**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**

федеральное государственное автономное

образовательное учреждение высшего образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ**

**ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Подразделение – «Инженерная школа энергетики»

Направление подготовки 09.04.03 Прикладная информатика

Профиль – «Информационные технологии в электроэнергетике»

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

|  |
| --- |
| **Тема работы** |
| **Разработка программного обеспечений централизованной автоматики ликвидации асинхронного режима** |

УДК ххх.ххх.ххх.хх-х

Студент

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Группа** | **ФИО** | **Подпись** | **Дата** |
| О-5КМ81 | Жиленков Артем Алексеевич |  |  |

Руководитель ВКР

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Должность** | **ФИО** | **Ученая степень, звание** | **Подпись** | **Дата** |
| Доцент | Калентьев А. А. | к. т. н. |  |  |

**Консультанты:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Должность** | **ФИО** | **Ученая степень, звание** | **Подпись** | **Дата** |
| Профессор | Жиронкин С.А. | д-р. экон. наук |  |  |

По разделу «Социальная ответственность»

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Должность** | **ФИО** | **Ученая степень, звание** | **Подпись** | **Дата** |
| Доцент | Сечин А.А. | к. т. н. |  |  |

**Допустить к защите:**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Руководитель ООП** | **ФИО** | **Ученая степень, звание** | **Подпись** | **Дата** |
| Доцент | Прохоров А. В. | к. т. н. |  |  |

Томск – 2020 г.

**Планируемые результаты обучения выпускника образовательной программы магистратуры по направлению 09.04.03 «Прикладная информатика»**

| **Код** | **Результат обучения** | **Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ, критериев АИОР, и/или заинтересованных сторон** |
| --- | --- | --- |
| Общие по направлению подготовки | | |
| Р1 | *Совершенствовать* и развивать свой *интеллектуальный* и *общекультурный* *уровень*, добиваться *нравственного совершенствования* своей личности, демонстрировать готовность к непрерывному обучению и стремиться к реализации своего творческого потенциала. | Требования ФГОС (ОК-1, 3; ОПК-1), СУОС (УК-6), Критерий 5 АИОР (п.  2.5, 2.6), согласованный с требованиями международных стандартов *EUR-ACE* и *FEANI,* работодателей: АО «СО ЕЭС». |
| Р2 | *Свободно пользоваться русским и иностранным языками* как средством делового общения, способностью к активной социальной мобильности. | Требования ФГОС (ОПК-3), СУОС (УК-4, 5), Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов *EUR-ACE* и *FEANI* *,* работодателей: АО «СО ЕЭС». |
| Р3 | *Использовать* на практике *навыки и умения* в *организации* производственных работ, в *управлении* коллективом, использовать знания правовых и этических норм при оценке последствий своей профессиональной деятельности. | Требования ФГОС (ОК-2; ОПК-1; ПК-3, 5, 10), СУОС (УК-2, 3), Критерий 5 АИОР (п. 1.2, 1.3, 2.3, 2.4), согласованный с требованиями международных стандартов *EUR-ACE* и *FEANI,* работодателей: АО «СО ЕЭС». |
| Р4 | *Использовать* представление о методологических основах *научного познания и творчества*, роли научной информации в развитии науки, готовностью вести работу с привлечением *современных информационных технологий*, синтезировать и критически резюмировать информацию. | Требования ФГОС (ОК-3; ОПК-2, 4), СУОС (УК-1), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов *EUR-ACE* и *FEANI* *,* работодателей: АО «СО ЕЭС». |
| Р5 | *Применять углубленные естественно-научные, математические, социально-экономические и профессиональные знания* в междисциплинарном контексте при разработке моделей, установлении закономерностей, анализе условий работы и управлении режимами электроэнергетического оборудования и энергосистемы в целом. | Требования ФГОС (ОПК-4; ПК-1,2, 3), Критерий 5 АИОР (п.1.1), согласованный с требованиями международных стандартов *EUR-ACE* и *FEANI,* работодателей: АО «СО ЕЭС». |
| Р6 | Ставить и *решать задачи* инженерного анализа при планировании и управлении режимами работы электроэнергетических систем, проектировании, эксплуатации и обслуживании локальных и централизованных систем управления с использованием глубоких фундаментальных и специальных знаний, аналитических методов и сложных моделей. | Требования ФГОС (ПК-5, 7, 8). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов *EUR-ACE* и *FEANI,* работодателей: АО «СО ЕЭС». Требования профессиональных стандартов 20.035. |
| Р7 | Выполнять *инженерные проекты* по планированию и анализу режимов работы электроэнергетических систем на основе справочных, паспортных и оперативных данных с использованием современных методов проектирования и средств автоматизации профессиональной деятельности. | Требования ФГОС (ПК-6, 9). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов *EUR-ACE* и *FEANI,* работодателей: АО «СО ЕЭС». |
| *Профиль Управление режимами электроэнергетических систем* | | |
| Р8 | Проводить технико*-экономическое обоснование* проектных решений, осуществлять профессиональную деятельность руководствуясь требованиями технической и технологической документации, разрабатывать планы и программы организации профессиональной деятельности на предприятии, определять и обеспечивать экономически эффективные режимы технологического процесса. | Требования ФГОС (ПК-11, 12, 13, 24, 25, 26), СУОС (УК-2), Критерий 5 АИОР (п. 1.5, 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов *EUR-ACE* и *FEANI,* работодателей: АО «СО ЕЭС». Требования профессиональных стандартов 20.035. |
| Р9 | *Осваивать новое* *оборудование и программное обеспечение,* обеспечивающие решение задач оперативно-диспетчерского управления. | Требования ФГОС (ПК-23), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов *EUR-ACE* и *FEANI,* работодателей: АО «СО ЕЭС». Требования профессиональных стандартов 20.035. |
| Р10 | *Принимать решения* об изменении эксплуатационного состояния или технологического режима работы объектов и оборудования электроэнергетических систем на основе знаний их устройства, принципов работы, особенностей и характеристик. | Требования ФГОС (ПК-12, 22, 24, 26), Критерий 5 АИОР (п. 1.3, 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов *EUR-ACE* и *FEANI,* работодателей: АО «СО ЕЭС». Требования профессиональных стандартов 20.035. |

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**

федеральное государственное автономное

образовательное учреждение высшего образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ**

**ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Подразделение – «Инженерная школа энергетики»

Направление подготовки 09.04.03 Прикладная информатика

Профиль – «Информационные технологии в электроэнергетике»

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_ Прохоров А.В.

(Подпись) (Дата) (Ф. И. О.)

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

|  |
| --- |
| Магистерской диссертации |

Студенту:

|  |  |
| --- | --- |
| **Группа** | **ФИО** |
| О-5КМ81 | Жиленков Артем Алексеевич |

Тема работы:

|  |  |
| --- | --- |
| Разработка программного обеспечений централизованной автоматики ликвидации асинхронного режима | |
| Утверждена приказом директора | ххх-хх/с от хх.хх.хххх |

|  |  |
| --- | --- |
| Срок сдачи студентом выполненной работы: | хх.хх.хххх |

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Исходные данные к работе** | | 1. Расчетная модель ОЭС Сибири в ПК "RastrWin3. 2. Расчетная модель ОЭС Сибири в ПК Eurostag. 3. Нормальная схема электрических соединений объектов электроэнергетики, входящих в операционную зону ОДУ Сибири. |
| **Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов** | | 1. Анализ существующих типов АЛАР 2. Разработка алгоритма прогнозирования появления асинхронного режима 3. Разработка алгоритма выбора оптимального сечения деления системы 4. Сравнение работы централизованного АЛАР и локальных АЛАР |
| **Перечень графического материала** | | 1. Схема электрических сетей исследуемого энергорайона |
| **Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы** | | |
| **Раздел** | **Консультант** | |
| Финансовый менеджмент | Жиронкин С.А., профессор Отделения социально-гуманитарных наук | |
| Социальная ответственность | Сечин А.А., доцент Отделения общетехнических дисциплин | |

|  |  |
| --- | --- |
| **Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику** | хх.хх.хххх |

**Задание выдал руководитель:**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Должность** | **ФИО** | **Ученая степень, звание** | **Подпись** | **Дата** |
| Доцент | Калентьев А.А. | к. т. н. |  | хх.хх.хххх |

**Задание принял к исполнению студент:**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Группа** | **ФИО** | **Подпись** | **Дата** |
| О-5КМ81 | Жиленков Артем Алексеевич |  | хх.хх.хххх |

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА**

**«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»**

Студенту:

|  |  |
| --- | --- |
| **Группа** | **ФИО** |
| О-5КМ81 | Жиленкову Артему Алексеевичу |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Школа** | **ИШЭ** | **Отделение школы (НОЦ)** | **Электроэнергетики и электротехники** |
| **Уровень образования** | Магистратура | **Направление/специальность** | 09.04.03 Прикладная информатика |

|  |  |
| --- | --- |
| **Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:** | |
| 1. *Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих* | *Бюджет проекта – не более 180 тыс. руб., в т.ч. затраты по оплате труда – не более 4 тыс. руб.* |
| 1. *Нормы и нормативы расходования ресурсов* | *Значение показателя интегральной ресурсоэффективности – не менее 4 баллов из 5* |
| 1. *Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования* | *Оклады в соответствии с окладами сотрудников НИ ТПУ;*  *30% отчисления на социальные нужды* |
| **Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:** | |
| 1. *Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ* | *Определение потенциальных потребителей. SWOT- анализ проекта* |
| 1. *Разработка устава научно-технического проекта* | *Проект выполнен в рамках ВКР, разработка устава не требуется* |
| 1. *Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок* | *Инициализация проекта. Организационная структура проекта. Структура работ в рамках научного исследования. Разработка плана проведения научного исследования. Расчет бюджета затрат на проектирование. Расчет капитальных затрат на оборудование* |
| 1. *Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности* | *В ходе проектирования была проведена оценка ресурсной эффективности проекта* |
| **Перечень графического материала** *(с точным указанием обязательных чертежей):* | |
| 1. *Сегментирование рынка* 2. *Оценка конкурентоспособности технических решений* 3. *Матрица SWOT* 4. *Иерархическая структура работ* 5. *График проведения и бюджет НТИ* 6. *Оценка ресурсной эффективности НТИ* 7. *Потенциальные риски* | |

|  |  |
| --- | --- |
| **Дата выдачи задания для раздела по линейному графику** |  |

**Задание выдал консультант:**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Должность** | **ФИО** | **Ученая степень, звание** | **Подпись** | **Дата** |
| Профессор ОСГН ШБИП ТПУ | Жиронкин Сергей Александрович | д-р. экон. наук |  |  |

**Задание принял к исполнению студент:**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Группа** | **ФИО** | **Подпись** | **Дата** |
| О-5КМ81 | Жиленков Артем Алексеевич |  |  |

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА**

**«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

|  |  |
| --- | --- |
| **Группа** | **ФИО** |
| О-5КМ81 | Жиленкову Артему Алексеевичу |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Школа** | **ИШЭ** | **Отделение (НОЦ)** | **Электроэнергетики и электротехники** |
| **Уровень образования** | Магистратура | **Направление/специальность** | 09.04.03 Прикладная информатика |

Тема ВКР:

|  |  |
| --- | --- |
| **Разработка программного обеспечений централизованной автоматики ликвидации асинхронного режима** | |
| **Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:** | |
| 1. Характеристика объекта исследования и области его применения | Объект исследования: алгоритм централизованного АЛАР  Область применения: рабочее место технолога |
| Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке: | |
| **1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:**   * специальные, правовые нормы трудового законодательства; * организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. | Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 24.04.2020) |
| **2. Производственная безопасность:**  2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов  2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия | Повышенный уровень шума, повышенный уровень электромагнитного излучения, недостаточная освещенность рабочей зоны, отклонение показателей микроклимата, психофизические нагрузки. Опасность поражения электрическим током. |
| **3. Экологическая безопасность:** | Утилизация компьютера и периферийных устройств. Переработка бумаги. |
| **4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:** | Наиболее вероятными чрезвычайными ситуациями в здании могут быть:  1) пожары в здании  2) террористические акты и диверсии |

|  |  |
| --- | --- |
| **Дата выдачи задания для раздела по линейному графику** | **20.01.2020** |

**Задание выдал консультант:**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Должность** | **ФИО** | **Ученая степень, звание** | **Подпись** | **Дата** |
| Доцент | Сечин А.А. | к.т.н. |  | 20.01.2020 |

**Задание принял к исполнению студент:**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Группа** | **ФИО** | **Подпись** | **Дата** |
| О-5КМ81 | Жиленков Артем Алексеевич |  | 20.01.2020 |

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**

федеральное государственное автономное

образовательное учреждение высшего образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ**

**ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Подразделение: «Инженерная школа энергетики»

Направление подготовки: 09.04.03 «Прикладная информатика»

Уровень образования: магистратура

Профиль: «Информационные технологии в электроэнергетике»

Период выполнения: осенний семестр 2020/2021 учебного года

Форма представления работы:

|  |
| --- |
| Магистерская диссертация |

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН**

**выполнения выпускной квалификационной работы**

|  |  |
| --- | --- |
| Срок сдачи студентом выполненной работы: | 04.06.2020 |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Дата**  **контроля** | **Название раздела (модуля) /**  **вид работы (исследования)** | **Максимальный**  **балл раздела (модуля)** |
| 25.02.20 | Анализ литературы и опыта эксплуатации | 5 |
| 10.03.20 | Выбор исследуемого сечения и описание исследуемого района | 5 |
| 25.03.20 | Подготовка модели для моделирования переходных процессов | 10 |
| 10.04.20 | Разработка алгоритма прогнозирования асинхронного режима | 15 |
| 20.04.20 | Разработка алгоритма определения групп когерентных генераторов | 15 |
| 05.05.20 | Разработка алгоритма определения оптимального сечения деления системы | 20 |
| 15.05.20 | Сравнение работы централизованной и локальных АЛАР | 15 |
| 20.05.20 | Выполнение задания по разделу «Социальная ответственность» | 5 |
| 25.05.20 | Выполнение задания по разделу «Финансовый менеджмент» | 5 |
| 02.06.20 | Оформление расчётно-пояснительной записки | 5 |

Составил преподаватель:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Должность** | **ФИО** | **Ученая степень, звание** | **Подпись** | **Дата** |
| Доцент | Калентьев А. А. | к. т. н. |  | 20.01.20 |

**СОГЛАСОВАНО:**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Руководитель ООП** | **ФИО** | **Ученая степень, звание** | **Подпись** | **Дата** |
| Доцент | Прохоров А. В. | к. т. н. |  | 20.01.20 |

# Реферат

**Введение**

Применение централизованной архитектуры построения системы противоаварийной автоматики позволяет повысить эффективность выбора управляющих воздействий за счет увеличение объема анализируемой информации об энергосистеме, однако, при этом, требуется применение более сложных алгоритмов расчёта, в том числе в режиме реального времени.

В конечном итоге требуется разработка таких решений в части алгоритмического и программного обеспечения централизованной системы противоаварийной автоматики, которые бы обеспечивали компромисс между большим объемом данных, сложностью аналитических алгоритмов и необходимостью формирования эффективного управляющего воздействия в реальном времени.

В настоящее время в энергосистемах отсутствуют примеры реализации централизованной автоматики ликвидации асинхронного режима (ЦАЛАР), а существующие варианты алгоритмов, предназначенных для решения отдельных задач ЦАЛАР, не исследовались совместно и не реализовывались программно в составе единой системы.

Цель работы: разработка программного обеспечения централизованной автоматики ликвидации асинхронного режима.

Задачи:

1. Выделить компоненты разрабатываемого ПО и выявить из них наиболее значимые с точки зрения выполнения задач АЛАР.
2. Определить схему взаимодействия компонентов ПО друг с другом.
3. Проанализировать и выбрать протоколы передачи данных для работы с внешними системами.
4. Определить схему взаимодействия компонентов ПО с внешними системами.
5. Выполнить программную реализацию наиболее значимых компонентов.
6. Реализовать симуляторы для получения данных от внешних систем.
7. Выполнить тестирование разработанного ПО.
8. Разработать рабочую документацию.

Научная и практическая новизна: предложена оригинальная архитектура централизованной АЛАР, обеспечивающая функции прогнозирования возникновения асинхронного режима, определения групп когерентных генераторов и определения сечения деления системы.

Практическая значимость результатов ВКР: Разработанное программное обеспечение может быть использовано при проектировании комплексов централизованных систем противоаварийной автоматики, использующих схожие принципы функционирования.

# 1. Анализ существующих архитектур централизованной противоаварийной автоматики

В соответствии с [1] существующие локальные устройства АЛАР обладают рядом недостатков, связанных с низкими быстродействием, селективностью и чувствительностью. Кроме того, их настройка требует больших трудозатрат, что также может привести к человеческой ошибке при расчете или задании уставок устройства АЛАР. В работе [1] предложена концепция централизованной автоматики ликвидации асинхронного режима, которая исключает многие недостатки существующих устройств. Согласно данной концепции централизованная АЛАР включает в себя два основных блока:

* прогнозирующий выявительный орган,
* орган централизованного определения сечения деления системы.

Исследования [1] показали, что централизация АЛАР позволяет повысить эффективность выбора управляющих воздействий и в некоторых случаях улучшить быстродействие данной автоматики.

В настоящее время в энергосистемах примеры реализации централизованной автоматики ликвидации асинхронного режима отсутствуют.

В зарубежной литературе большую популярность имеет технология WAMPAC (wide-area monitoring, protection and control), которая предназначена для централизации информации об энергосистеме для мониторинга, анализа, прогнозирования состояния энергосистемы и распределения сигналов о необходимости выбора управляющих воздействий на нижестоящие устройства противоаварийной автоматики [2]. Системы WAM, WAP и WAC имеют сходство, которое благоприятствует их интеграции в систему WAMPAC. В общем виде архитектуру систем WAMPAC можно представить в виде, как на рисунке 1. Данные с УСВИ либо сразу отправляются в региональный КСВД, либо собираются в КСВД на уровне объекта электроэнергетики, а затем поступают в КСВД более высокого уровня. После этого данные со всех региональных КСВД собираются в КСВД главного уровня.



Рисунок 1 – Архитектура WAMPAC в общем виде

Аналогичная WAMS (wide-area monitoring system) система в России – система мониторинга переходных режимов (СМПР), которая предназначена для получения данных СВИ в электромеханических переходных и установившихся режимах работы энергосистемы в реальном времени и по запросу. В российской энергосистеме объектовым уровнем является уровень объектов электроэнергетики, региональным – уровень РДУ и ОДУ, главным – ЦДУ.

В случае централизованной АЛАР главный уровень в большинстве случаев будет отсутствовать, так как предметом контроля ЦАЛАР являются одно или несколько сечений. Следовательно, для работы ЦАЛАР необходим ограниченный объем данных СВИ. Таким образом, архитектура централизованной АЛАР содержит в себе региональный и объектовый уровни. А региональный КСВД может находиться как в РДУ или ОДУ, так и на объекте электроэнергетики, потому что на расположение сервера ЦАЛАР в первую очередь влияет скорость передачи данных СВИ от КСВД объектового уровня или автономных УСВИ и скорость передачи сигналов на устройства деления системы. Но при этом сервер ЦАЛАР будет находиться под управлением ОДУ или ЦДУ.

АО «СО ЕЭС» ведет работы по внедрению и развитию СМПР ЕЭС начиная с 2005 года [3]. Для решения задач по сбору и хранению информации СМПР в 2009-2011 гг. была создана и запущена в промышленную эксплуатацию Автоматическая система сбора информации от регистраторов СМПР (АССИ) [4].

Архитектура узла АССИ СМПР:

* адаптер протокола C37,
* хранилище данных,
* расчетный модуль,
* модуль обработки запросов,
* шлюз FTP,
* адаптер файлового протокола,
* модуль управления и конфигурирования.

Основная идея АС СИ СМПР состоит в предоставлении пользователю любого филиала СО ЕЭС данных СВИ за запрошенный период с интересующих его точек измерений независимо от того, к какому филиалу СО ЕЭС подключен энергообъект и какого типа регистраторы на нём установлены [5].

На сервере централизованной АЛАР нет необходимости в компонентах АССИ, связанных с работой СМПР в режиме офлайн. Поэтому в ней нет необходимости. В литературе нет примеров реализации централизованной архитектуры построения системы противоаварийной автоматики. Таким образом, основополагающей задачей работы является разработка архитектуры ЦАЛАР.

## Выводы по разделу 1

В данном разделе были указаны недостатки существующих устройств АЛАР. Было отмечено, что централизация АЛАР может исключить эти недостатки. На основе анализа зарубежной и российской литературы была описана архитектура WAMPAC в общем виде. Замечено, что для централизованной АЛАР нужны только два нижних уровня архитектуры WAMPAC, и что может потребоваться нахождение сервера ЦАЛАР вне ДЦ. Определено, что в использовании АССИ СМПР при реализации системы ЦАЛАР нет необходимости. Сказано также, что в литературе нет примеров реализации централизованной архитектуры системы ПА. Поэтому архитектура ЦАЛАР должна быть разработана в данной работе.

# 2. Проектирование программного обеспечения централизованной АЛАР

## 2.1. Решения по структуре

### 2.1.1. Укрупненная структура централизованной АЛАР

На рисунке 2 представлена укрупненная структура централизованной АЛАР. Желтым цветом помечен блок, который предназначен для прогнозирования возникновения асинхронного режима. Синим цветом помечен блок, предназначенный для выбора сечения деления системы в случае, когда возникает АР. Фиолетовым цветом помечен блок выявления возмущения в энергосистеме и определения групп когерентных генераторов. По [1] данный блок относится к органу централизованного определения сечения деления системы. Но так как от выявления им возмущения зависит, будет ли происходить идентификация АР, то данный блок вынесен отдельно.

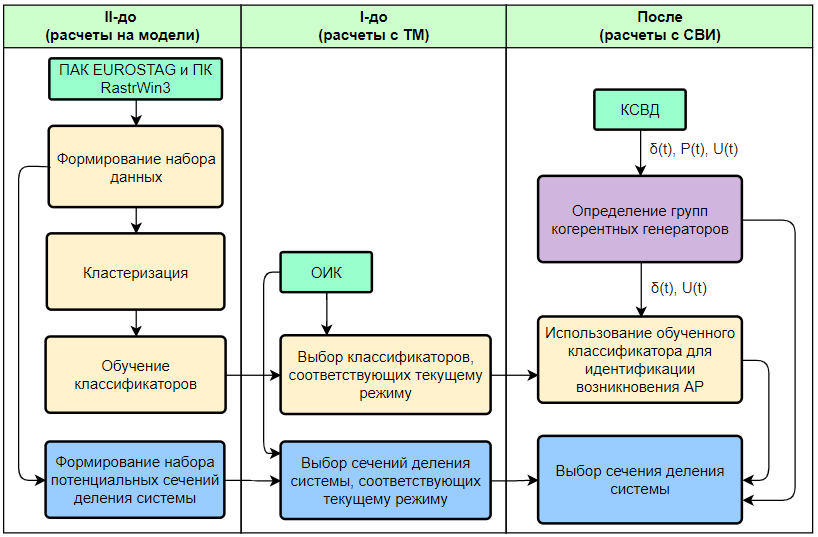


Рисунок 2 – Укрупнённая структура ЦАЛАР

Структура системы включает в себя три этапа работы: по способу II-ДО, I-ДО и ПОСЛЕ. На этапе II-ДО проводится большой объем предварительных расчетов при помощи ПК RastrWin3 и ПАК Eurostag. Затем формируются наборы данных для работы системы на этапах I-ДО и ПОСЛЕ, а конкретно обученные классификаторы и сформированные наборы сечений-кандидатов ДС.

На этапе I-ДО циклически выполняется анализ текущего режима: он сравнивается с рассчитанными на этапе II-ДО режимами, содержащимися в БД, и из них выбирается наиболее соответствующий текущему. Затем выбираются сечения-кандидаты ДС и обученный классификатор, которые соответствуют выбранному режиму работы ЭЭС из БД, для работы системы на этапе ПОСЛЕ.

На этапе ПОСЛЕ выполняется обработка данных СВИ: выявляется возникновения возмущения, которое потенциально может привести к нарушению устойчивости, и определяются группы когерентных генераторов. Если возмущение идентифицировано, запускается процесс определения возникновения асинхронного режима и выбора подходящего сечения деления системы.

### 2.1.2. Диаграмма компонентов разрабатываемого ПО

На рисунке 3 представлена диаграмма компонентов программного обеспечения.

Подсистема Формирования набора данных представляет собой часть системы, которая работает по принципу II-ДО. Т.е. она взаимодействует с ПК RastrWin3 и ПАК Eurostag для получения набора режимов работы ЭЭС и соответствующих им обученных классификаторов и наборов сечений-кандидатов ДС.

Подсистема Обработки ТМ из ОИК представляет собой часть системы, которая работает по принципу I-ДО. В ней происходит выбор расчетного режима из набора, по которому выбираются сечения-кандидаты и классификаторы для подсистем, работающих по принципу ПОСЛЕ.

Подсистемы Обработки данных СВИ, Идентификации возникновения АР и Выбора УВ работают по принципу ПОСЛЕ. Подсистема Обработки данных СВИ выявляет появление возмущения и определяет группы когерентных генераторов. Если возмущение возникло, то на подсистемы Идентификации возникновения АР и Выбора УВ подается сигнал на выполнение расчетов. В подсистему Идентификации возникновения АР также передается набор некоторых данных СВИ, а конкретно действующее значение напряжения и фаза напряжения узлов электрической сети. А в подсистему Выбора УВ передается информация о группах когерентных генераторов для выбора правильного сечения ДС. Если в результате работы подсистемы Идентификации возникновения АР выявлено, что асинхронный режим появится, то сигнал о необходимости выбора управляющих воздействий передается в подсистему Выбора УВ, которая должна разослать команды на деление системы на нижестоящие устройства.

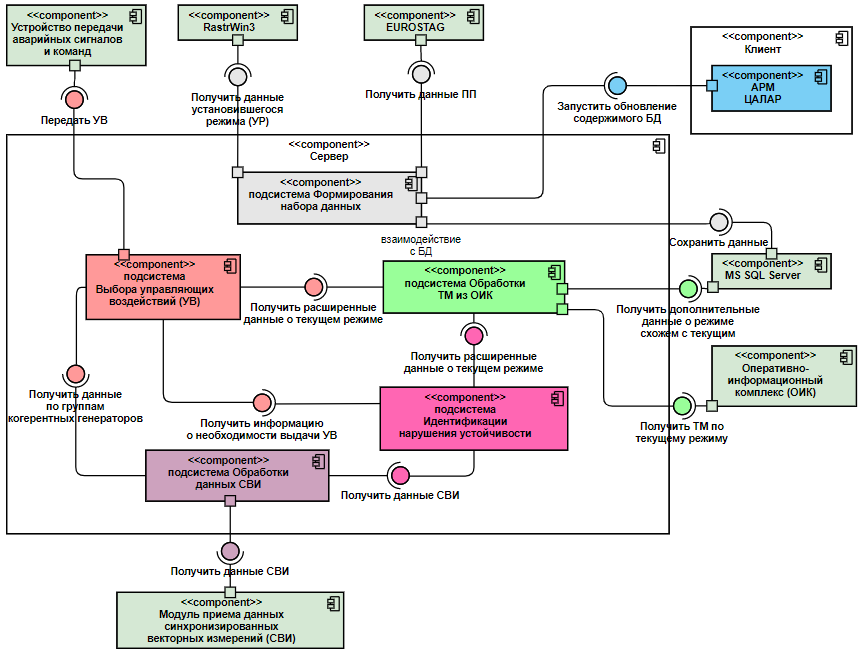
****

Рисунок 3 – Диаграмма компонентов

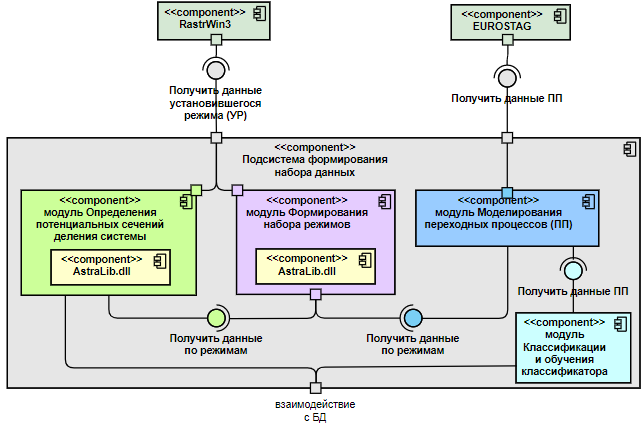


Рисунок 4 – Диаграмма компонентов подсистемы Формирования набора данных

В работе разрабатывается ПО, включающее только подсистемы, выделенные цветами: Обработки ТМ из ОИК, Обработки данных СВИ, Идентификации возникновения АР и Выбора УВ.

### 2.1.3. Диаграмма пакетов разрабатываемого ПО

Диаграмма пакетов, разработанная для выбранных подсистем, представлена на рисунке 5.

Пакет OIK представляет собой симулятор ОИК в диспетчерском центре, который является slave и передает телеметрию на сервер ЦАЛАР по протоколу МЭК 60870-5-104. Пакет Adapter IEC60870 является master и принимает телеметрию от ОИК. Пакеты OIK и Adapter IEC60870 используют пакет IEC60870 Library. Полученная телеметрия используется пакетом Comparison Of Modes для выбора расчетного режима по текущему, и соответствующих ему обученного классификатора и сечений-кандидатов ДС.

Пакет PDC представляет собой симулятор регионального КСВД, который передает данные СВИ на сервер ЦАЛАР по протоколу C37.118. Пакет Adapter C37 принимает и обрабатывает данные СВИ, полученные от КСВД. Эти пакеты используют пакет C37 Library. Данные СВИ используются пакетами Synchronized Vector Measurement Processing, который выявляет появление возмущения и определяет группы когерентных генераторов, Asynchrony Identification, который идентифицирует возникновение АР, и пакет Control Actions Selection, который выбирает сечение ДС. Asynchrony Identification в свою очередь для выполнения классификации использует пакет R classifier. Сечения-кандидаты ДС и обученный классификатор, полученные в результате процессов в Comparison Of Modes, используются пакетами Control Actions Selection и Asynchrony Identification соответственно.

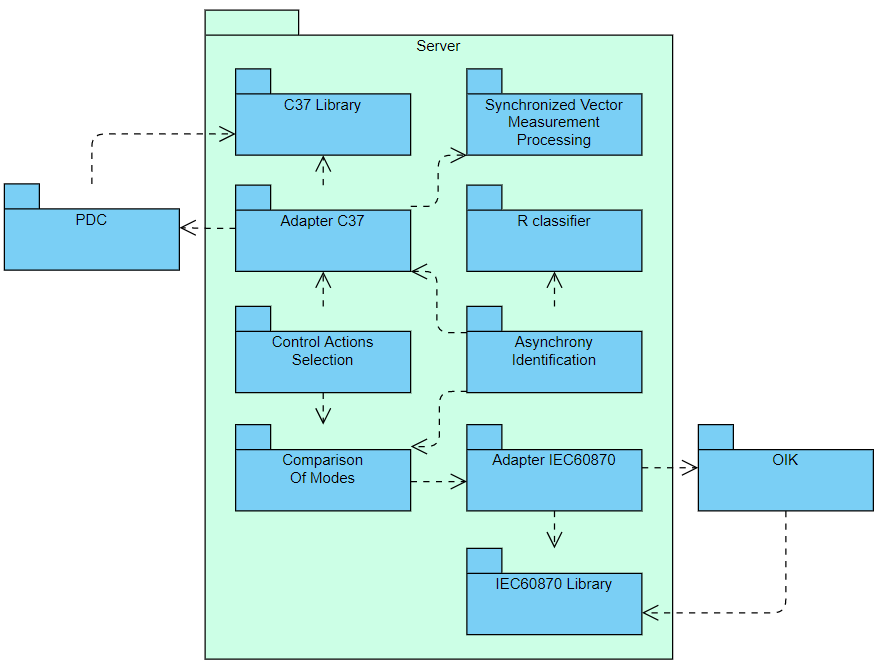


Рисунок 5 – Диаграмма пакетов

## 2.2. Решения по взаимосвязям системы со смежными системами

В таблице 1 представлены информационные системы, с которыми взаимосвязана система, а также способ взаимодействия между ними.

Таблица 1 – Взаимодействие со смежными системами

|  |  |
| --- | --- |
| Наименование смежной информационной системы | Протокол взаимодействия |
| Оперативно-информационный комплекс | [МЭК 60870-5-104-2004](http://docs.cntd.ru/document/gost-r-mek-60870-5-104-2004) |
| Энергообъекты (УСВИ, КСВД) | [C37.118.1-2011](https://smartgridcenter.tamu.edu/resume/pdf/1/C37.118.1-2011.pdf) |
| Энергообъекты (УПАСК) | МЭК 60870-5-101-2006 |
| ПАК EUROSTAG | COM |
| ПАК RastrWin3 | COM |

На рисунке 6 представлена схема взаимодействия с внешними системами.



Рисунок 6 – Схема взаимодействия с внешними системами

## 2.3. Состав функций, реализуемых системой

2.3.1. Подсистема «Обработки ТИ из ОИК»:

* Получение актуальных параметров режима из ОИК (1 раз в секунду).
* Сравнение текущего режима с набором заранее рассчитанных режимов и выбор ближайшего похожего.
* Выбор классификатора и сечений-кандидатов, соответствующих выбранному режиму.

2.3.2. Подсистема «Обработки данных СВИ»:

* Получение данных СВИ (в зависимости от частоты обновления данных).
* Идентификация возмущения.
* Определение группы когерентных генераторов.

2.3.3. Подсистема «Идентификации нарушения устойчивости»:

* Кластеризация набора данных на группы по признаку возникновения АР.
* Обучение классификатора.
* Выполнение классификации.

2.3.4. Подсистема «Выбора УВ»:

* Фильтрация сечений-кандидатов по КПР
* Фильтрация сечений-кандидатов по данным СВИ
* Принятие решения о необходимости выбора УВ по сигналу от подсистемы Идентификации возникновения АР.

## 2.4. Сведения об обеспечении заданных в техническом задании потребительских характеристик системы, определяющих ее качество

Таблица 2 – Сведения об обеспечении потребительских характеристик системы

|  |  |
| --- | --- |
| Требование | Метод реализации |
| Время выполнения задач определения сечения ДС и идентификации нарушения устойчивости должно составлять менее 1 с. | * Параллельное выполнение задач определения сечения ДС и идентификации нарушения устойчивости. * Кластеризация и обучение классификатора происходит на этапе II-ДО. * Данные для выполнения классификации подготавливаются заранее на этапе I-До. * Выполнение классификации происходит на языке R. |
| Данные для выполнения функций системы по принципу ПОСЛЕ должны быть получены не ранее, чем за 30 с. | * По принципу I-До выполняется только выбор обученного классификатора и сечений-кандидатов ДС на основе расчетного режима, наиболее близкого к текущему режиму работы ЭЭС, информация о котором получена из ОИК. * Формирование набора данных, состоящего из расчетных режимов работы ЭЭС и соответствующих им обученных классификаторов и сечений-кандидатов ДС, происходит по принципу II-До. |

## 2.5. Методы и средства разработки

Создание программного обеспечения выполняется на операционной системе Windows 10.

Для основной логики программы используется язык программирования C#.

Для выполнения задач кластеризации и классификации используется язык программирования R.

## 2.5. Требования к видам обеспечения

### 2.5.1. Требования к информационному обеспечению

Состав параметров режима, получаемых из ОИК: включенное состояние генераторов и электросетевого оборудования, напряжение, ток, генерируемая активная и реактивная мощность, потребляемая активная и реактивная мощность, передаваемая по линии активная и реактивная мощность.

Состав данных СВИ, полученных от регионального КСВД: активная мощность генератора, действующее значение напряжения и фаза напряжения узла сети.

Данные о расчетных режимах, сечения-кандидаты ДС и обученные классификаторы содержатся в формате CSV (при реализации ЦАЛАР их необходимо поместить в БД).

### 2.5.2. Требования к программному обеспечению

Для работы системы требуется:

* ПК RastrWin3 версии 2.5.0 или совместимой;
* ПАК Eurostag версии 5.1 или совместимой.

### 2.5.3. Требования к техническому обеспечению

Сервер должен включать:

* серверную платформу IBM x3750 M4;
* процессор Intel Xeon 8C Processor Model E5-4650 130W 2.7GHz/1600MHz/20MB;
* модуль памяти 8GB (1x8GB, 2Rx4, 1.35V) PC3L-10600 CL9 ECC DDR3 1333MHz LP RDIMM;
* жесткий диск IBM 256GB SATA 2.5in MLC HS Enterprise Value SSD;
* жесткий диск IBM 1TB 2.5in SFF HS 7.2K 6Gbps NL SAS HDD.

Сервера должны быть размещены в шкафу 19 производства APC. В шкафу также должны быть размещены:

* источник бесперебойного питания;
* сетевые коммутаторы Cisco.

## Выводы по разделу 2

В данной главе был разработан проект ПО: предложены решения по архитектуре системы и взаимодействию подсистемы со внешними системами, описаны требования к характеристикам системы, к средствам разработки и видам обеспечения разрабатываемой системы. Определены компоненты системы, которые будут разрабатываться в рамках выпускной квалификационной работы: подсистемы Обработки ТМ из ОИК, Обработки данных СВИ, Идентификации возникновения АР и Выбора УВ.

# 3. Разработка программного обеспечения централизованной АЛАР

## 3.1. Описание используемых алгоритмов

### 3.1.1. Теоретическая основа программной реализации подсистемы Обработки данных СВИ

В работе [1] был описан метод определения когерентных групп генераторов. В соответствии с ним сначала определяется центр углов *δCOI*. Затем для каждого отдельного генератора определяется отклонение от *δCOI* и накопленная ошибка за промежуток времени *Σω*. При достижении максимальной накопленной ошибки *Σωmax* фиксируется возникновение возмущения и запускается процесс определения групп когерентных генераторов. *Σωmax* для каждого сечения должен быть взят индивидуально в соответствии с расчетными испытаниями. В данной работе *Σωmax* для сечения «Братск-Красноярск» с запасом была принята равной (-30; +30). Однако запас был взят неверно, что может привести к тому, что не будет зафиксировано возмущение, которое потенциально может привести к возникновению АР. Следовательно, при разработке *Σωmax* возьмём равной (-23; +23). На рисунке 7 представлены графики углов и центров углов для случая, не приводящего к возникновению АР (а), и для случая, приводящего к возникновению АР (б), а также *δCOI*, момент превышения *Σωmax* и момент достижения АР.

δ

δ

t, с

t, с

а б

Рисунок 7 – Углы и центр углов для случая, не приводящего к возникновению АР (а), и для случая, приводящего к возникновению АР (б)

У когерентных генераторов *Σω* накапливается практически одинаково (рисунок 8). Для сечения «Братск-Красноярск» возможен только двухчастотный АР. Поэтому для определения групп когерентных генераторов при реализации достаточно оценить знак *Σω*: положительный знак – одна группа когерентных генераторов, отрицательный – вторая.

t,с

ω

Рисунок 8 – Накопленные ошибки генераторов для случая, приводящего к возникновению АР

### 3.1.2. Теоретическая основа программной реализации подсистемы Идентификации возникновения асинхронного режима

В [1] описано, что методика прогнозирования возникновения АР включает в себя четыре этапа:

1. Формирование набора данных путем моделирования заданных возмущений и переходных процессов.

2. Выполнение кластеризации полученных при моделировании данных.

3. Обучение классификатора на основе данных, полученных при кластеризации.

4. Использование обученного классификатора для прогнозирования нарушений динамической устойчивости генераторов в режиме онлайн.

Формирование наборов данных выполняется при помощи ПК RastrWin3 и ПАК Eurostag. Кластеризация и классификация выполняется на языке R. Кластеризация выполняется методом нечеткой кластеризации C-средних (c-means). При обучении используется классификатор на основе метода опорных векторов (support vector machine – SVM). Для определения принадлежности к какому-либо из классов используются матрицы нечеткого членства (fuzzy membership matriсes). Данные методики были выбраны на основе анализа научной литературы.

Первые три из вышеперечисленных пунктов выполняются на этапе II-ДО. Четвертый выполняется на этапе ПОСЛЕ и входит в подсистему Идентификации возникновения АР. По итогам выполнения первых трех пунктов сформированы обученные классификаторы, которые включают в себя кластеры и модель классификации. Они были сериализованы и сохранены в виде CSV-файлов. В реализации системы централизованной АЛАР классификаторы должны содержаться в базе данных.

### 3.1.3. Теоретическая основа программной реализации подсистемы Обработки телеметрии из ОИК

Для выполнения сравнения текущего режима с набором заранее рассчитанных режимов, которые на данном этапе содержатся в формате CSV, и выбора ближайшего похожего был выполнен поиск существующих алгоритмов, способных выполнять данные задачи. В результате поиска не было найдено подходящего алгоритма, поэтому необходимо было создать специальный алгоритм сравнения. Он представлен в виде блок-схемы на рисунке 9.

В соответствии с данным алгоритмом заранее каждое значение режимного параметра имеет весовой коэффициент, зависящий от близости расположения к контролируемому сечению элемента, к которому привязано данное значение, и от класса напряжения в случае сетевого элемента либо от номинальной активной мощности в случае генератора. Затем с учетом весовых коэффициентов осуществляется сравнение значений параметров текущего режима работы ЭЭС и расчетных режимов. В качестве режима, наиболее близкого к текущему, выбирается тот, который имеет наименьший рейтинг.





Рисунок 9 – Блок-схема алгоритма сравнения режимов

## 3.2. Рабочая документация

### 3.2.1. Общие сведения о системе

Полное наименование информационной системы – программно-аппаратный комплекс «Централизованная автоматика ликвидации асинхронного режима».

Условное обозначение – централизованная АЛАР или ЦАЛАР.

### 3.2.2. Архитектура и принципы функционирования

Система централизованной АЛАР предназначена для автоматического выявления и ликвидации АР с использованием синхронизированных векторных измерений в электроэнергетической системе.

Система централизованной АЛАР состоит из четырех подсистем:

Подсистема «Обработки телеметрии из ОИК» на основе параметров текущего режима работы ЭЭС выбирает актуальные сечения-кандидаты деления системы и обученный классификатор.

Подсистема «Обработки данных синхронизированных векторных измерений» на основе ограниченного набора СВИ выявляет возмущения, которые потенциально могут привести к возникновению АР, и определяет группы когерентных генераторов.

Подсистема «Идентификации возникновения асинхронного режима» с использованием обученного классификатора, выбранного подсистемой «Обработки телеметрии из ОИК», выполняет классификацию данных, полученных от подсистемы «Обработки данных синхронизированных векторных измерений», с целью идентификации возникновения АР. На основе результата классификации принимается решение о необходимости выдачи управляющих воздействий.

Подсистема «Выбора управляющих воздействий» на основании информации о группах когерентных генераторов, полученной от подсистемы «Обработки данных синхронизированных векторных измерений», выбирает сечение ДС из подготовленных подсистемой «Обработки телеметрии из ОИК».

На рисунке 10 представлена диаграмма компонентов системы ЦАЛАР.

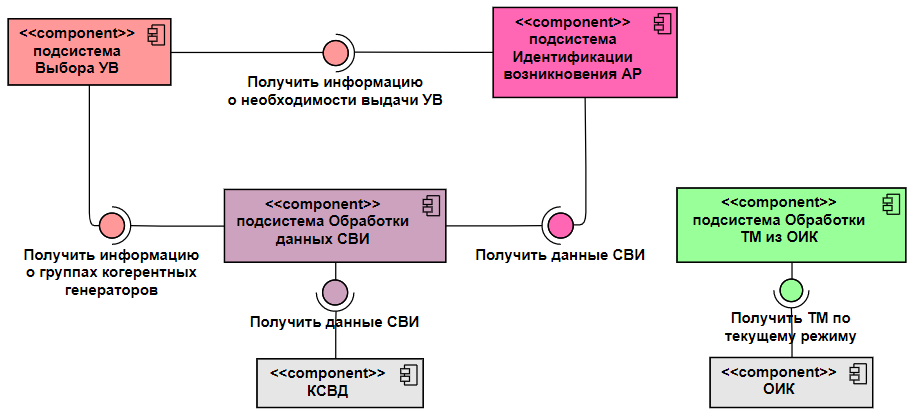


Рисунок 10 – Диаграмма компонентов

На рисунке 11 представлена диаграмма пакетов системы ЦАЛАР.

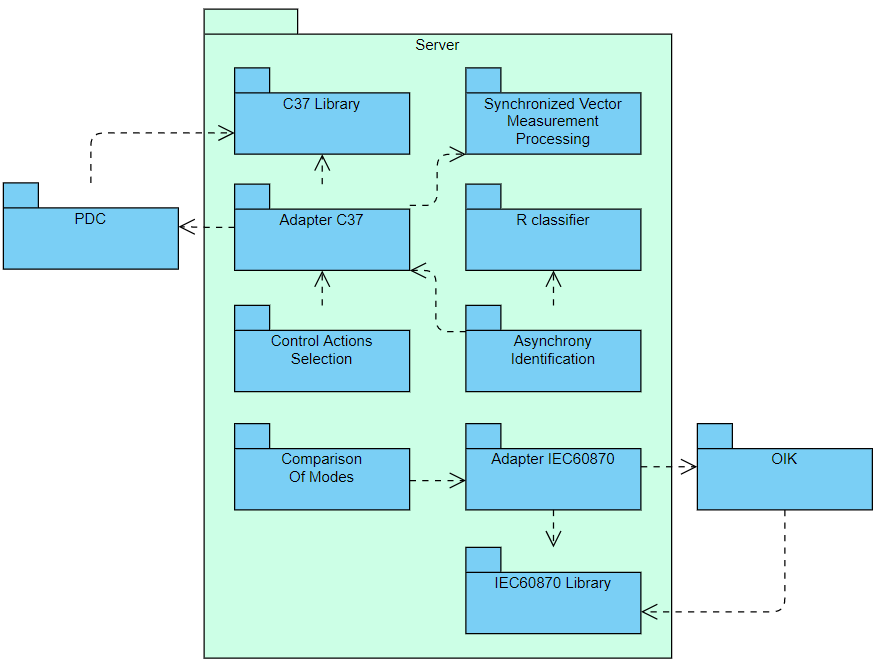


Рисунок 11 – Диаграмма пакетов

На рисунках 12-15 представлены диаграммы классов реализованных пакетов, описывающих реализованные подсистемы централизованной АЛАР.

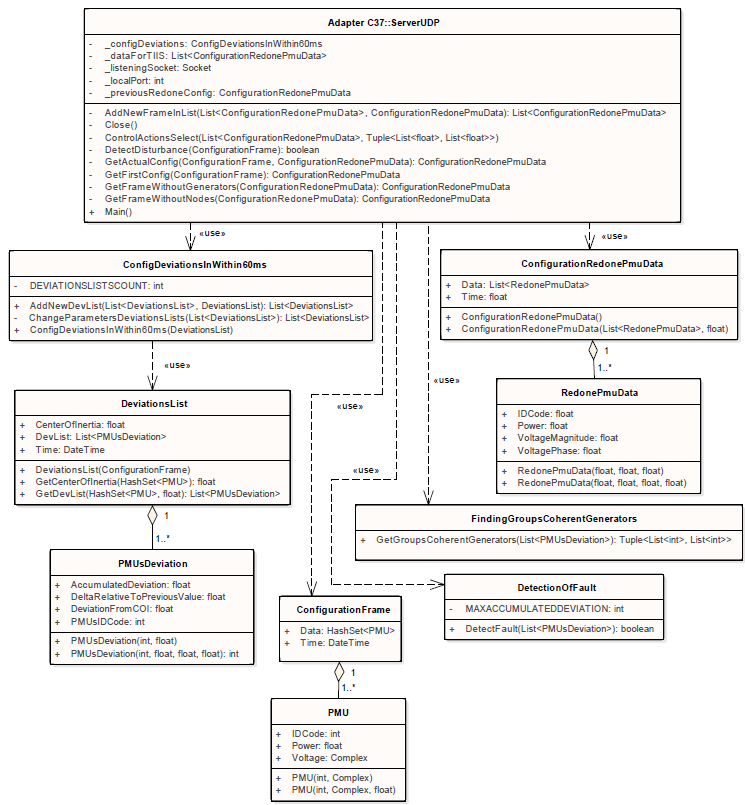


Рисунок 12 – Диаграмма классов для пакета Synchronized Vector Measurement Processing

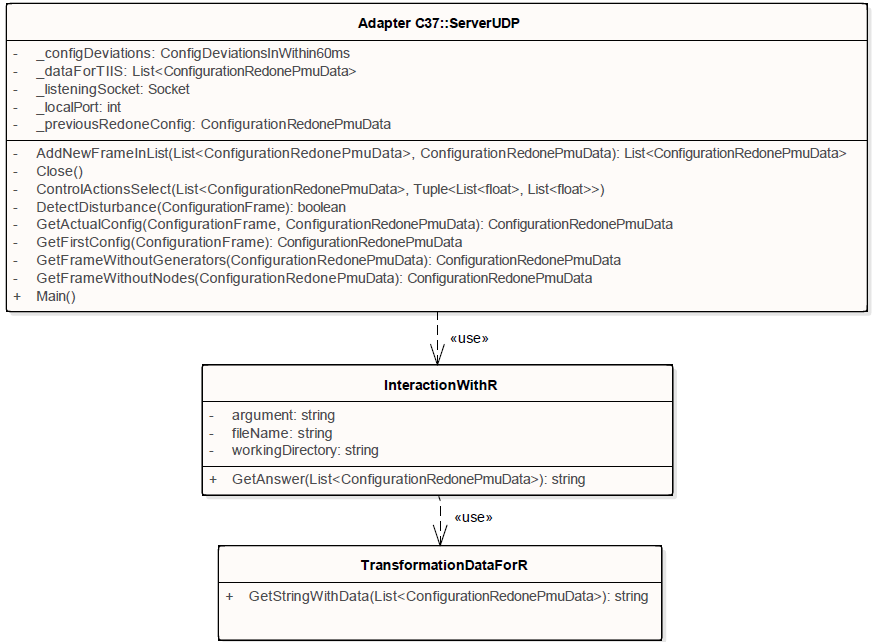


Рисунок 13 – Диаграмма классов для пакета Asynchrony Identification

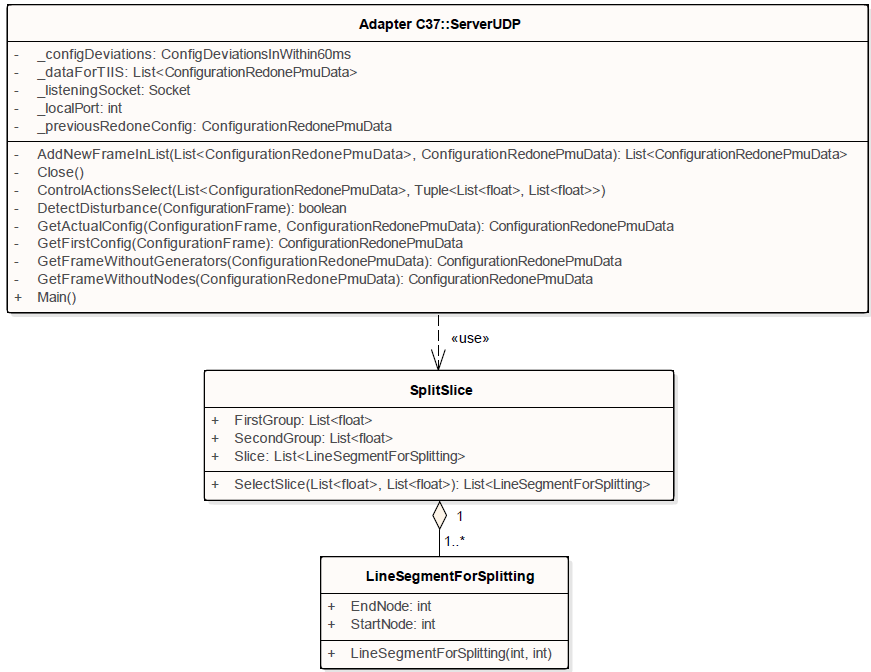


Рисунок 14 – Диаграмма классов для пакета Control Actions Selection

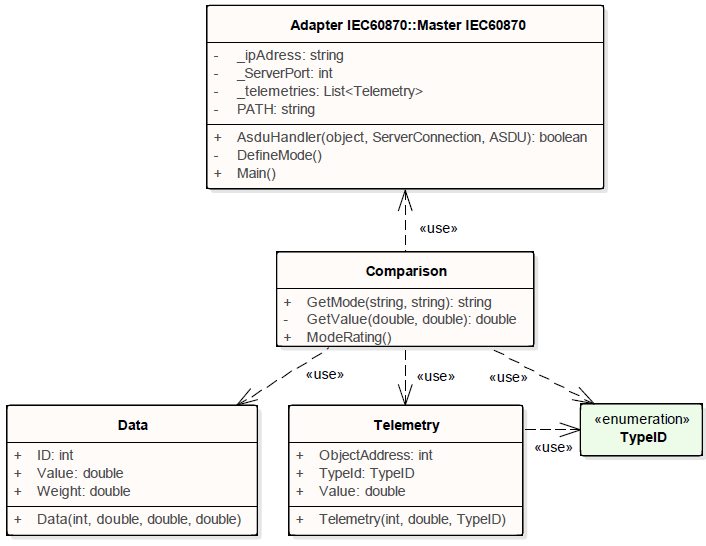


Рисунок 15 – Диаграмма классов для пакета Comparison Of Modes

### 3.2.3. Системные требования

Система ЦАЛАР была протестирована на пользовательской рабочей станции и показала удовлетворительные результаты. В связи с этим параметры рабочей станции приняты за рекомендуемые и представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Системные требования для работы системы ЦАЛАР

|  |  |
| --- | --- |
| Параметр | Рекомендуемые требования |
| Процессор, ГГц | 2.3 |
| Оперативная память, ГБ | 16 |
| Свободное место на SSD, ГБ | 1 |
| Количество ядер | 4 |
| Операционная система | Windows 10 |

### 3.2.4. Требования к пользователю системы

Система предназначена для использования сотрудниками АО «СО ЕЭС».

Пользователь системы должен обладать базовыми навыками работы с операционной системой Windows.

Пользователь системы должен обладать правами на обновление расчетных данных в базе данных.

### 3.2.5. Интерфейс пользователя

Интерфейс АРМ ЦАЛАР предоставляет пользователю возможность осуществлять запуск обновления расчётных данных в базе данных. Так как обновление происходит периодически, то интерфейс позволяет узнать дату последнего обновления данных (рисунок 16). Для запуска обновления необходимо нажать кнопку «Обновить» и затем в открывшемся окне ввести логин и пароль и нажать «Ok» (рисунок 17).

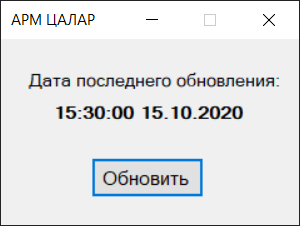


Рисунок 16 – Стартовое окно

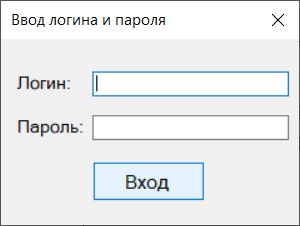


Рисунок 17 – Ввод логина и пароля

При успешном обновлении появится сообщение, как на рисунке 18. В обратном случае пользователь получит сообщение об ошибке (рисунок 19).

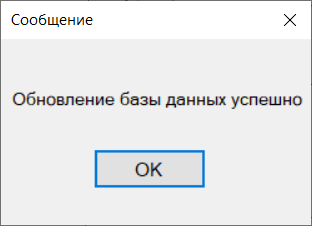


Рисунок 18 – Сообщение об успешном выполнении

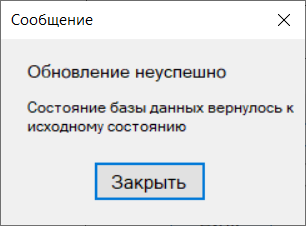


Рисунок 19 – Сообщение об ошибке

## Выводы по разделу 3

В данной главе были описаны используемых алгоритмы и технологий при создании ПО централизованной АЛАР. Затем была разработана рабочая документация к программному обеспечению.

# 4. Тестирование программного обеспечения централизованной АЛАР

## 4.1. Тестирование подсистемы Обработки данных СВИ

Пакеты Adapter C37, PDC и C37 Library симулируют прием данных СВИ каждые 20 мс. Затем при помощи пакета Synchronized vector measurement processing выявляется возмущение, способное привести к АР, и определяются группы когерентных генераторов.

Протестируем работу подсистемы. На рисунке 20 можно увидеть время получения кадра, факт того, было ли выявлено возмущение (на рисунке status: false или true), и индексы генераторов двух групп когерентных генераторов.

Время выполнения процессов выявления возмущения и определения групп когерентных генераторов суммарно составляет менее 1 мс.

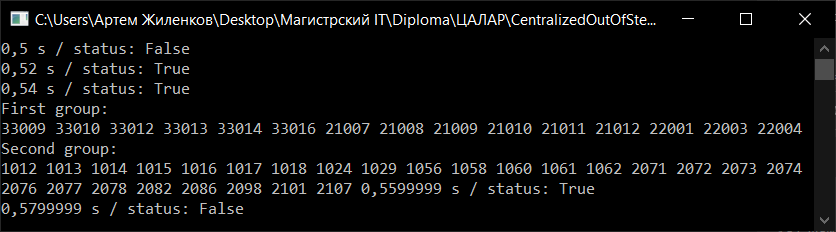


Рисунок 20 – Результат работы подсистемы Обработки данных СВИ

## 4.2. Тестирование подсистемы Идентификации возникновения асинхронного режима

Процесс идентификации АР выполняется, когда подсистема Обработки данных СВИ подаст сигнал о выявлении возмущения в энергосистеме. Процесс идентификации АР запускается асинхронно относительно других процессов для достижения лучшей производительности. На рисунке 21 видно, что был запущен процесс идентификации АР, и через небольшой промежуток времени был запущен ещё один. Первый запуск вернул значение 1. Это означает, что АР наступит после действия АПНУ. 2 – означало бы наступление АР до действия АПНУ. 0 – означает, что АР не наступит. Также на рисунке видно время, которое было потрачено на классификацию. В данном случае первый процесс идентификации занял 12 мс, а второй – 39 мс. При этом время на классификацию варьируется от 10 мс до нескольких сотен миллисекунд в зависимости от загруженности процессора.

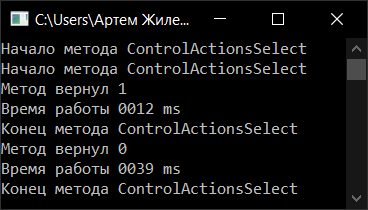


Рисунок 21 – Результат работы подсистемы Идентификации АР

## 4.3. Тестирование подсистемы Выбора управляющих воздействий

На этапе ПОСЛЕ подсистема Выбора УВ выбирает одно подходящее сечение ДС из оставшихся после отсеивания подсистемой Обработки ТМ из ОИК на основании информации о группах когерентных генераторов, полученных от подсистемы Обработки данных СВИ.

В результате реализации подсистемы Выбора УВ была сделана диаграмма классов, которая представлена в приложении A на рисунке A.3.

На рисунке 22 представлен результат работы подсистемы. В подсистему была передана информация о группа когерентных генераторов, а конкретно группы индексов генераторов. На выходе получаем список линий, которые необходимо отключить для выполнения ДС. В данном случае в качестве индекса узла брался его номер из ПК RastrWin3. Время выполнения процессов данной подсистемы составляет несколько мс, т.е. не более времени идентификации возникновения АР, которая выполняется параллельно.

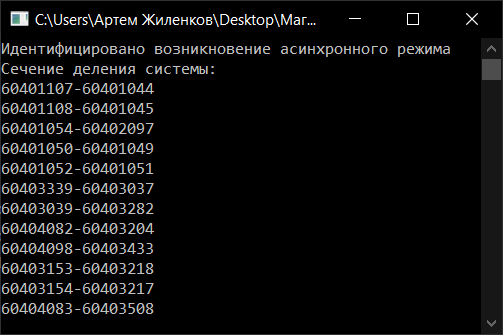


Рисунок 22 – Результат работы подсистемы Выбора УВ

## 4.4. Тестирование подсистемы Обработки телеметрии из ОИК

Сначала были реализованы master и slave между которыми осуществлялась передача данных по протоколу МЭК-104. Сервер централизованной АЛАР является master и принимает данные из ОИК, находящемся в ДЦ. На рисунке 23 показан прием ASDU.

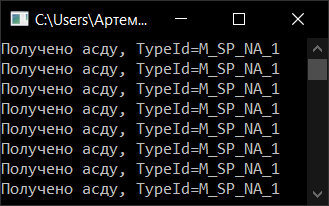


Рисунок 23 – Получение данных по протоколу МЭК-104

При помощи пакета Comparison of modes осуществляется сравнение параметров текущего режима с параметрами расчетных режимов, и выбирается ближайший к текущему из них. Было проведено тестирование подсистемы. На рисунке 24 показано, что подсистема выдала наименование режима, наиболее похожего на текущий. На данном этапе было выдано наименование CSV-файла, содержащего информацию по заранее рассчитанному режиму. При реализации системы централизованной АЛАР режимы и соответствующие им обученные классификаторы и сечения-кандидаты должны будут содержаться в БД.

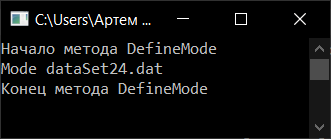


Рисунок 24 – Получение заранее рассчитанного режима, соответствующего текущему

Время выполнения процессов подсистемы составляет менее 1 секунды, что позволяет уложиться в обозначенные 30 секунд расчета по принципу I-ДО.

## Выводы по разделу 4

В данной главе было протестировано программное обеспечение централизованной АЛАР. Учитывая, что на выявления возмущения, способного привести к АР, и на определение групп когерентных генераторов уходит менее 1 мс, а процесс определения сечения ДС выполняется параллельно с процессом идентификации возникновения АР и при этом протекает быстрее, то время на идентификацию возникновения АР можно считать временем выполнения всего алгоритма ЦАЛАР. В [1] самым быстрым временем наступления АР в сечении «Братск-Красноярск» было 580 мс. С учетом, что для успешной идентификации АР требуется временной ряд длинной 60 мс, и приняв за среднее время классификации 50 мс, получается, что время на передачу данных по сети составляет порядка 470 мс.

**Заключение**

В работе представлены результаты разработки программного обеспечения централизованной автоматики ликвидации асинхронного режима. Разработанное ПО состоит из нескольких подсистем, решающих задачи выявления и ликвидации асинхронного режима.

Была разработана централизованная архитектура централизованной АЛАР и определены способы взаимодействия с внешними системами.

Выполнение процессов представленного в данной работе программного обеспечения не требует вмешательства человека, т.е. происходят автоматически.

Время выявления АР и определения сечения ДС в худшем случае позволяет иметь почти 0,5 с времени на передачу данных СВИ от энергообъектов и передачу команд на деление системы на энергообъекты.