерительных и управляющих каналов ССОИ ПС,

сформулировал общие требования к таким системам. Исходя из проведенного анализа поставлены задачи исследований, направленные на улучшение технико-экономических показателей как существующих, так и разрабатываемых систем.

Вторая глава посвящена двум важным темам исследования: подтверждению необходимости использования модульной структуры и сопутствующей разработке номенклатуры модулей ССОИ, а также обоснованию выбора интерфейса межмодульного взаимодействия *CAN FD* и протокола *CANopen FD*. Выбор интерфейса и протокола был выполнен на основе анализа информационных потоков, протекающих в модульной системе. Выявлена проблема описания таких систем с использованием стандартных средств протокола *CANopen FD*, обусловленная независимым определением одних и тех же сообщений в передающем и принимающих модулях, вследствие чего становится возможной несогласованная настройка модулей. С целью решения данной проблемы был разработан метод описания ССОИ, рассматривающий систему как совокупность модулей, для которых явным образом задано информационное взаимодействие. С использованием метода разработана схема проверки *XML*-описания, при помощи которой автоматически выявляются ошибки и потенциальные проблемы настройки межмодульного взаимодействия.

В третьей главе представлена разработка методов и моделей, направленных на комплексную оценку параметров межмодульного взаимодействия в ССОИ, а именно:

- 1) разработан метод оценки времени передачи сообщений по шине *CAN FD*, формируемых в процессе функционирования модулей ССОИ. Выполнен глубокий анализ стандартного и расширенного формата сообщений *CAN FD* и составлены выражения, позволяющие определить минимальное и максимальное время передачи сообщения для наиболее и наименее благоприятных случаев соответственно;
- 2) на основе анализа ССОИ как системы массового обслуживания и с использованием метода оценки времени передачи сообщений разработан усовершенствованный вероятностный метод оценки основных параметров межмодульного взаимодействия: нагрузки сети и скорости передачи низкоприоритетных данных;
- 3) с использованием усовершенствованного вероятностного метода в среде *MatLab* реализована вероятностная модель для оперативной оценки параметров межмодульного взаимодействия. На базе разработанного ранее метода оценки и с использованием *XML*-описания системы разработана имитационная модель для детального исследования межмодульного взаимодействия в ССОИ на базе интерфейса *CAN FD*. Представленные

модели позволяют исследовать различные конфигурации ССОИ и влияние параметров настройки входящих в неё модулей на нагрузку сети.

С использованием t -критерия Стьюдента и F -критерия Фишера доказана адекватность разработанных моделей.

В четвертой главе автор представил результаты использования разработанных методов и моделей при исследовании межмодульного взаимодействия в ССОИ ПС. Важным обстоятельством является возможность их использования для модульных систем, не имеющих отношения к электрическим подстанциям: в диссертации продемонстрировано исследование процессов обмена данными в сети устройств управления дугогасящими реакторами и исследование процессов межмодульного взаимодействия в регистраторе событий. Данные примеры подтверждают заявленную ранее универсальность разработанных средств. Также в данной главе представлены разработанные автором функциональные схемы отдельных модулей ССОИ, соответствующие составленной номенклатуре.

Разработанные схемы успешно использованы компанией ООО «СКБ Электронного приборостроения» при проектировании универсального модульного контроллера присоединения. Это подтверждает тот факт, что результаты теоретических исследований доведены до уровня применения на практике.

Содержание диссертационной работы Муженко А.С. в полной мере отражено в 13 научных публикациях. Основные научные результаты изложены в 5 публикациях в рецензируемых научных изданиях, рекомендуемых Минобрнауки России; получено 2 свидетельства о государственной регистрации программного обеспечения для ЭВМ.

Автореферат диссертации с необходимой полнотой соответствует ее содержанию.

По диссертации и автореферату можно сделать следующие замечания:

1) Ставится задача обоснования критериев эффективности межмодульного взаимодействия. В соответствии с этой задачей формулируются два критерия: гарантированная доставка данных в течение оговоренного интервала времени и скорость передачи данных. Далее в рамках задач работы обоснована целесообразность использования интерфейса CAN FD и протокола CANopen FD. Однако с точки зрения надежности и скорости лучшим выбором было бы семейство протоколов TCP/IP. Автор указывает на недостатки TCP/IP – большие материальные затраты и сложный интерфейс. Перечень критериев следовало уточнить.

2) Не ясно, с какой целью структурные схемы из СТО 56947007-25.040.40.226-2016 приведены в приложении А. Типовые структуры и информационное взаимодействие в АСУ ТП подстанции достаточно подробно в рамках проводимого исследования описаны в параграфе 1.2.4.

3) Заявленные погрешности моделирования $\delta_{\text{сред}} = 0,46 \%$, $\delta_{\text{max}} = 1,26 \%$ в целом меньше погрешностей других моделей систем сбора и обработки данных. Не указано за счет, каких решений достигается повышение точности. Не описаны условия натуральных экспериментов, проведенных для оценки адекватности разработанных моделей.

4) В приложении (Выборки результатов моделирования с использованием вероятностной и имитационной моделей) результаты, полученные с использованием вероятностной модели, не меняются от эксперимента к эксперименту, что противоречит сути вероятностного моделирования. Выборки имитационной модели и результат работы реальной системы характеризуются очень близкой корреляцией (коэффициент корреляции 0,99), что требует проверки, учитывая погрешности моделирования и измерения параметров.

5) В работе утверждается универсальность разработанных методов и моделей. Продемонстрирована эффективность на двух примерах исследования процессов обмена данными: в контроллере присоединения электрической подстанции и в сети устройств управления дугогасящими реакторами. В обоих примерах объект является электроэнергетической системой. Возникает вопрос, насколько предлагаемые подходы подходят для других типов объектов управления.

6) Результаты диссертационного исследования автора были использованы в процессе проектирования универсального модульного контроллера присоединения, однако в работе не указаны конкретные результаты, которых удалось достичь после внедрения. Это позволило бы не только подтвердить достоверность предложенных результатов, но и выявить их дополнительные преимущества и ограничения при эксплуатации в сложных производственных условиях.

7) Представляется, что дальнейшее развитие работы могло бы включать оценку экономического эффекта от применения разработанных методов и моделей. Такой анализ позволил бы наглядно продемонстрировать практическую выгоду для электроэнергетических предприятий и тем самым усилить прикладную ценность диссертационного исследования.

8) Автор называет выражение 4.1 функцией. Однако в этом выражении нет ни одной переменной.

Приведенные замечания не снижают общего положительного впечатления о выполненной диссертационной работе и могут служить основанием для продолжения исследований.

Диссертация Муженко А.С. является законченной научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технические решения и разработки, имеющие существенное значение для обеспечения безопасной и эффективной эксплуатации электрических подстанций Российской Федерации. По мнению оппонента, представленная работа соответствует критериям п.п. 9-11, 13 и 14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г., а её автор, Муженко Александр Сергеевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика.

Выражаю согласие на обработку моих персональных данных, связанных с защитой диссертации.

Доктор технических наук,
доцент кафедры «Информационные
и управляющие системы»
Филиала ФГАОУ ВО «Национальный
исследовательский ядерный
университет «МИФИ»


Абидова Елена Александровна

Подпись Абидовой Елены Александровны заверяю
Руководитель ВИТИ НИЯУ МИФИ
д.с.н., профессор



«25» сентября 2025 г.


В.А. Руденко

347360, г. Волгодонск, ул. Ленина, д. 73/94
Волгодонский инженерно-технический институт –
филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ»
Тел.: (8-8639) 21-25-14
e-mail: VITikafIUS@mephi.ru