УТВЕРЖДАЮ:

Советник департамента управления
делами ПАО «МРСК Северо-Запада»

_____/И.С. Бриллиантов/
(подпись) (расшифровка)

«21» 06 2019 г.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

на выполнение научно-исследовательской работы (НИР)
«Создание универсальной информационной модели интеллектуальной системы электроснабжения на основе трехфазных схем замещения и технологии сетевых объектов»

2019

1. Актуальность, значимость, конкретные цели и задачи работы

1.1. Актуальность работы

Успешная разработка и внедрение интеллектуальных сетей и систем управления подразумевает создание теоретических основ для эффективного и безопасного внедрения таких систем в различных ДЗО ПАО «Россети». Такое внедрение возможно лишь при достаточном объёме точной и детальной информации о существующих и возможных режимах работы разнообразных систем электроснабжения. Автоматизированное управление такими системами должно основываться на точной информации о реакции системы на каждое конкретное воздействие. Такой уровень информационной обеспеченности можно получить только при помощи объективного физико-математического моделирования систем электроснабжения. Точное моделирование таких систем в настоящее время возможно только при помощи матричных методов теоретической электротехники, основанных на полных трёхфазных схемах замещения электрических сетей с применением моделей электроустановок – «сетевых объектов». При матричном моделировании электрических сетей любых классов напряжения составляются объективные математические модели основных элементов электрической сети (включая воздушные и кабельные линии, силовые трансформаторы и автотрансформаторы, генерирующие станции и комплексы потребителей и т.п.), образующие в совокупности точную детальную схему системы электроснабжения. При отказе от внедрения данной разработки невозможно точно прогнозировать разнообразные нормальные и аварийные режимы в реальной системе электроснабжения. Таким образом, при отсутствии объективной и точной математической модели режимов работы систем электроснабжения возникают многочисленные риски, связанные со снижением параметров энергоэффективности, безопасности и надежности вследствие возможных неоптимальных схемных и режимных параметров. Выполнение предлагаемой НИР является необходимым этапом, предваряющим внедрение интеллектуальных систем электроснабжения. Получение положительных результатов работы создаст надежное теоретическое обоснование в решении приоритетных проблем построения интеллектуальных систем электроснабжения.

1.2. Значимость работы

В сетях ПАО «Россети» наиболее значимыми задачами являются:

1. Уменьшение потерь электроэнергии, повышение энергоэффективности;
2. Обеспечение нормативных показателей качества электроэнергии;
3. Рост уровней токов КЗ, не обеспечивающийся соответствующим ростом отключающей способности коммутационной аппаратуры;
4. Оперативное определение мест повреждения в протяженных линиях электропередачи (ЛЭП);
5. Обеспечение электробезопасности при работах на многоцепных ЛЭП при наличии наведённых напряжений.

В настоящее время расчёты режимов в электрических сетях выполняются традиционно по однолинейным схемам замещения, что не

обеспечивает точности расчетов, необходимой для успешного решения перечисленных выше задач. Использование расчетных матричных методов современной теоретической электротехники, основанных на полных трёхфазных схемах замещения электрических сетей и их основных элементов, при соответствующей программной реализации обеспечивает получение принципиально большего объёма объективной и точной информации о реальных режимах в сетях (являющихся предметом отдельного анализа) по сравнению с методом симметричных составляющих. Такая детальная информация необходима для выявления проблемных участков в сложноразветвлённых электрических сетях и успешного решения названных выше задач.

1.3. Цель работы

Целью работы является создание универсальной математической модели интеллектуальной системы электроснабжения на основе трёхфазных схем замещения и технологии «сетевых объектов». Под системой электроснабжения в данной работе понимается характерный участок распределительного электросетевого комплекса – Валдайский РЭС филиала «Новгородэнерго» ПАО «МРСК Северо-Запада».

1.4. Задачи работы

1. Формирование информационного массива по топологии существующей системы электроснабжения объекта НИР.
2. Формирование информационного массива электрофизических паспортных параметров основных элементов системы электроснабжения.
3. Разработка математических моделей основных элементов системы электроснабжения характерной части Валдайского РЭС по трёхфазным схемам замещения – «сетевых объектов» (трансформаторы, ЛЭП, источники, нагрузки и т.п.).
4. Разработка алгоритмической реализации матричного метода расчёта установившихся режимов системы электроснабжения по трёхфазным (полнофазным) схемам замещения.
5. Формирование информационного массива результатов расчёта режимов работы системы электроснабжения электрических сетей.
6. Анализ результатов расчёта режимов работы системы электроснабжения характерной части Валдайского РЭС и выработка рекомендаций по решению характерных проблем данного участка энергосистемы из числа перечисленных в пункте 1.2 технического задания (реконструкция сети, оптимизация ее топологии, перераспределение нагрузок).
7. Верификация разработанных моделей и алгоритмов.
8. Формирование интеллектуального портфеля и нематериальных активов ПАО «Россети» путем патентования в России и за рубежом результатов разработок.

1.5. Взаимосвязь с предшествующими и последующими работами, тиражируемость результатов работы

Выполнение данной работы и перечень результатов синхронизированы с планируемыми к выполнению в ПАО «МРСК Северо-Запада» работами

«Разработка методологии интеграции корпоративных и технологических информационных систем на основе единой модели информации (CIM модели) и стандартов МЭК 61968 и МЭК 61970», «Разработка методологии мониторинга состояния основного электросетевого оборудования класса напряжений 110 кВ и ниже на основе метода синхронизированных векторных измерений», а также с внедрением отечественных решений по управлению сетями в составе пилотного проекта «Цифровой РЭС» в филиале «Новгородэнерго» ПАО «МРСК Северо-Запада», выполняемого в рамках реализации принципов концепции «Цифровая трансформация 2030».

ПАО «МРСК Северо-Запада» в рамках реализации программы НИОКР ориентируется на последовательное выполнение требований Концепции цифровой трансформации электросетевого комплекса, предусматривающей, в том числе, следующие основные направления тематик НИОКР:

– активно-адаптивные сети с распределенной интеллектуальной системой автоматизации и управления;

– комплексная эффективность бизнес-процессов и автоматизация систем управления;

– перспективные технологии цифровой трансформации.

Данная работа отвечает указанным направлениям и нацелена на формирование качественно новых подходов к общим принципам представления электрической сети, обеспечивающим получение более полных данных о ее состоянии, которые могут быть впоследствии использованы для аналитики с использованием цифровых технологий анализа больших данных.

Стандарты МЭК 61970 и 61968, являющиеся основой для построения CIM-модели сети, подразумевают ее полнофазное представление, поэтому целесообразным представляется дальнейший переход от использования традиционных однолинейных схем замещения как основного метода представления сети к полнофазному представлению. Результаты данной работы позволят научно обоснованно сформировать методики и алгоритмы математического моделирования основного электротехнического оборудования (трансформаторов, воздушных и кабельных линий, реакторов, нагрузок и проч.) на основе трехфазных схем замещения.

Разработка методологии мониторинга состояния основного электросетевого оборудования класса напряжений 110 кВ и ниже на основе метода синхронизированных векторных измерений также предусматривает разработку и применение трехфазных схем замещения, так как усреднение или приведение синхронизированных векторных измерений фазных токов и напряжений к средним принципиально является потерей информации и одним из факторов снижения точности мониторинга основных параметров.

Внедрение отечественных решений по управлению сетями в рамках проекта «Цифровой РЭС» в филиале «Новгородэнерго» ПАО «МРСК Северо-Запада» предполагает разработку и внедрение систем управления распределительными сетями (Distribution Management System, DMS), среди которых модули расчета установившегося режима, расчета токов короткого замыкания, модуль оценки состояния. При этом однолинейное представление

сетей всех классов напряжения, особенно сетей 6(10) кВ, не позволяет достичь требуемой точности данных расчетов. Результаты работы будут использованы для доработки DMS отечественного производителя и повышения точности расчетов.

В рамках работы предусмотрена разработка матричных моделей основного электротехнического оборудования и соответствующих алгоритмов и методик расчета, имеющих возможность тиражирования среди ДЗО ПАО «Россети» с помощью использования ими справочника моделей, разрабатываемом в рамках НИР.

2. Научные, технические, экономические, организационные и другие требования к выполнению работы и её результатам

2.1. Разрабатываемые матричные модели системы электроснабжения должны базироваться на полных трёхфазных (полнофазных) схемах замещения и применением трехфазных моделей основного оборудования – «сетевых объектов».

2.1.1. Трансформаторные и реакторные «сетевые объекты» должны соответствовать всем применяемым группам соединения обмоток и конструктивным исполнениям, влияющим на несимметрию их импедансных параметров.

2.1.2. Моделируемые «сетевые объекты» «воздушные линии» и «кабельные линии» должны учитывать все существенные конструктивные особенности применяемых типов линий. Методики расчёта продольных комплексных сопротивлений (импедансов) и поперечных комплексных проводимостей (адмитансов) этих линий для ряда классов напряжений должны учитывать наличие грозозащитных тросов (для воздушных линий), наличие экранирующих оболочек (для кабельных линий) и должны давать возможность представления результатов в полном матричном виде с учётом влияния проводимости грунта.

2.1.3. «Сетевые объекты» «источники» должны учитывать возможную несимметрию фазных ЭДС и полной системы внутренних комплексных сопротивлений (импедансов).

2.1.4. «Сетевые объекты» «нагрузки» должны учитывать возможную несимметрию фазных комплексных сопротивлений (импедансов), соответствующих реальным графикам нагрузки потребителей.

2.1.5. Необходимо разработать также обобщённый объект «подсистема» на базе теоремы об эквивалентном активном многополюснике в матричном виде для экономичного моделирования больших (или автономных) частей системы электроснабжения характерной части Валдайского РЭС.

2.1.6. Сборка полной матричной модели системы электроснабжения характерной части Валдайского РЭС должна быть полностью автоматизированной.

2.2. В процессе выполнения работы должны быть подготовлены научно-технические статьи (не менее 2-х) по тематике выполняемой НИР для публикации в отраслевом научном издании, входящем в перечень ВАК на момент публикации.

3. Взаимосвязь с предшествующими и последующими работами. Конкретное применение и использование результатов работы в деятельности Заказчика. Экономическая эффективность работы.

3.1.Предшествующая НИР – «Создание и рекомендации по применению матричного метода расчета нормальных и нештатных режимов электроэнергетических сетей различных классов напряжений по полным трёхфазным схемам», выполнялась по заказу ОАО «ФСК ЕЭС», и завершена в 2014 году. НИР была ориентирована на анализ режимов работы магистральных электрических сетей, существенно отличающихся по назначению, топологии и аппаратному составу от распределительных сетей. При выполнении названной НИР детально не решались проблемы, сформулированные в п.1.2 настоящего технического задания «Значимость работы» и, в частности, не учитывалась несимметрия электрических параметров источников и нагрузок, характерная для распределительных сетей. В названной НИР не решалась проблема расчёта режимов при выполнении технологических присоединений с генерирующими установками.

3.2. Планируемая к исполнению НИР ориентирована на создание методики и алгоритмов, которые обеспечат возможность проводить расчёты нормальных, аварийных и послеаварийных (главным образом, несимметричных) режимов в распределительных электрических сетях с учетом возможной фазной несимметрии параметров основных элементов, а также токовых перегрузок и коротких замыканий.

3.3. Разработанные методики и алгоритмы должны обеспечивать возможность производить полнофазное моделирование режимов работы электрических сетей характерной части электрических сетей Валдайского РЭС, оптимизировать режим работы и топологию электроэнергетической системы, выявлять возможные ослабленные участки сети, снижать потери электрической энергии, а также проводить имитационное моделирование любых переключений в таких сетях, а также последствий работы автоматизированных систем.

Таким образом, выполнение данной НИР создаст основу для эффективного и безопасного внедрения систем автоматизированного управления электрическими сетями, а также систем контроля потребления электроэнергии. В отсутствие разрабатываемого программного комплекса имеют место значительные сложности с точным определением режимных параметров (применяется недостаточно точный метод симметричных составляющих) при создании эффективных и безопасных средств управления. На основании вышеизложенного можно указать следующие механизмы реализации положительных результатов от внедрения данной НИР: снижение прямых и косвенных издержек при передаче электроэнергии, уменьшение рисков, связанных с применением существующих и вновь разрабатываемых автоматизированных систем управления, и, как следствие, повышение надёжности. Вновь разрабатываемые ИЭС ААС должны в полной мере учитывать результаты расчетов по полным трехфазным схемам замещения нормальных и аварийных режимов работы энергосистем. Экономический эффект связан напрямую со снижением потерь электроэнергии, повышением

надежности систем электроснабжения потребителей и отказоустойчивости электроустановок.

4. Основное содержание работ

4.1. Подготовительный этап. Работы по сбору информации о топологии характерной части электрических сетей Валдайского РЭС, а также каталожных или паспортных данных по силовому электроэнергетическому оборудованию, информации о графиках нагрузки потребителей.

4.2. Этап кодирования моделей электрических сетей населённого пункта, соответствующих известным вариантам их топологии. Программирование формирования массивов ячеек «сетевых объектов», названных в п.2, в соответствии с известными топологиями, каталожными или паспортными данными, информацией о графиках нагрузки потребителей.

4.3. Этап разработки подпрограмм-конструкторов типов «сетевых объектов». 1) Разработка подпрограмм-конструкторов трансформаторных «сетевых объектов»; 2) Разработка подпрограмм-конструкторов линейных «сетевых объектов» (воздушные и кабельные линии); 3) Разработка подпрограмм-конструкторов источников и приёмников электроэнергии; 4) Разработка подпрограмм-конструкторов вспомогательных «сетевых объектов» (коммутационные и заземляющие устройства, реакторы, системы шин, компенсирующие устройства); 5) Разработка справочника моделей основных «сетевых объектов».

4.4. Этап разработки подпрограммы сборки модели сети по массиву ячеек «сетевых объектов». Подпрограмма-сборщик формирует глобальный граф электрической цепи, соответствующей моделируемой сети, глобальную матричную систему уравнений для расчёта установившихся режимов.

4.5. Этап расчётов нормальных и послеаварийных установившихся режимов системы электроснабжения характерной части электрических сетей Валдайского РЭС. Проведение расчётов нормальных и послеаварийных установившихся режимов электрической сети.

4.6. Этап расчётов аварийных установившихся режимов системы электроснабжения характерной части электрических сетей Валдайского РЭС. Проведение расчётов аварийных установившихся режимов электрической сети (все виды коротких замыканий в сетях всех классов напряжений (0,4-110 кВ) характерного участка, в том числе замыканий на землю и обрывов фазных проводов на воздушных линиях электропередач).

4.7. Этап верификации разработанных моделей и алгоритмов. В рамках данного этапа необходимо верифицировать разработанные модели и алгоритмы с помощью сопоставления результатов моделирования с данными телеметрии и детальной топологией сети, предоставляемыми Заказчиком. При верификации необходимо учесть результаты внеплановых контрольных замеров. Программа и критерии верификации разрабатываются Исполнителем и согласовываются с Заказчиком. Предварительный перечень объектов для верификации представлен в таблице 1. На основании полученных результатов верификации разработанных моделей и алгоритмов дополнительно необходимо сформировать рекомендации по дальнейшему практическому

внедрению метода расчетов на основе трехфазных схем замещения, включая определение минимально необходимого объема требуемой телеметрической информации для получения достоверных результатов моделирования.

Таблица 1. Предварительный перечень объектов для верификации

№	Наименование ПС	ЛЭП	Примечание
1	ПС 110/35 кВ Валдай	Зелёная-2	Каждая из названных ЛЭП заканчивается объектом «Трёхфазная электрическая нагрузка»
		Дворецкая-1	
		Зелёная-1	
2	ПС 35/10 кВ Зелёная	Зелёная-1	То же
		Почепская-3	
		Фидер Л-3	ТП Приозёрный 2, ТП Приозёрный, ТП Брод, ТП Лучки-3, ТП Лучки-2 (Гулюк), ТП Лучки 4 (Лучки-1 (Назимов)), ТП Лучки деревня, ТП Б.О. Шинный завод (Моск. шин з-д), ТП Серганиха 1, ТП Серганиха деревня, ТП Костково ж.з., ТП Костково школа, ТП Костково контора, ТП Костково водозабор Каждая из этих ТП представляется объектом «Трёхфазная электрическая нагрузка»
3	ПС 35/10 кВ Почеп	Почепская-1	Каждая из названных ЛЭП заканчивается объектом «Трёхфазная электрическая нагрузка»
		Почепская-3	
		Почепская-2	
		Фидер Л-5	ТП Билайн, ТП Кузнецовка, ТП Кузнецовка МТС, ТП Чавницы, ТП Буданово, ТП Усторонье, ТП Теребень скважина (Водозабор), ТП Теребень Каждая из этих ТП представляется объектом «Трёхфазная электрическая нагрузка»

5. Перечень и комплектность результатов работы, подлежащих приёмке Заказчиком.

№	Этап	Перечень и комплектность результатов работы	Срок выполнения
1	Сбор исходной информации о характерном участке сети и формирование моделей «сетевых объектов»	• Комплект документов для моделирования «сетевых объектов» • Вычислительные сценарии (m-файлы) формирования массивов ячеек «сетевых объектов» (трансформаторы, реакторы, ВЛ, КЛ, источники и приемники электрической мощности), в соответствии с известными топологиями, каталожными или паспортными данными, информацией о графиках нагрузки потребителей	9 мес.

		• Подпрограммы-конструкторы трансформаторных «сетевых объектов»; подпрограммы-конструкторы линейных «сетевых объектов» (воздушные и кабельные линии); подпрограммы-конструкторы источников и приёмников электроэнергии; подпрограммы-конструкторы вспомогательных «сетевых объектов» (коммутационные и заземляющие устройства, реакторы, системы шин, компенсирующие устройства) • Справочник моделей «сетевых объектов» • Итоговый отчет по этапу	
2	Формирование алгоритма сборки единой модели характерного участка сети	• Подпрограмма (m-файл) сборки модели сети по массиву ячеек «сетевых объектов» • Отчет об описании алгоритма работы подпрограммы сборки модели сети по массиву ячеек «сетевых объектов»	3 мес.
3	Проведение расчетов характерного участка сети	• Отчет о результатах расчётов нормальных и послеаварийных установившихся режимов электрической сети характерной части электрических сетей Валдайского РЭС с учётом возможных технологических присоединений генерирующих установок в виде распределений напряжений, токов, мощностей по элементам системы электроснабжения. Рекомендации по оптимизации режимов в соответствии с п. 1.2 ТЗ • Отчет о результатах расчётов аварийных установившихся режимов характерной части электрических сетей Валдайского РЭС с учётом возможных технологических присоединений генерирующих установок. Рекомендации по защите системы электроснабжения от возможных подпиток коротких замыканий присоединёнными генерирующими установками	5 мес.
4	Проведение верификации результатов и разработка рекомендации по практическому внедрению метода	• Отчет о верификации разработанных моделей и алгоритмов, включающий рекомендации по дальнейшему практическому внедрению метода расчетов на основе трехфазных схем замещения и определение минимально необходимого объема требуемой телеметрической информации для получения достоверных результатов моделирования	3 мес.

6. Требования к оформлению результатов работы, подлежащих приёмке Заказчиком.

6.1. Отчет должен быть представлен в бумажном виде в двух экземплярах, с учетом следующих требований:

6.2. Номер страницы должен находиться на вертикальной оси страницы в верхнем колонтитуле.

6.3. Поля на каждой странице документа должны быть одинаковыми слева и справа.

6.4. Основной текст документа должен иметь размер шрифта в 14 пунктов. Если в документе более 150 страниц, то основной текст документа должен иметь размер шрифта в 12 пунктов.

6.5. Отчет в формате программного обеспечения Word должен быть отформатирован с использованием средств Word (абзацы, отступы, списки), должно присутствовать оглавление с гиперссылками на главы и разделы.

6.6. В тексте должны присутствовать ссылки на использованную литературу, перечень литературы должен прилагаться в конце отчета.

6.7. Отчет в электронном виде должен быть представлен на CD диске:

- в формате программного обеспечения Adobe Acrobat (файл с расширением pdf);
- в формате программного обеспечения Word (файл с расширением doc);
- файл должен включать в себя все страницы отчета (тома).
- титульный лист CD диска должен содержать указание номера договора и его названия, а также номера этапа и его названия.

6.8. Допускается предоставление приложений в виде отдельных специфических файлов (чертежи, схемы), конвертация которых в формат программного обеспечения Adobe Acrobat затруднена или невозможна.