

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

Институт компьютерных и инженерных наук
Кафедра информационных и управляющих систем
Направление подготовки / 09.04.04 – Программная инженерия
Направленность (профиль) образовательной программы Управление разработкой программного обеспечения

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Зав. кафедрой

_____ А.В. Бушманов
« _____ » _____ 2025 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на тему: Разработка приложения для обработки данных контрольных замеров на подстанциях ДРСК

Исполнитель

студент группы 3105-ом1

(подпись, дата)

И.В. Казаков

Руководитель

доцент, канд.техн.наук

(подпись, дата)

О.В. Жилиндина

Руководитель научного
содержания программы
магистратуры

профессор, доктор
техн.наук

(подпись, дата)

И.Е. Ерёмин

Нормоконтроль

инженер кафедры

(подпись, дата)

В.Н. Адаменко

Рецензент

старший преподаватель,
канд.техн.наук

(подпись, дата)

Д.В. Фомин

Благовещенск 2025

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

Институт компьютерных и инженерных наук
Кафедра информационных и управляющих систем

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой

_____ А.В. Бушманов

«_____» _____ 2025г.

З А Д А Н И Е

К магистерской диссертации студента группы 3105-ом1 Казакова Игоря Вадимовича

1. Тема магистерской диссертации: Разработка приложения для обработки данных контрольных замеров на подстанциях ДРСК

(Утверждено приказом от 06.03.2025 №609-уч)

2. Срок сдачи студентом законченной работы (проекта): 10.06.2025 г.

3. Исходные данные к магистерской диссертации: пояснительная записка к курсовой работе, техническое задание.

4. Содержание магистерской диссертации: анализ предметной области, алгоритм решения задачи с использованием компьютерных технологий, а также программная реализация решения.

5. Перечень материалов приложения: техническое задание, схемы авторизации пользователя и схемы функционала ролей администратора и инженера.

6. Рецензент магистерской диссертации: Фомин Денис Васильевич, старший руководитель, канд.техн.наук

7. Дата выдачи задания: 01.10.2023 г.

8. Руководитель выпускной квалификационной работы: Жилиндина Ольга Викторовна, доцент, канд. техн. наук

(фамилия, имя, отчество, должность, ученая степень, ученое звание)

9. Задание принял к исполнению (01.10.2023): _____ Казаков И.В.

РЕФЕРАТ

Магистерская диссертация содержит 81 с., 35 рисунков, 1 таблицу, 50 источников, 4 приложения.

МОБИЛЬНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ, ОБРАБОТКА ДАННЫХ, КОНТРОЛЬНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ, ПОДСТАНЦИИ, ДРСК, UNITY, C#

В магистерской диссертации проанализированы существующие программные решения для обработки данных контрольных замеров на подстанциях АО «ДРСК», на основе чего разработано мобильное приложение, отличающееся поддержкой автономного режима и адаптацией к ручному вводу данных.

Целью данной выпускной квалификационной работы является разработка приложения для обработки данных контрольных замеров на подстанциях ДРСК.

Для достижения поставленной цели решаются следующие основные задачи:

- анализ предметной области и процессов сбора данных на подстанциях;
- анализ существующих программных решений;
- выбор технологий и методологии разработки;
- разработка мобильного приложения с использованием Unity и C#;
- тестирование приложения на соответствие требованиям.

Практическая значимость приложения заключается в повышении эффективности работы инженеров ДРСК, минимизации ошибок и обеспечении автономной работы в условиях ограниченного интернет-соединения.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	6
1 Анализ предметной области исследования	8
1.1 Описание деятельности организации и подстанций	8
1.1.1 Деятельность АО «ДРСК»	8
1.1.2 Контрольные замеры на подстанциях	11
1.1.3 Типы оборудования и собираемые данные	13
1.1.4 Методы сбора и обработки данных	16
1.1.5 Особенности и требования к обработке и хранению данных	19
1.2 Анализ существующих решений	20
1.2.1 SIMATIC WinCC OA UI	21
1.2.2 Программный комплекс «Энергосфера 8.1»	24
1.3 Постановка задачи	27
2 Алгоритмическое и программное обеспечение для приложения обработки данных контрольных замеров	29
2.1 Предлагаемый алгоритм решения задачи	29
2.1.1 Авторизация пользователя	29
2.1.2 Функционал администратора	30
2.1.3 Функционал инженера	31
2.1.4 Функциональные требования	32
2.1.5 Нефункциональные требования	34
2.2 Обоснование выбора программно-технического обеспечения	35
2.2.1 Сравнение альтернативных решений	35
2.2.2 Язык программирования	38
2.2.3 Используемые библиотеки	39
2.2.4 Среда разработки Unity	41
2.2.5 Описание интерфейса пользователя	42
3 Программная реализация приложения для обработки данных контрольных замеров на подстанциях ДРСК	44

3.1 Разработка файлового хранилища данных	44
3.1.1 Проектирование структуры базы данных	45
3.1.2 Связи между сущностями	47
3.1.3 Ограничения целостности	47
3.1.4 Оптимизация производительности	48
3.1.5 Масштабируемость	49
3.2 Разработка интерфейса пользователя	50
3.2.1 Создание структуры навигации	50
3.2.2 Экран авторизации	52
3.2.3 Экраны администратора	53
3.2.4 Экраны инженера	58
3.3 Тестирование приложения	65
3.3.1 Авторизация администратора	65
3.3.2 Регистрация и удаление пользователей	66
3.3.3 Добавление и удаление подстанции	67
3.3.4 Добавление и удаление оборудования	68
3.3.5 Авторизация инженера	69
3.3.6 Выбор региона, подстанции, типа оборудования, модели оборудования и ввод данных, тестирование системы поиска подстанции	69
3.3.7 Добавление данных, формирование отчёта, получение на почту файла	73
3.3.8 Дополнительные сценарии	75
Заключение	76
Библиографический список	78
Приложение А	82
Приложение Б	88
Приложение В	89
Приложение Г	90

ВВЕДЕНИЕ

Энергетика – область хозяйственно-экономической деятельности человека, совокупность больших естественных и искусственных подсистем, служащих для преобразования, распределения и использования энергетических ресурсов всех видов.

Целью энергетики является обеспечение производства энергии путем преобразования первичной, природной энергии во вторичную, например в электрическую или тепловую, энергию. Электроэнергетика является наиболее важной отраслью энергетики, что объясняется такими преимуществами электроэнергии перед энергией других видов, как относительная лёгкость передачи на большие расстояния, в котором и помогают электрические подстанции.

Автоматизация и эффективная обработка данных контрольных замеров на подстанциях ДРСК является актуальной задачей в энергетической отрасли. В условиях современной энергетики, где наблюдается рост объемов данных и увеличение сложности систем электроснабжения, требуется разработка специализированных приложений, которые позволят упростить и ускорить процесс обработки данных контрольных замеров.

Традиционные методы обработки данных, такие как ручная обработка или использование электронных таблиц, становятся неэффективными и неспособными обеспечить точность и скорость обработки, а также анализа полученных результатов. Кроме того, такие методы могут быть подвержены ошибкам, что может привести к некорректным выводам и принятию неправильных решений. Целью данного исследования является разработка мобильного приложения для обработки данных контрольных замеров на подстанциях ДРСК.

Объектом исследования являются компания ДРСК и энергетические подстанции, которые она обслуживает в 5 регионах Дальнего Востока, такие как Амурская область, Хабаровский край, Еврейская автономная область, Приморский край и юг Якутии. Так же сами подстанции, какие оборудования бывают на

этих подстанциях и какие контрольные данные собирают и обрабатывают инженеры.

Для достижения поставленной цели в рамках данной магистерской диссертации решаются следующие основные задачи:

- Анализ предметной области, включая изучение процессов сбора и обработки данных контрольных замеров на подстанциях ДРСК, типов оборудования и существующих методов обработки данных;

- Проектирование архитектуры и интерфейса мобильного приложения, определение функциональности для ролей пользователей (администраторы и инженеры), разработка интуитивно понятного пользовательского интерфейса;

- Разработка мобильного приложения с использованием Unity и C#, включая функции ввода данных, генерации отчётов в формате CSV, отправки отчётов по электронной почте и работы в автономном режиме;

- Тестирование разработанного приложения на соответствие функциональным и нефункциональным требованиям, включая проверку на различных мобильных устройствах и в условиях ограниченного интернет-соединения.

1 АНАЛИЗ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Электроэнергетика является одной из ключевых отраслей экономики, обеспечивающей преобразование, передачу и распределение электрической энергии, которая обладает уникальными преимуществами, такими как возможность передачи на большие расстояния и универсальность применения. Электрические подстанции играют центральную роль в этом процессе, выполняя функции преобразования напряжения, распределения электроэнергии и защиты сети от перегрузок и аварий. В условиях роста сложности энергетических систем, увеличения объемов данных и необходимости оперативного принятия решений возникает потребность в современных автоматизированных решениях для сбора и обработки данных контрольных замеров.

Необходимость упрощения и ускорения процессов сбора и обработки данных контрольных замеров на подстанциях АО «ДРСК» обусловлена значительными временными затратами квалифицированных специалистов. Традиционные методы, основанные на ручной записи данных в журналы и их последующем переносе в таблицы Excel, являются трудоемкими, подверженными ошибкам и не отвечают современным требованиям к скорости и точности обработки информации. Разработка мобильного приложения, автоматизирующего эти процессы, позволит повысить эффективность работы инженеров, минимизировать вероятность ошибок, обеспечить структурированное хранение данных и их оперативный анализ, что особенно важно для поддержания надежности и безопасности энергетической инфраструктуры.

1.1 Описание деятельности организации и подстанций

1.1.1 Деятельность АО «ДРСК»

Акционерное общество «Дальневосточная распределительная сетевая компания» является одной из крупнейших электросетевых организаций Дальнего Востока России, обеспечивающей электроснабжение в пяти регионах: Амурской области, Хабаровском крае, Еврейской автономной области, Приморском крае и южной части Республики Саха (Якутия). Основные направления деятельности

компании включают эксплуатацию, техническое обслуживание и модернизацию электрических подстанций и линий электропередачи, обеспечивающих бесперебойное энергоснабжение жилых, промышленных и инфраструктурных объектов.

ДРСК обслуживает разветвленную сеть электроснабжения, включающую 735 подстанций различного класса напряжения, распределенных следующим образом:

Амурская область: 213 подстанций;

Приморский край: 277 подстанций;

Хабаровский край: 164 подстанций;

Еврейская автономная область: 47 подстанций;

Юг Якутии: 34 подстанций.

На рисунке 1.1 представлена часть карты подстанций Амурской области.

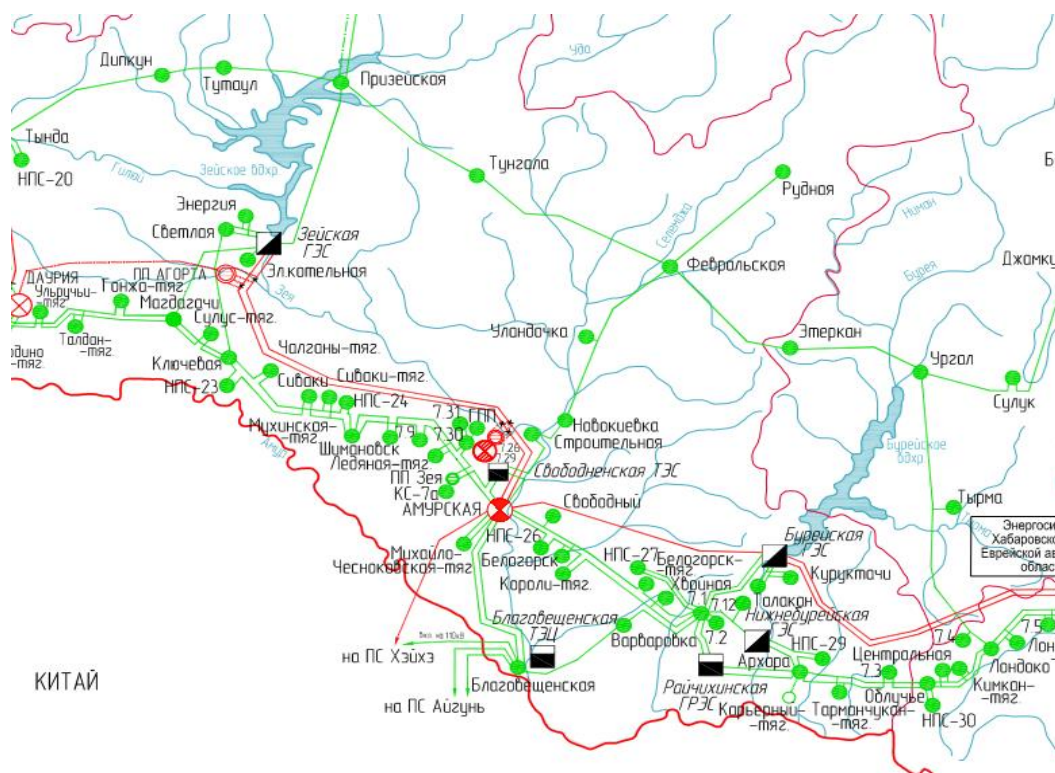


Рисунок 1.1 – Часть подстанций Амурской области и других регионов

Эти подстанции обеспечивают преобразование и распределение электроэнергии, а также защиту сети от аварийных ситуаций, таких как короткие замыкания или перегрузки. Каждая подстанция оснащена сложным оборудованием,

включая трансформаторы, распределительные устройства, системы защиты и автоматики, что требует регулярного мониторинга и обслуживания. Основной задачей ДРСК является поддержание надежности и стабильности энергоснабжения, что особенно важно в условиях сурового климата Дальнего Востока, где перебои в электроснабжении могут иметь серьезные социальные и экономические последствия.

Подстанции различаются по масштабу, функциональности и уровню автоматизации: крупные подстанции высокого напряжения (110, 220, 500 кВ) обслуживают промышленные районы и города, тогда как подстанции среднего и низкого напряжения (6-35 кВ) обеспечивают энергоснабжение сельских территорий и небольших населенных пунктов. Каждая подстанция представляет собой сложный технический комплекс, оснащенный трансформаторами, распределительными устройствами, системами релейной защиты, автоматики, телемеханики, охлаждения и пожаротушения, которые требуют регулярного мониторинга и обслуживания для поддержания их работоспособности.

Для повышения эффективности ДРСК активно внедряет современные технологии, такие как системы автоматизированного учета электроэнергии (АИИС КУЭ), телеметрии и диспетчерского управления, которые позволяют собирать данные о потреблении энергии и состоянии сети в реальном времени. Эти системы обеспечивают мониторинг ключевых параметров, таких как напряжение, ток и частота, и передают информацию в центральные диспетчерские пункты через промышленные протоколы, такие как Modbus или IEC 61850. Однако процессы сбора и обработки данных контрольных замеров, включающих параметры оборудования, остаются преимущественно ручными, особенно на подстанциях, не оснащенных автоматизированными системами. Инженеры фиксируют результаты измерений в бумажных журналах, после чего данные переносятся в электронные таблицы, такие как Microsoft Excel, для дальнейшей обработки и анализа. Этот процесс требует значительных временных затрат, особенно на крупных подстанциях, где количество параметров может достигать сотен, и увеличивает вероят-

ность ошибок, таких как неверный ввод значений, пропуск записей или дублирование данных.

Географическая распределенность подстанций создает дополнительные вызовы для организации процессов мониторинга. Многие объекты расположены в труднодоступных районах, таких как горные территории юга Якутии, сельские зоны Амурской области или отдаленные поселки Приморского края, где доступ инженеров ограничен из-за сложных климатических условий, плохой транспортной инфраструктуры или значительных расстояний до ближайших административных центров. Интернет-соединение в таких районах часто нестабильно или отсутствует, что затрудняет оперативную передачу данных в центральный офис. В результате инженерам приходится транспортировать бумажные журналы для последующей обработки, что замедляет анализ и принятие решений.

1.1.2 Контрольные замеры на подстанциях

Контрольные замеры на подстанциях АО «ДРСК» представляют собой систематический процесс мониторинга состояния оборудования и энергетической системы, направленный на обеспечение их надежной, безопасной и эффективной работы. Замеры охватывают широкий спектр параметров, включая электрические характеристики, такие как напряжение, ток, частота, мощность и сопротивление изоляции, а также физические показатели, такие как температура, давление, уровень масла и влажность. Визуальная оценка состояния оборудования дополняет процесс, позволяя выявить внешние дефекты, такие как коррозия, износ изоляции или механические повреждения. Собранные данные фиксируются для последующего анализа, чтобы своевременно выявлять неисправности, прогнозировать потенциальные сбои, предотвращать аварийные ситуации и оптимизировать эксплуатационные процессы.

Надежность подстанций является критически важным фактором, поскольку они обеспечивают энергоснабжение обширных территорий, включая промышленные предприятия, жилые районы и объекты социальной инфраструктуры, такие как больницы и школы. Контрольные замеры поддерживают стабильность сети, минимизируя риски отключений, которые могут иметь серьезные последствия,

особенно в условиях сурового климата Дальнего Востока. Кроме того, данные замеров используются для оптимизации энергопотребления, выявления потерь, таких как повышенная реактивная мощность, и определения необходимости внедрения компенсирующих устройств или модернизации оборудования. Этот процесс также играет ключевую роль в соблюдении нормативных требований, включая подготовку отчетов для Ростехнадзора и других регулирующих органов, а также в планировании профилактического обслуживания и капитального ремонта.

Основные цели контрольных замеров включают:

- Обеспечение надежности и безопасности сети путем своевременного выявления неисправностей, таких как перегрев оборудования, деградация изоляции или перегрузки, которые могут привести к аварийным ситуациям;
- Оптимизацию работы сети через анализ электрических параметров, включая коэффициент мощности и реактивную мощность, для повышения эффективности и снижения потерь;
- Прогнозирование отказов оборудования на основе анализа трендов и исторических данных для планирования профилактического обслуживания или замены устаревших компонентов;
- Соблюдение нормативных требований, включая документирование данных для отчетности, обеспечение соответствия стандартам эксплуатации электроустановок и поддержание безопасности персонала.

Процесс выполнения контрольных замеров начинается с подготовки, которая включает проверку исправности измерительных приборов, таких как вольтметры, амперметры, термометры, мегомметры и манометры, а также обеспечение безопасного доступа к оборудованию в соответствии с графиком проверок и требованиями техники безопасности. Измерения выполняются с использованием портативных устройств на подстанциях, не оснащенных автоматизированными системами, или стационарных датчиков, интегрированных в системы телемеханики, на современных подстанциях. Например, для контроля температуры масла трансформатора применяются контактные термометры, а для проверки сопротивления изоляции – мегомметры. Визуальные осмотры проводятся для оценки со-

стояния оборудования, включая проверку на наличие коррозии, утечек масла, износа изоляции или повреждений корпуса, с последующей фиксацией результатов в бумажных журналах.

После сбора данные переносятся в электронные таблицы, такие как Microsoft Excel, для дальнейшей обработки, анализа и подготовки отчетов. Этот процесс сопряжен с рядом проблем, обусловленных его ручным характером. Фиксация данных в журналах и их последующий ввод в таблицы занимают значительное время, особенно на крупных подстанциях, где количество параметров может достигать сотен. Высокая трудоемкость связана с необходимостью обработки большого объема информации, включая числовые значения, текстовые описания и временные метки, что требует от инженеров значительных усилий и внимания.

1.1.3 Типы оборудования и собираемые данные

Подстанции ДРСК оснащены разнообразным оборудованием, включая трансформаторы, распределительные устройства, линии электропередачи, генераторы, аккумуляторные батареи, системы защиты, автоматики, охлаждения, компенсации реактивной мощности и пожаротушения. Каждое устройство требует мониторинга специфических параметров для оценки его состояния и обеспечения безопасности сети.

Трансформаторы, преобразующие напряжение между уровнями (например, с 110 кВ на 10 кВ), являются ключевым элементом подстанций. Их мониторинг направлен на контроль теплового состояния и электрических характеристик для предотвращения перегрева, который может привести к выходу оборудования из строя, а также для оценки нагрузки и эффективности работы. Распределительные устройства, управляющие потоками электроэнергии, требуют проверки состояния выключателей, реле и электрических параметров для предотвращения перегрузок и коротких замыканий, которые могут нарушить энергоснабжение.

Линии электропередачи контролируются для оценки состояния изоляции и нагрузки, чтобы минимизировать риск пробоев и потерь энергии. Генераторы, используемые для резервного питания, требуют мониторинга электрических и теп-

ловых параметров для обеспечения их готовности к работе в аварийных ситуациях. Аккумуляторные батареи, обеспечивающие питание систем управления при отключении основного источника, проверяются для подтверждения их емкости и надежности. Системы релейной защиты и автоматики отслеживают сигналы тревоги и состояние реле, чтобы оперативно реагировать на нештатные ситуации, такие как короткие замыкания или перегрузки.

Системы телемеханики обеспечивают интеграцию данных с центральными диспетчерскими пунктами, поддерживая управление сетью и передачу информации через коммуникационные каналы. Системы охлаждения и вентиляции контролируются для поддержания оптимальных условий эксплуатации оборудования, предотвращая перегрев и износ. Конденсаторные установки и системы компенсации реактивной мощности отслеживают параметры, связанные с энергоэффективностью, чтобы минимизировать потери и оптимизировать работу сети. Системы пожаротушения требуют мониторинга датчиков и состояния оборудования для предотвращения возгораний, которые могут нанести значительный ущерб подстанции.

Эти данные играют ключевую роль в диагностике состояния оборудования, планировании обслуживания и оптимизации работы сети. Основные типы оборудования и собираемые данные представлены в таблице 1, в которой перечислены типы оборудования, данные которые с них получают и собираемые данные.

Таблица 1 – Типы оборудования и собираемые данные

Тип оборудования	Собираемые данные	Назначение данных
Трансформаторы	Температура масла, температура обмоток, уровень масла, напряжение (первичное и вторичное), ток, мощность, коэффициент трансформации	Контроль теплового состояния, проверка электрических характеристик, предотвращение перегрева
Распределительные устройства (РУ)	Состояние выключателей и разъединителей, токи и напряжения фаз, частота, мощность, коэффициент мощности	Обеспечение стабильной работы сети, выявление неисправностей

Продолжение таблицы 1

Линии электропередачи	Ток, напряжение, температура проводов, состояние изоляции	Мониторинг нагрузки, предотвращение пробоев изоляции
Генераторы	Выходное напряжение, ток, частота, температура обмоток, температура подшипников, уровень топлива, состояние системы охлаждения	Контроль работоспособности, предотвращение перегрева и механических поломок
Аккумуляторные батареи	Напряжение, температура, состояние заряда, ток заряда/разряда	Оценка емкости и готовности к аварийному питанию
Системы защиты и релейной защиты	Состояние реле, количество срабатываний, сигналы тревоги, наличие коротких замыканий или перегрузок	Обеспечение защиты сети от аварийных ситуаций
Системы автоматики и телемеханики	Состояние датчиков, сигналы управления, данные телеметрии, состояние коммуникационных каналов	Контроль автоматизированных процессов и связи
Системы охлаждения и вентиляции	Температура, влажность, состояние вентиляторов и насосов, давление в системе охлаждения	Поддержание оптимальных условий работы оборудования
Конденсаторные установки	Напряжение, ток, температура, реактивная мощность	Компенсация реактивной мощности
Системы компенсации реактивной мощности	Напряжение, ток, реактивная мощность, состояние компенсирующих устройств	Оптимизация работы сети, снижение потерь
Системы безопасности и пожаротушения	Состояние датчиков дыма и температуры	Обеспечение пожарной безопасности подстанции

Данные, собираемые с этого оборудования, включают числовые значения, такие как напряжение, ток, температура и давление, текстовые описания, такие как состояние реле или наличие дефектов, бинарные статусы, такие как исправность или неисправность, и временные метки, фиксирующие момент измерения.

Эти данные используются для диагностики состояния оборудования, планирования профилактического обслуживания, оптимизации работы сети и подготовки отчетов для регулирующих органов. Однако их обработка с использованием бумажных журналов и электронных таблиц затрудняет оперативный анализ, увеличивает риск ошибок и ограничивает возможности масштабирования. Это подчеркивает необходимость автоматизированного решения, которое обеспечит структурирование данных, их фильтрацию, визуализацию и экспорт, поддерживая эффективное управление информацией.

1.1.4 Методы сбора и обработки данных

Сбор данных на подстанциях ДРСК осуществляется через сочетание ручных и автоматизированных методов, каждый из которых имеет свои особенности и ограничения. Ручные измерения выполняются инженерами с использованием портативных измерительных приборов, таких как вольтметры, амперметры, термометры, мегомметры, манометры и анализаторы мощности. Эти приборы применяются для контроля электрических характеристик, таких как напряжение, ток, частота и сопротивление изоляции, а также физических параметров, включая температуру, давление и уровень масла. Визуальные осмотры дополняют процесс, позволяя оценить внешнее состояние оборудования, включая наличие коррозии, утечек масла, износа изоляции или механических повреждений. Результаты измерений и осмотров фиксируются в бумажных журналах, которые служат первичным носителем информации.

На подстанциях, оснащенных современными системами автоматизации, используются стационарные датчики и системы телемеханики, которые автоматически собирают данные о ключевых параметрах, таких как напряжение, ток, частота, температура и давление, и передают их в центральные системы управления через промышленные протоколы, такие как Modbus, OPC UA или IEC 61850. Эти системы обеспечивают мониторинг в реальном времени, позволяя фиксировать изменения параметров с высокой частотой, что повышает оперативность выявления проблем. Например, датчики, установленные на трансформаторах, могут передавать данные о температуре масла каждые несколько секунд, обеспечивая не-

прерывный контроль состояния оборудования. Однако значительная часть подстанций ДРСК, особенно в удаленных или сельских районах, не оснащена такими системами из-за высокой стоимости модернизации, ограничений инфраструктуры или устаревшего оборудования, что делает ручные методы основным способом сбора данных.

Ручной сбор данных сопряжен с рядом проблем. Процесс фиксации результатов в журналах требует от инженеров высокой концентрации и занимает значительное время, особенно на крупных подстанциях, где количество параметров может достигать сотен. Например, замеры на подстанции с 10 трансформаторами и 10 распределительными устройствами могут включать измерение температуры, напряжения, тока, состояния реле и других параметров, что требует нескольких часов работы. Перенос данных из журналов в электронные таблицы, такие как Microsoft Excel, является дополнительным этапом, который увеличивает трудозатраты и вероятность ошибок. Ошибки при вводе, такие как неверные значения, пропуски записей или дублирование данных, могут привести к некорректным выводам и задержкам в выявлении проблем.

Автоматизированный сбор данных, хотя и более эффективен, также имеет ограничения. Системы телемеханики и SCADA собирают данные только с оборудования, оснащенного датчиками, и не охватывают параметры, требующие ручных измерений, такие как визуальное состояние изоляции или результаты осмотров. Кроме того, устаревшее оборудование, характерное для многих подстанций ДРСК, не поддерживает современные протоколы связи, что ограничивает возможности автоматизации. Например, трансформаторы советского производства, используемые на некоторых подстанциях, не оснащены датчиками, совместимыми с системами SCADA, что требует ручного измерения параметров, таких как температура или уровень масла.

Обработка собранных данных включает несколько этапов, направленных на обеспечение их точности, структурированности и пригодности для анализа. На первом этапе данные очищаются от шумов и аномалий, которые могут быть вызваны погрешностями измерительных приборов, электромагнитными помехами

или ошибками оператора. Например, значения, выходящие за пределы допустимых диапазонов, определенных стандартами эксплуатации, фильтруются для исключения некорректных записей. Затем данные калибруются с учетом характеристик приборов, чтобы повысить их точность, что особенно важно для параметров, таких как сопротивление изоляции или температура, где даже небольшие отклонения могут указывать на проблемы.

После очистки и калибровки данные анализируются для выявления трендов и аномалий, которые могут сигнализировать о неисправностях или необходимости обслуживания. Этот этап включает расчет производных показателей, таких как коэффициент мощности или реактивная мощность, а также сопоставление текущих данных с историческими для выявления изменений, таких как постепенное повышение температуры или снижение уровня масла. Визуализация данных, включая построение графиков зависимости параметров от времени или таблиц с агрегированными значениями, используется для упрощения интерпретации результатов и поддержки принятия решений. Наконец, данные агрегируются и экспортируются в структурированные форматы, такие как CSV или Excel, для передачи руководству, интеграции с другими системами, такими как ERP или SCADA, и архивирования в соответствии с нормативными требованиями, которые предписывают хранение данных в течение 4 лет.

Традиционные методы обработки, основанные на бумажных журналах и электронных таблицах, имеют существенные недостатки. Фиксация данных в журналах и их перенос в таблицы требуют значительных временных затрат, особенно на крупных подстанциях, где количество параметров исчисляется сотнями. Ошибки при вводе, такие как неверные значения, пропуски записей или дублирование данных, являются распространенной проблемой, которая может привести к некорректным выводам и задержкам в выявлении проблем. Электронные таблицы, такие как Excel, не предоставляют инструментов для сложной обработки данных, таких как автоматическая фильтрация аномалий, построение динамических трендов или прогнозирование отказов, что ограничивает возможности анализа.

Поиск данных по конкретному оборудованию или параметру требует ручного просмотра таблиц, что замедляет процесс принятия решений.

Отсутствие интеграции между ручными и автоматизированными данными создает дополнительные сложности. Данные телеметрии, поступающие в системы SCADA, хранятся отдельно от ручных замеров, что затрудняет их сопоставление и комплексный анализ состояния оборудования. Например, информация о токе, полученная через телеметрию, не связана с данными о температуре, зафиксированными вручную, что ограничивает возможности диагностики причин неисправностей. Кроме того, отсутствие единой базы данных приводит к разрозненности информации, что усложняет управление и отчетность.

Географическая распределенность подстанций ДРСК усугубляет проблему обработки данных. Многие подстанции расположены в удаленных районах, где отсутствует стабильное интернет-соединение, что делает невозможной оперативную передачу данных в центральный офис. Инженеры вынуждены транспортировать бумажные журналы для последующей обработки, что может занимать дни или недели, особенно в условиях сложной транспортной инфраструктуры или неблагоприятных погодных условий. Это замедляет анализ данных, принятие решений и подготовку отчетов, необходимых для регулирующих органов.

Еще одним важным аспектом является соблюдение нормативных требований к обработке данных. Ростехнадзор и Министерство энергетики РФ устанавливают строгие стандарты для документирования данных, включая формат отчетов, точность измерений и сроки их предоставления. Например, данные о замерах должны включать идентификаторы, значения параметров, единицы измерения, временные метки и подписи ответственных лиц, что требует высокой степени организации и контроля. Текущие ручные методы усложняют выполнение этих требований, так как они увеличивают вероятность ошибок и задержек в подготовке документации.

1.1.5 Особенности и требования к обработке и хранению данных

Данные контрольных замеров на подстанциях АО «ДРСК» представляют собой многогранный массив информации, необходимый для мониторинга энерге-

тической инфраструктуры, обеспечения надежности сети и соблюдения нормативных требований. Они характеризуются значительным объемом, разнородностью типов, различной частотой сбора, высокой конфиденциальностью и строгими требованиями к обработке и хранению, что обусловлено масштабом сети и разнообразием параметров.

Объем данных определяется количеством подстанций и контролируемых параметров. Сеть из 735 подстанций генерирует десятки тысяч записей ежедневно, включая числовые показатели, текстовые описания и статусы. Крупные подстанции производят сотни параметров в день, тогда как небольшие – десятки. Масштабируемость данных требует гибкой организации, чтобы поддерживать рост сети или добавление новых параметров без потери целостности.

Типы данных включают:

- Количественные параметры, такие как напряжение, ток, частота, температура или давление, требующие высокой точности в соответствии с ГОСТ 32144-2013 и ПУЭ;
- Качественные характеристики, такие как «исправно» или «обнаружен дефект», используемые для документирования проверок;
- Двоичные показатели, такие как «проверка завершена/не завершена», для быстрой оценки состояния;
- Хронологическая привязка в формате ISO 8601, обеспечивающая отслеживание динамики и отчетность.

Частота сбора варьируется: электрические параметры собираются в реальном времени через телемеханику, физические – ежедневно, визуальные проверки – еженедельно или ежемесячно. Это требует координации процессов для обеспечения актуальности информации.

1.2 Анализ существующих решений

Для решения задач сбора и обработки данных контрольных замеров на подстанциях разработаны различные программные продукты, однако их функциональность и применимость к специфическим условиям эксплуатации подстанций АО «ДРСК» ограничены. В данном разделе рассматриваются два типовых реше-

ния: SIMATIC WinCC OA UI и «Энергосфера 8.1» – с детальным анализом их возможностей, преимуществ, недостатков и соответствия задачам ДРСК. На основе этого анализа определяются ключевые ограничения существующих решений, которые необходимо учитывать при разработке нового программного продукта.

1.2.1 SIMATIC WinCC OA UI

Программный продукт, разработанный компанией Siemens AG, представляет собой систему визуализации и управления, интегрированную с технологиями SCADA. Система предназначена для мониторинга и контроля сложных промышленных процессов, включая энергетические системы, промышленное производство и транспортную инфраструктуру. В электроэнергетике SIMATIC WinCC OA UI применяется для автоматизации процессов управления, сбора данных в реальном времени, визуализации параметров и управления оборудованием, обеспечивая высокую степень интеграции и аналитические возможности.

SIMATIC WinCC OA UI поддерживает автоматический сбор данных с датчиков и устройств через широкий спектр промышленных протоколов, таких как Modbus, OPC UA, IEC 61850 и Profibus. Это позволяет собирать информацию о ключевых параметрах, таких как напряжение, ток, частота, мощность и температура, с высокой частотой и точностью, обеспечивая непрерывный мониторинг состояния сети. Система предоставляет инструменты визуализации, включая динамические графики, дашборды, тепловые карты и мнемосхемы, которые позволяют операторам наглядно отслеживать состояние оборудования и сети в реальном времени.

Аналитические возможности этого приложения включают прогнозирование отказов на основе исторических данных, анализ трендов энергопотребления, статистическую обработку параметров и выявление аномалий. Например, система может анализировать изменения температуры трансформатора за несколько месяцев, чтобы предсказать потенциальный перегрев, или сопоставлять данные о нагрузке с историческими значениями для оптимизации распределения энергии. Система также поддерживает интеграцию с другими SCADA-системами, ERP-

платформами и промышленными базами данных, что обеспечивает централизованное управление данными и их использование в различных процессах.

SIMATIC WinCC OA UI обладает высокой масштабируемостью, позволяя управлять крупными сетями с тысячами устройств, и проверенной надежностью, подтвержденной применением в международных энергетических проектах, таких как управление электросетями в Европе и Азии. Система поддерживает настройку под специфические требования, включая адаптацию к различным типам оборудования и промышленным стандартам, что делает её универсальным решением для сложных инфраструктурных задач. На рисунке 1.2 изображен функционал приложения WinCC OA UI, в котором показаны аналитические возможности, такие как прогнозирование отказов, анализ трендов и статистическая обработка данных.

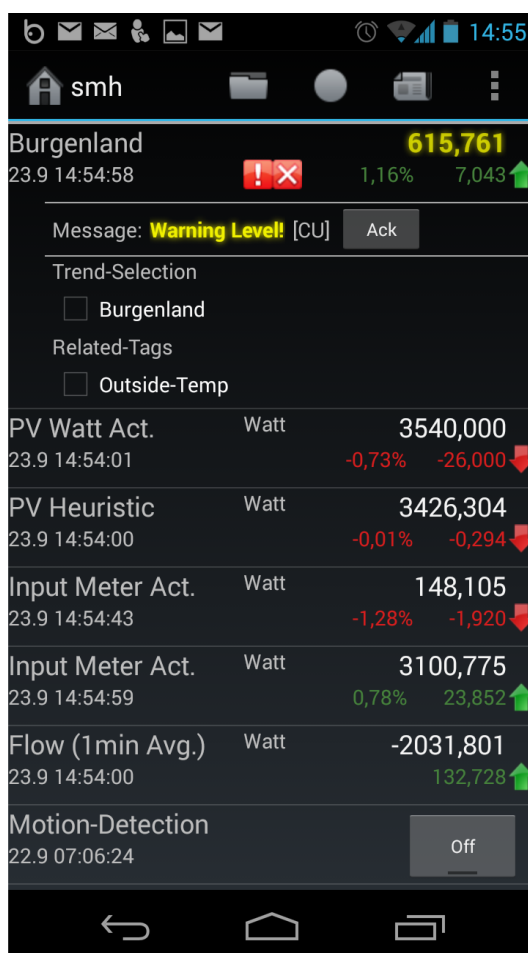


Рисунок 1.2 – Пример функционала приложения WinCC OA UI

SIMATIC обладает рядом сильных сторон, делающих её привлекательной для автоматизации энергетических процессов. Система минимизирует участие операторов за счет автоматического сбора и обработки данных, что снижает трудозатраты и вероятность ошибок, обеспечивая высокую эффективность мониторинга. Гибкость системы обеспечивает адаптацию к различным типам оборудования и промышленным стандартам, включая поддержку современных трансформаторов, распределительных устройств и систем защиты, что делает её универсальной для сложных инфраструктур. Поддержка стандартных протоколов связи и интеграция с другими платформами упрощают подключение к существующей инфраструктуре, обеспечивая централизованное управление данными. Проверенная репутация и успешное применение в критически важных проектах гарантируют высокую устойчивость к сбоям, что особенно важно для энергетических систем.

Однако SIMATIC WinCC OA UI имеет значительные недостатки для задач ДРСК. Система ориентирована исключительно на автоматизированный сбор данных с датчиков и не предоставляет интерфейса для ручного ввода измерений, выполненных инженерами с использованием портативных приборов, таких как термометры, мегомметры или вольтметры, что критично, поскольку значительная часть замеров на подстанциях ДРСК выполняется вручную из-за отсутствия систем телемеханики. Оборудование советского производства, используемое на многих подстанциях компании, не поддерживает современные протоколы связи, такие как Modbus или IEC 61850, а его интеграция с системой потребовала бы дорогостоящей модернизации или разработки специализированных адаптеров, увеличивая затраты и сроки внедрения. Высокая стоимость лицензий, оборудования, включая серверы, датчики и коммуникационные модули, а также услуг по внедрению, настройке и обучению персонала делает систему финансово недоступной для региональной компании, обслуживающей 735 подстанций. Настройка системы требует высокой квалификации специалистов, что может привести к зависимости от внешних подрядчиков и дополнительным расходам на обучение. Формат работы на стационарных рабочих станциях в диспетчерских центрах ограничивает оперативность инженеров, которым необходимо вводить данные на подстанции.

ях, часто без интернет-соединения. Отсутствие функций, таких как подсветка оборудования с введенными данными или отображение статуса проверки, снижает удобство для полевых задач, где ручные процессы преобладают.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что SIMATIC WinCC OA UI не соответствует задачам ДРСК из-за отсутствия поддержки ручного ввода данных, сложностей интеграции с устаревшим оборудованием, высокой стоимости, стационарного формата и ограниченной визуализации для ручных процессов. Хотя система обладает неплохими аналитическими возможностями и высокой степенью автоматизации, её ориентированность на автоматизированный сбор данных и стационарное использование делает её неподходящей для текущих процессов ДРСК, где ручные замеры и работа в полевых условиях играют ключевую роль.

1.2.2 Программный комплекс «Энергосфера 8.1»

Программный комплекс, разработанный в России, предназначен для автоматизированного учета электроэнергии и сбора данных с приборов учета, таких как счетчики и датчики. Система применяется в жилищно-коммунальном хозяйстве, энергокомпаниях и на промышленных предприятиях для контроля энергопотребления, расчета тарифов, анализа потерь и подготовки отчетов. В отличие от SIMATIC WinCC OA UI, «Энергосфера 8.1» поддерживает ручной ввод данных, что делает её потенциально применимой для задач ДРСК, где инженеры часто фиксируют замеры вручную. Комплекс также предоставляет функции обработки данных и экспорта в структурированные форматы, что упрощает отчетность и интеграцию с офисными приложениями.

«Энергосфера 8.1» поддерживает сбор данных с приборов учета через интерфейсы, такие как RS-485, Ethernet или USB, а также ручной ввод измерений с возможностью их корректировки в пользовательском интерфейсе. Система позволяет формировать отчеты о энергопотреблении, потерях и тарифах, которые экспортируются в стандартные форматы, такие как Excel, для передачи регулирующим органам или использования во внутренних процессах. Комплекс адаптирован к российским стандартам учета электроэнергии, установленным Ростехнадзором

и Министерством энергетики, включая требования к формату отчетов, точности данных и срокам их предоставления.

Комплекс поддерживает так же локальное хранение данных в базах данных, что снижает зависимость от интернет-соединения и делает систему подходящей для регионов с ограниченной инфраструктурой, таких как удаленные районы Дальнего Востока. Система предоставляет базовые инструменты визуализации, включая таблицы и простые графики, которые позволяют отображать данные о потреблении энергии, потерях и других параметрах. Кроме того, комплекс включает функции расчета тарифов, анализа потерь и учета электроэнергии для крупных потребителей, что делает его универсальным решением для задач учета.

На рисунке 1.3 представлен функционал «Энергосфера 8.1», версии на персональных компьютерах.

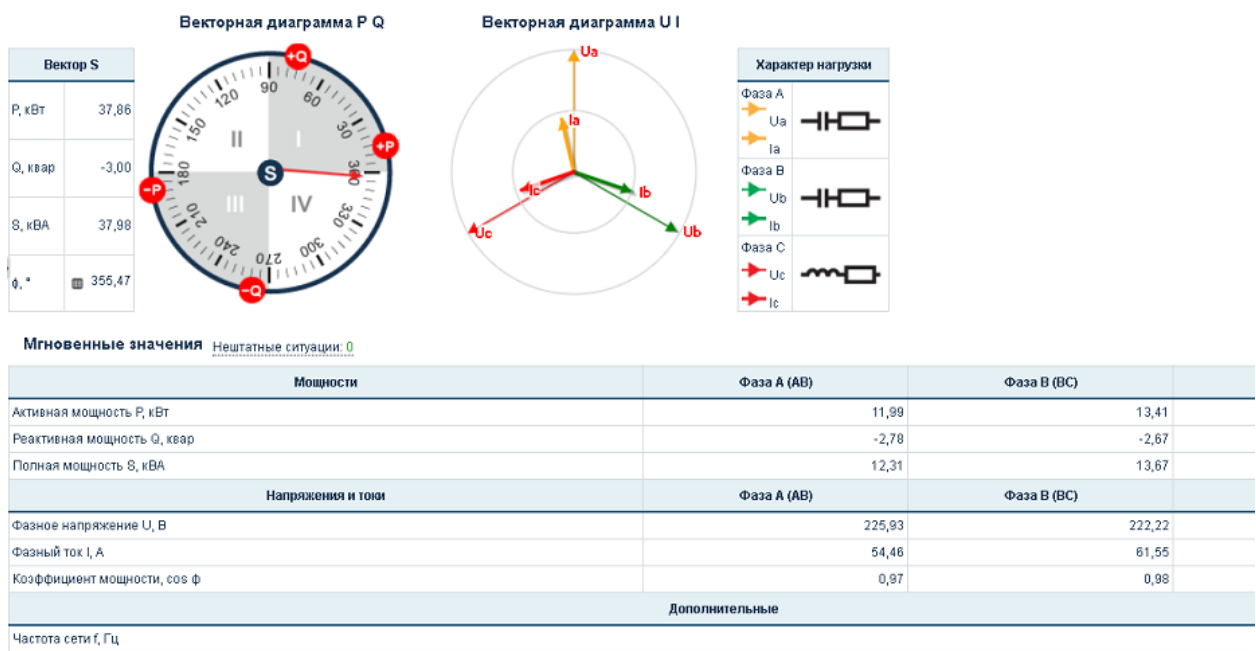


Рисунок 3 – Пример функционала Энергосфера 8.1

«Энергосфера 8.1» обладает рядом достоинств, которые делают её частично подходящей для задач ДРСК. Разработка с учетом нормативных требований Ростехнадзора и Министерства энергетики РФ обеспечивает соответствие российским стандартам, упрощая внедрение в отечественных компаниях и подготовку

отчетности. Возможность ручного ввода измерений позволяет использовать систему в условиях, где автоматизированные системы отсутствуют, что соответствует процессам ДРСК, где ручные замеры составляют основу мониторинга. По сравнению с зарубежным аналогом, система требует меньших финансовых вложений на лицензии, внедрение и обучение персонала, что делает её доступной для региональных компаний с ограниченным бюджетом. Экспорт данных в форматы CSV и Excel упрощает подготовку документации для регулирующих органов и внутреннего учета, обеспечивая совместимость с офисными приложениями. Поддержка автономной работы без постоянного интернет-соединения делает систему подходящей для подстанций в удаленных районах Дальнего Востока, где связь часто нестабильна или отсутствует.

Однако «Энергосфера 8.1» имеет так же и свои минусы для задач ДРСК. Система ориентирована на учет электроэнергии, фиксируя показания счетчиков и рассчитывая энергопотребление, а не на мониторинг технических параметров оборудования подстанций, таких как температура масла трансформатора, состояние релейной защиты или давление в системе охлаждения, что делает её непригодной для контроля 11 типов оборудования, используемых на подстанциях ДРСК. Визуализация данных ограничена базовыми таблицами и простыми графиками, которые не поддерживают динамические функции, такие как подсветка оборудования с введенными данными или отображение статуса проверки, снижая удобство для инженеров, которым необходимо быстро оценить прогресс замеров. Отсутствие инструментов для прогнозирования отказов, анализа трендов или статистической обработки данных ограничивает возможности системы в предотвращении аварий, так как её аналитические функции сосредоточены на расчете энергопотребления и потерь, не соответствующих задачам мониторинга оборудования. Избыточный функционал, связанный со сложными алгоритмами расчета тарифов или учетом электроэнергии для крупных потребителей, усложняет интерфейс и увеличивает время на обучение персонала, не принося пользы для задач ДРСК. Адаптация системы к специфическим требованиям подстанций, включая учет параметров различных типов оборудования или интеграцию с устаревшими

системами, потребовала бы значительных доработок, что увеличило бы затраты и сроки внедрения.

Учитывая достоинства и ограничения можно сделать вывод, что «Энергосфера 8.1» не удовлетворяет требованиям ДРСК из-за своей ориентации на учет электроэнергии, ограниченных возможностей визуализации и анализа, а также избыточного функционала, который усложняет использование. Хотя система поддерживает ручной ввод данных и адаптирована к российским стандартам, она не способна эффективно решать задачи мониторинга оборудования подстанций и обеспечения оперативности работы инженеров в полевых условиях. Частичное соответствие задачам ДРСК, связанное с поддержкой ручного ввода и низкой стоимостью, не компенсирует её ограничений в контексте мониторинга оборудования и работы в удаленных районах.

1.3 Постановка задачи

На основе проведенного анализа существующих решений составлен список основных функций, которые должны быть у пользовательского решения для автоматизации процессов обработки данных контрольных замеров на подстанциях АО «Дальневосточная распределительная сетевая компания» (ДРСК):

- Поддержка двух ролей пользователей: администратор и инженер, с доступом к функционалу через окно авторизации на основе учетных данных;
- Для администратора: возможность добавления и удаления пользователей с указанием их учетных данных и роли;
- Для администратора: возможность добавления и удаления подстанций в одном из пяти регионов с указанием их характеристик;
- Для администратора: возможность добавления и удаления оборудования на выбранной подстанции с указанием типа, модели и уникального идентификационного номера;
- Для инженера: последовательный выбор региона из списка и подстанции, относящейся к выбранному региону;

- Для инженера: выбор типа оборудования и конкретной модели оборудования с уникальным идентификационным номером из списка объектов на выбранной подстанции;

- Для инженера: ввод данных контрольных замеров для выбранного оборудования, включая числовые показатели, текстовые описания и бинарные статусы, с учетом требуемых параметров и единиц измерения;

- Для инженера: возможность формирования отчета, содержащего все введенные данные замеров для всех моделей и типов оборудования на подстанции, с сохранением в формате .csv;

- Для инженера: возможность отправки сформированного отчета на указанный адрес электронной почты в формате .csv при наличии интернет-соединения или сохранения на устройстве для последующей отправки;

- Автоматическое сохранение введенных параметров в локальном хранилище приложения при его закрытии (например, из-за сбоя или разрядки устройства) для предотвращения потери данных и возможности продолжения работы.

На основании функциональных требований было составлено техническое задание, приведённое в приложении А.

2 АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ И ПРОГРАМНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ПРИЛОЖЕНИЯ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ КОНТРОЛЬНЫХ ЗАМЕРОВ

2.1 Предлагаемый алгоритм решения задачи

Для реализации мобильного приложения, автоматизирующего сбор, обработку и хранение данных контрольных замеров на подстанциях ДРСК, разработан алгоритм, охватывающий все этапы взаимодействия пользователя с системой. Алгоритм учитывает специфику предметной области, описанную в предыдущей главе, включая географическую распределенность подстанций, разнообразие типов оборудования (11 типов) и необходимость работы в автономном режиме. Основная цель – обеспечить структурированный процесс управления данными, минимизировать вероятность ошибок и поддерживать надежность отправки информации.

2.1.1 Авторизация пользователя

При запуске приложения пользователь попадает на экран авторизации, где ему необходимо ввести логин и пароль. Экран включает текстовые поля для ввода данных, кнопку «Войти» и область для отображения сообщений об ошибках. Система загружает данные из локального файла `users.csv`, содержащего записи с полями: идентификатор, логин, пароль, имя, фамилия, отчество и флаг администратора (`IsAdmin`). Введённые данные сравниваются с записями в файле, причём логин проверяется без учёта пробелов, а пароль – с учётом регистра символов. Для предотвращения подбора пароля реализовано ограничение на количество попыток ввода, например, три попытки. Если данные корректны, тогда система начинает определять роль пользователя. При установленном флаге `IsAdmin` пользователь перенаправляется на экран меню администратора, в ином случае, если введённые логин и пароль есть в базе данных, на экран выбора региона для инженера. При некорректных данных отображается сообщение, например, «Неверный логин или пароль». Схема авторизации пользователя представлена на рисунке Б.1 в приложении Б.

2.1.2 Функционал администратора

Администратор работает в интерфейсе AdminMenuScene, который разделён на три основных раздела: «Сотрудники», «Подстанции» и «Модели», каждый из которых реализован как отдельная сцена в Unity для удобства навигации. В разделе «Сотрудники» (AdminUserScene) администратор может просматривать список всех пользователей, загружаемый из файла users.csv и отображаемый в компоненте ScrollView. Для добавления нового пользователя администратор вводит ФИО, логин, пароль и выбирает роль (администратор или инженер), при этом новый идентификатор генерируется автоматически как максимальный существующий плюс один. Удаление пользователя осуществляется путём выбора записи и подтверждения действия, после чего строка удаляется из файла users.csv. Система проверяет уникальность логина и требует, чтобы пароль содержал не менее четырёх символов.

В разделе «Подстанции» (AdminSubstationScene) администратор управляет списком подстанций, загружаемым из файла substations.csv, который содержит поля: ID, название, ID региона и ID класса напряжения. Для добавления новой подстанции администратор вводит её название, выбирает регион из файла regions.csv (содержащего пять регионов) и указывает класс напряжения, например, 35/10 кВ. Новый ID подстанции генерируется автоматически. Удаление подстанции возможно только после проверки, что она не связана с оборудованием в файле models.csv, чтобы обеспечить целостность данных. Примером может служить подстанция с ID = 735, названием «ПС 110/35 кВ Возжаевка», регионом = 1 (Амурская область) и классом напряжения = 110 кВ.

В разделе «Модели» (AdminModelScene) администратор управляет оборудованием, данные о котором загружаются из файла models.csv с полями: ID, название, серийный номер, ID подстанции и ID типа оборудования. Типы оборудования берутся из файла equipment.csv. Для добавления нового оборудования администратор выбирает подстанцию, тип (например, трансформатор), вводит название модели и уникальный серийный номер, после чего данные записываются в models.csv. Удаление оборудования осуществляется путём выбора записи и под-

тверждения действия. Схема функционала роли администратора представлена на рисунке В.1 в приложении В.

2.1.3 Функционал инженера

Работа инженера начинается с выбора региона и подстанции. После авторизации инженер попадает на экран `RegionSelectionScene`, где отображается список из пяти регионов, загружаемых из файла `regions.csv`. Выбранный регион сохраняется в `PlayerPrefs` для последующего использования. Затем инженер переходит на экран `SubstationSelectionScene`, где отображается список подстанций, отфильтрованный по ID выбранного региона из файла `substations.csv`. Для удобства предусмотрен поиск по названию с использованием алгоритма частичного соответствия, например, ввод «Амур» позволяет найти подстанцию «Амурсельмаш». При выборе региона «Амурская область» ($ID = 1$) отображается список из 213 подстанций.

После выбора подстанции инженер переходит на экран `EquipmentTypeSelectionScene`, где представлен список из одиннадцати типов оборудования, загружаемых из файла `equipment.csv`, таких как трансформаторы или распределительные устройства. Типы, для которых уже введены данные, подсвечиваются оранжевым цветом, что отражает их статус, хранящийся в файле `measurements.csv`. Далее, в сцене `EquipmentModelSelectionScene`, инженер выбирает конкретную модель оборудования, связанную с выбранной подстанцией и типом, из файла `models.csv`. Поиск моделей поддерживает частичное соответствие по названию или серийному номеру, например, выбор типа «Трансформаторы» на подстанции «ПС 35/10 кВ Амурсельмаш» отображает модель «ТРДНС-35» с серийным номером 1594510722.

На следующем этапе инженер переходит на экран `DataInputScene`, где генерируется динамическая форма ввода данных, зависящая от типа оборудования. Например, для трансформаторов форма включает поля для температуры масла ($^{\circ}\text{C}$), первичного напряжения (В), тока (А), текстовых описаний (например, «Изоляция в норме») и бинарных статусов (например, «Исправно»). Введённые данные проверяются на соответствие допустимым диапазонам, например, температура

масла должна быть в пределах $(0-100)^{\circ}\text{C}$. При нажатии кнопки «Сохранить» данные записываются в файл `measurements.csv` с полями: ID, ID модели, параметры, временная метка и комментарий инженера. Для предотвращения потери данных каждое поле ввода автоматически сохраняется в `PlayerPrefs` при изменении, что позволяет восстановить данные в случае сбоя или закрытия приложения. Например, если инженер ввёл температуру масла 45°C , но приложение было закрыто, при следующем запуске это значение будет восстановлено.

После ввода данных для всех моделей на подстанции инженер переходит на экран `ReportScene`, где формируется отчёт в формате CSV, включающий все записи из `measurements.csv` для выбранной подстанции с полями: ID подстанции, ID модели, параметры, временная метка и комментарий инженера. Пользователь может указать адрес электронной почты (по умолчанию `drsk.dfo@mail.ru`) и добавить комментарий, например, «Замеры завершены». Отчёт сохраняется в папку «Загрузки» под именем `Report.csv`. При наличии интернет-соединения отчёт отправляется через SMTP-клиент (сервер `smtp.yandex.com`, порт 587) с адреса `drsk.dfo@yandex.ru`. В офлайн-режиме отчёт сохраняется локально для последующей отправки при восстановлении соединения. Схема функционала роли инженера представлена на рисунке Г.1 в приложении Г.

2.1.4 Функциональные требования

Функциональные требования определяют ключевые возможности приложения, необходимые для автоматизации контрольных замеров на подстанциях ДРСК. Основная задача – обеспечить поддержку двух ролей пользователей: администратора, управляющего данными системы, и инженера, выполняющего замеры и формирующего отчеты. Эти требования вытекают из специфики предметной области, включая географическую распределенность всех подстанций, 11 типов оборудования и необходимость автономной работы в удаленных районах.

Для администратора приложение должно предоставить инструменты управления данными, включая просмотр, добавление и удаление записей о пользователях, подстанциях и оборудовании. Планируется, что администратор сможет просматривать список пользователей с их именами, логинами и ролями, добавлять

новых пользователей с проверкой уникальности логина и удалять их с подтверждением. Управление подстанциями позволит работать с данными о 735 объектах, включая их названия, регионы и классы напряжения, с возможностью добавления новых подстанций и удаления с учетом связей с оборудованием. Управление оборудованием охватит просмотр и редактирование моделей, включая их названия, серийные номера и типы, с проверкой уникальности номеров. Планируется, что интерфейсы этих функций будут интуитивными, с поддержкой поиска и фильтрации для упрощения работы с большими объемами данных.

Для инженера приложение должно обеспечить последовательный процесс ввода данных замеров. Планируется, что инженер начнет с выбора региона из пяти зон ДРСК, затем выберет подстанцию из отфильтрованного списка с поддержкой поиска. Далее будет выбран тип оборудования, за которым последует выбор модели с возможностью поиска по названию или номеру. На этапе ввода данных динамическая форма, адаптированная к типу оборудования, позволит вводить параметры (например, температура, напряжение) и комментарии, с проверкой диапазонов для исключения ошибок. Планируется, что данные будут сохраняться локально, с автоматическим сохранением для предотвращения потерь.

Формирование отчетов станет завершающим этапом для инженера. Планируется, что приложение создаст CSV-отчет с данными о подстанции, оборудовании, параметрах и комментариях, сохраняя его локально и отправляя по email при наличии интернета. Пользователь сможет указать адрес и добавить комментарий, а в оффлайн-режиме отчет сохранится для последующей отправки. Планируется, что эти функции обеспечат точность и структурированность отчетности, соответствующей стандартам ДРСК.

Авторизация станет обязательным этапом для обеих ролей, обеспечивая безопасность доступа. Планируется, что пользователь введет логин и пароль, а система проверит данные, перенаправляя на соответствующий экран. Эти требования создают основу для функциональности, обеспечивая автоматизацию процессов и повышение эффективности работы.

2.1.5 Нефункциональные требования

Нефункциональные требования определяют качественные характеристики приложения, обеспечивающие его надежность, производительность и удобство в условиях эксплуатации на подстанциях ДРСК. Эти требования учитывают географическую распределенность, автономность и нормативные стандарты, чтобы приложение соответствовало задачам компании.

Надежность является приоритетом, учитывая критичность данных замеров для эксплуатации подстанций. Планируется, что приложение будет устойчиво к сбоям, автоматически сохраняя данные при каждом изменении и создавая резервные копии файлов. При повреждении файлов система загрузит резервную копию, минимизируя риск потери данных. Планируется, что временные данные, такие как частично заполненные формы, будут сохраняться в памяти устройства, позволяя восстановить состояние после сбоев.

Автономность критически важна для работы в удаленных районах без интернета. Планируется, что все функции, кроме отправки отчетов, будут доступны оффлайн, с локальным хранением данных в CSV-файлах. Отчеты, созданные в оффлайн-режиме, будут сохраняться и отправляться при восстановлении связи, обеспечивая непрерывность работы.

Производительность приложения должна поддерживать быструю работу на устройствах с различными характеристиками. Планируется кэширование данных в памяти для ускорения загрузки списков подстанций и оборудования, асинхронная обработка файлов для исключения задержек и оптимизация поиска (ограничение результатов) для устройств с низкой производительностью.

Удобство использования обеспечит интуитивность для пользователей с разным уровнем подготовки. Планируется, что интерфейсы будут минималистичными, с крупными элементами, четкими подписями и логичной навигацией. Планируется соответствие эргономическим стандартам, включая контрастность и размер шрифта.

2.2 Обоснование выбора программно-технического обеспечения

На этапе проектирования приложения выбор программно-технического обеспечения основан на анализе функциональных требований, опыта разработчика и необходимости обеспечения кроссплатформенной поддержки для Android и iOS. Планируется использование Unity как среды разработки, языка программирования C#, Visual Studio как интегрированной среды разработки, а также специализированных библиотек для реализации пользовательского интерфейса, обработки данных и сетевых функций. Дополнительно рассматриваются инструменты тестирования и подходы к соблюдению нормативных требований.

2.2.1 Сравнение альтернативных решений

Для выбора оптимального программно-технического решения были рассмотрены три подхода к разработке: Android Studio, Xcode и Unity. Каждый подход проанализирован с учетом его преимуществ, недостатков и соответствия требованиям проекта, чтобы обеспечить эффективную разработку, кроссплатформенную совместимость, использование опыта разработчика и реализацию необходимой функциональности.

Android Studio предполагал разработку приложения для Android на языках Kotlin или Java. Этот метод обеспечивает высокую производительность на устройствах Android, доступ к нативным API, инструменты для создания адаптивных пользовательских интерфейсов и интеграцию с сервисами Google. Однако он требует отдельной разработки для iOS, что значительно увеличивает затраты времени и усилий. Отсутствие кроссплатформенности вынуждает поддерживать две независимые кодовые базы, усложняя синхронизацию и обновление приложения. В итоге Android Studio был признан неэффективным из-за необходимости поддержки iOS, что увеличило бы сложность и продолжительность разработки. На рисунке 2.4 изображён логотип программной среды Android Studio.

Android Studio



Рисунок 2.4 – Логотип Android Studio

Xcode предусматривал создание приложения для iOS на языке Swift. Этот метод обеспечивает высокую оптимизацию для устройств Apple, тесную интеграцию с экосистемой iOS, удобный интерфейс Xcode для проектирования пользовательских интерфейсов и поддержку современных функций, таких как ARKit. Однако, как и в случае с Android Studio, он требует отдельной разработки для Android, что удваивает трудозатраты. Отсутствие кроссплатформенности делает невозможным использование единого кода для устройств ДРСК, работающих на Android. В результате Xcode был отклонен из-за ограниченной поддержки платформ, что повторяет проблемы Android Studio. На рисунке 2.5 изображён логотип программной среды Xcode.



Рисунок 2.5 – Логотип Xcode

Последний заключался в использовании игрового движка Unity, адаптированного для неигровых приложений, с языком программирования C#. Unity позволяет создавать единый код, развертываемый на Android и iOS, что значительно сокращает время разработки и упрощает сопровождение. Знакомство разработчика с C# дает возможность сосредоточиться на реализации функциональности, а не на изучении новых инструментов. Визуальный редактор Unity ускоряет проектирование интерфейсов, а активное сообщество и обширная документация обеспечивают надежную поддержку. Этот подход соответствует требованиям автономности проекта благодаря простой интеграции с локальными хранилищами данных, такими как CSV-файлы. Однако некоторые функции игрового движка, например физические симуляции, избыточны для неигрового приложения и могут увеличить размер приложения. Кроме того, Unity менее оптимизирован для специфичных API платформ по сравнению с нативными инструментами, такими как Android Studio или Xcode. Несмотря на эти недостатки, Unity был выбран благодаря опыту работы со средой, минимизирующему время на обучение, и кроссплатформенным возможностям, упрощающим разработку и развертывание. Быстрое прототипирование пользовательских интерфейсов также поддерживает этот выбор.



Рисунок 2.6 – Логотип Unity

В заключение, на этапе проектирования Unity был выбран в качестве основной среды разработки, поскольку опыт позволяет сократить время на освоение инструмента и сосредоточиться на создании функциональности. Планируется, что

Unity обеспечит кроссплатформенную поддержку, упрощая разработку для Android и iOS с использованием единого кода. Visual Studio выбран как интегрированная среда разработки благодаря знакомству разработчика с его интерфейсом и инструментами, а также глубокой интеграции с Unity, что обеспечит удобство написания и отладки кода на C#. На рисунке 2.6 изображён логотип программной среды Unity.

2.2.2 Язык программирования

Для разработки мобильного приложения, предназначенного для автоматизации обработки данных контрольных замеров на подстанциях АО «ДРСК», был выбран язык программирования C#. Этот выбор обусловлен его статусом основного языка для Unity, а также его широким применением в профессиональной разработке программного обеспечения. C# обладает рядом преимуществ, которые делают его оптимальным выбором для данного проекта.

C# основан на синтаксисе C-подобных языков, что обеспечивает простоту и читаемость кода. Это особенно важно для проектирования модулей, таких как управление пользователями или обработка данных замеров, где ясность кода способствует более эффективной разработке и последующему обслуживанию. Благодаря своей знакомой структуре, C# снижает порог вхождения для разработчиков, что позволяет ускорить процесс реализации функциональности приложения.

Платформа .NET, тесно интегрированная с C#, предоставляет обширный набор классов для работы с файлами, сетевыми протоколами, пользовательскими интерфейсами и базами данных. Эти классы будут использованы для реализации ключевых функций приложения, таких как чтение и запись CSV-файлов, отправка отчётов по электронной почте через SMTP-клиент и управление локальным хранилищем данных. Такая интеграция упрощает разработку, предоставляя готовые решения для распространённых задач, что особенно важно для обеспечения надёжности и производительности приложения.

C# является встроенным языком для Unity, что обеспечивает прямой доступ к API движка. Это позволяет использовать возможности Unity для управления сценами, компонентами интерфейса и обработки событий, что критически важно

для создания интуитивно понятного и динамического пользовательского интерфейса. Например, динамическая генерация форм ввода данных для различных типов оборудования будет реализована с использованием этих возможностей, что ускорит разработку и повысит гибкость приложения.

Поддержка объектно-ориентированного программирования в C# позволяет организовать код в модули, такие как классы для управления пользователями, подстанциями и отчётами. Такая модульная структура упрощает проектирование, тестирование и дальнейшую поддержку приложения, делая его более масштабируемым и удобным для доработки. Это особенно важно для обеспечения долгосрочной устойчивости приложения в условиях возможного расширения функциональности.

Обширная документация, предоставляемая Microsoft и Unity, является ценным ресурсом для разработчиков. Она обеспечивает доступ к решениям для задач, таких как асинхронная обработка данных или реализация SMTP-клиента для отправки отчётов. Это особенно важно для обеспечения надёжности и производительности приложения в условиях ограниченного интернет-соединения, характерных для удалённых подстанций.

Альтернативные языки программирования, такие как Kotlin для Android Studio или Swift для Xcode, были рассмотрены, но отклонены из-за необходимости кроссплатформенной поддержки. Unity, как кроссплатформенный движок, требует языка, который бы обеспечивал совместимость с обеими основными мобильными платформами – Android и iOS. C# идеально подходит для этой цели, предоставляя оптимальный баланс между производительностью, удобством разработки и совместимостью с выбранной средой.

Таким образом, выбор C# для разработки приложения обусловлен его техническими преимуществами, интеграцией с Unity и .NET, а также способностью обеспечить создание масштабируемого, надёжного и удобного в использовании программного продукта, соответствующего требованиям автоматизации процессов в энергетической отрасли.

2.2.3 Используемые библиотеки

Для реализации функциональности приложения планируется использование набора библиотек, интегрированных с Unity, которые обеспечат создание адаптивных пользовательских интерфейсов, эффективную обработку данных и надежные сетевые функции. Unity UI Toolkit будет применяться для проектирования динамических интерфейсов, которые позволят создавать экраны авторизации, выбора подстанций, ввода данных и формирования отчетов. Эта библиотека поддерживает адаптивный дизайн, что обеспечит корректное отображение интерфейса на устройствах с различными разрешениями экрана и ориентацией. Unity UI Toolkit упростит создание динамических форм ввода, которые будут адаптироваться к типу оборудования, например, отображать поля для температуры масла и напряжения для трансформаторов, обеспечивая гибкость и удобство для пользователей.

TextMeshPro планируется использовать для рендеринга текста высокого качества в элементах интерфейса, таких как списки подстанций, сообщения об ошибках и поисковые строки. Эта библиотека обеспечит четкость текста и поддержку стилизации, например, выделение жирным шрифтом активных элементов или подсветку совпадений при поиске подстанций, что улучшит пользовательский опыт. TextMeshPro будет оптимизирована для мобильных устройств, минимизируя потребление ресурсов и обеспечивая плавность работы интерфейса.

Для обработки данных будет задействована библиотека CSV Helper, которая упростит чтение и запись CSV-файлов, содержащих информацию о пользователях, подстанциях, оборудовании и замерах. CSV Helper обеспечит эффективную работу с большими объемами данных, включая поддержку русскоязычных названий и различных кодировок, что важно для корректной обработки данных ДРСК. Эта библиотека позволит быстро загружать списки подстанций или записывать данные замеров, минимизируя задержки в интерфейсе.

System.Net.Mail планируется использовать для реализации функции отправки отчетов в формате CSV по электронной почте через SMTP-протокол. Планируется, что эта библиотека обеспечит надежную передачу отчетов на корпоратив-

ный адрес ДРСК без необходимости подключения сторонних зависимостей. Для временного хранения данных, таких как выбранный регион или частично введенные замеры, будет применяться механизм, аналогичный Unity PlayerPrefs, который позволит сохранять промежуточные состояния и восстанавливать их после перезапуска приложения. Планируется, что этот механизм будет легковесным, минимизируя потребление ресурсов.

Эти библиотеки выбраны для обеспечения полного покрытия функциональных требований, включая создание интуитивных интерфейсов, надежную обработку данных и сетевые функции. Планируется, что их интеграция с Unity позволит минимизировать разработку собственных решений, сосредоточив усилия на проектировании функциональности приложения.

2.2.4 Среда разработки Unity

Разработка приложения будет вестись в Unity 6000.0.27f1, интегрированном с Visual Studio для написания и отладки кода. Unity выбран благодаря своей поддержке кроссплатформенной разработки, которая позволяет создавать единый код для Android и iOS. Визуальный редактор Unity предоставляет инструменты для проектирования пользовательских интерфейсов, включая настройку сцен, компонентов, таких как прокручиваемые списки и кнопки, и навигации между экранами. Планируется, что это упростит создание прототипов интерфейсов, таких как экран выбора подстанции с поисковой строкой, и позволит быстро вносить изменения на основе обратной связи.

Прямая поддержка C# в Unity обеспечит доступ к API движка, что ускорит проектирование логики приложения, включая обработку CSV-файлов, управление данными и отправку отчетов по электронной почте. Обширные ресурсы сообщества Unity, включая документацию, форумы и обучающие материалы, предоставят поддержку при проектировании сложных функций, таких как динамические формы ввода или асинхронная обработка данных. Планируется, что Unity Editor будет использоваться для настройки адаптивных интерфейсов, которые будут корректно отображаться на устройствах с различными характеристиками, обеспечивая единообразный пользовательский опыт.

Visual Studio будет использоваться как основная интегрированная среда разработки благодаря глубокому знакомству разработчика с ее интерфейсом и инструментам, таким как автодополнение кода, подсветка синтаксиса и возможности отладки. Интеграция Visual Studio с Unity обеспечит поддержку API движка, упрощая проектирование модулей приложения и проверку их логики. Планируется, что Visual Studio позволит использовать точки останова и пошаговую отладку для анализа таких процессов, как парсинг CSV-файлов или обработка ошибок, что повысит качество проектирования. Альтернативы, такие как Visual Studio Code или JetBrains Rider, были рассмотрены, но отклонены из-за меньшей глубины интеграции с Unity и менее удобных инструментов для работы с C#. Планируется, что сочетание Unity Editor и Visual Studio создаст оптимальную среду для проектирования, минимизируя затраты времени и ресурсов.

2.2.5 Описание интерфейса пользователя

Пользовательский интерфейс проектируется как интуитивный и эргономичный, чтобы обеспечить удобство для администраторов и инженеров с разным уровнем подготовки.

Экран авторизации будет первым, встречая пользователя полями для логина и пароля, кнопкой входа и областью для ошибок. Планируется, что элементы будут крупными, с подсказками для упрощения ввода.

Для администратора главное меню обеспечит доступ к управлению пользователями, подстанциями и оборудованием. Экран управления пользователями отобразит таблицу с именами, логинами и ролями, с поиском и формой добавления. Экран подстанций покажет список с названиями, регионами и классами напряжения, с поиском и сортировкой. Экран оборудования позволит работать с моделями, с фильтрацией по типу. Планируется, что навигация будет иерархической, с кнопками «Назад» для возврата.

Для инженера интерфейс начнется с выбора региона, где пять зон будут представлены крупными кнопками. Экран подстанций отобразит отфильтрованный список с поиском, экран типов оборудования – 11 категорий с визуальным выделением, а экран моделей – список с поиском. Экран ввода данных включит

динамическую форму с проверкой ввода и кнопкой сохранения. Экран отчетов позволит указать email, комментарий и отправить отчет. Планируется, что переходы будут последовательными, минимизируя ошибки.

3 ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ КОНТРОЛЬНЫХ ЗАМЕРОВ НА ПОДСТАНЦИЯХ ДРСК

В данной главе представлена предварительная программная реализация мобильного приложения для обработки данных контрольных замеров на подстанциях АО «ДРСК», разработанного на платформе Unity для iOS и Android. Описаны этапы создания файлового хранилища данных, пользовательского интерфейса, реализации функциональности и тестирования. Особое внимание уделено детальному описанию сцен, логики работы приложения и визуализации данных.

3.1 Разработка файлового хранилища данных

Проектирование базы данных для мобильного приложения обработки данных контрольных замеров на подстанциях АО «ДРСК» выполнено с учетом функциональных и нефункциональных требований. Для хранения данных выбраны CSV-файлы, которые обеспечивают простоту интеграции с Unity, автономность работы в условиях отсутствия интернета и совместимость с табличными редакторами. База данных охватывает ключевые сущности, необходимые для реализации функционала: пользователи, регионы, подстанции, типы оборудования, модели оборудования и замеры. Структура спроектирована так, чтобы поддерживать иерархическую навигацию инженеров и административные задачи, минимизируя избыточность данных и обеспечивая высокую производительность на мобильных устройствах.

Выбор CSV-файлов обусловлен их легкостью обработки в Unity, низкими требованиями к ресурсам и возможностью работы в оффлайн-режиме, что критично для удаленных подстанций ДРСК, где интернет-соединение часто недоступно. Файлы размещаются в папке Resources приложения, что позволяет загружать их при запуске и обновлять в процессе работы. База данных спроектирована для обработки данных о 735 подстанциях, 11 типах оборудования и тысячах замеров, сохраняя простоту сопровождения и возможность экспорта отчетов в формате, совместимом с процессами ДРСК. Структура минимизирует аномалии при до-

бавлении, удалении или обновлении записей за счет продуманной организации сущностей и связей. Для обеспечения целостности данных применены ограничения, а для повышения скорости работы – оптимизации, такие как кэширование и асинхронная обработка.

База данных поддерживает процессы, описанные прошлой главе: авторизация пользователей, выбор региона и подстанции инженером, ввод данных замеров и управление данными администратором. Она обеспечивает работу двух ролей: администраторы добавляют и редактируют данные, инженеры вводят замеры и формируют отчеты. Структура позволяет эффективно управлять большим объемом данных, сохраняя их согласованность и доступность даже на устройствах с ограниченными характеристиками.

3.1.1 Проектирование структуры базы данных

База данных состоит из шести сущностей, каждая из которых реализована в отдельном CSV-файле для упрощения управления и сопровождения. Разделение на файлы позволяет независимо обновлять информацию о пользователях, подстанциях или замерах, снижая риск ошибок. Сущности спроектированы для поддержки последовательного процесса работы инженера: от выбора региона к подстанции, оборудованию и вводу замеров. Администраторы используют те же сущности для управления данными, включая добавление новых подстанций или пользователей.

Сущность «пользователи» хранит информацию о сотрудниках ДРСК, отвечая за авторизацию и определение ролей. Администраторы управляют данными, инженеры вводят замеры. Данные включают идентификатор, логин, пароль, ФИО и флаг администратора. Логин уникален для исключения дублирования учетных записей, пароль проверяется на минимальную длину в четыре символа. Изначально база содержит записи для одной административной и нескольких инженерных учетных записей, что достаточно для начальной работы приложения.

Сущность «регионы» описывает пять географических зон ДРСК, используемых для начального выбора региона инженером. Данные включают идентификатор и название региона, причем название уникально. Сущность статична, так как

число регионов фиксировано, что упрощает обработку и ускоряет доступ к данным.

Сущность «подстанции» охватывает 735 объектов, распределенных по регионам. Она поддерживает выбор подстанции в рамках региона и привязку оборудования. Данные включают идентификатор, название, идентификатор региона и класс максимального напряжения. Название подстанции уникально в пределах региона, а регион и класс напряжения связаны с соответствующими справочниками для обеспечения целостности. Данные подстанций загружаются при первом запуске, с возможностью их обновления администратором.

Сущность «типы оборудования» описывает категории оборудования, такие как трансформаторы или выключатели, для выбора типа на подстанции. Данные включают идентификатор и название, причем название уникально. Сущность статична, так как перечень типов фиксирован, что оптимизирует доступ к данным.

Сущность «модели оборудования» представляет конкретные экземпляры оборудования на подстанциях, позволяя выбирать модель для ввода замеров. Данные включают идентификатор, название, серийный номер, тип оборудования, подстанцию и класс напряжения. Серийный номер уникален, а тип и подстанция связаны с соответствующими сущностями. Администратор управляет этими данными через интерфейс.

Сущность «замеры» хранит результаты контрольных замеров, вводимых инженерами. Данные включают идентификатор, модель оборудования, параметры замера, временную метку и комментарий. Параметры зависят от типа оборудования, а модель связана с соответствующей сущностью. Эта сущность динамически обновляется в процессе работы инженеров.

Структура сущностей минимизирует избыточность, разделяя статические данные, такие как регионы и типы оборудования, от динамических, таких как замеры. Это позволяет эффективно управлять данными, сокращая объем хранилища и упрощая обновления. Например, изменение названия региона требует правки одной записи в соответствующем файле, а не множества записей подстанций.

3.1.2 Связи между сущностями

Сущности связаны отношениями один-ко-многим, реализованными через внешние ключи, которые формируют иерархическую структуру данных. Регион связан с подстанциями: один регион включает множество подстанций, но каждая подстанция принадлежит одному региону. Подстанция связана с моделями оборудования: на одной подстанции установлено множество моделей, но каждая модель привязана к одной подстанции. Тип оборудования связан с моделями: один тип охватывает множество моделей, но каждая модель относится к одному типу. Модель оборудования связан с замерами: одна модель имеет множество замеров, но каждый замер привязан к одной модели.

Внешние ключи обеспечивают ссылочную целостность. При добавлении подстанции приложение проверяет существование указанного региона, отклоняя операцию, если регион отсутствует. Удаление подстанции возможно только при отсутствии связанных моделей оборудования, что предотвращает нарушение целостности. Эти связи реализованы в логике приложения на языке C#, где классы обрабатывают проверки перед записью в файлы. Структура связей соответствует процессу навигации инженера, обеспечивая последовательный выбор региона, подстанции и оборудования, а также управление данными администратором.

Иерархическая организация связей упрощает обработку данных, позволяя быстро получать списки подстанций для региона или моделей для подстанции. Это особенно важно для инженеров, работающих в полевых условиях, где требуется минимальное время отклика интерфейса. Связь между замерами и моделями оборудования обеспечивает точное хранение данных замеров, позволяя администраторам формировать отчеты по конкретным подстанциям или типам оборудования.

3.1.3 Ограничения целостности

Целостность данных поддерживается через ограничения, реализованные в логике приложения. Уникальность атрибутов, таких как логины пользователей, серийные номера оборудования и названия подстанций в пределах региона, проверяется при добавлении записей, предотвращая дублирование. Ссылочная це-

лостность обеспечивается внешними ключами: добавление записи с несуществующим внешним ключом, например, модели оборудования для отсутствующей подстанции, отклоняется. Операционные ограничения запрещают удаление записей, если с ними связаны другие данные, например, подстанции, к которой привязаны модели оборудования.

Ограничения реализованы в коде приложения на C# с использованием классов Unity для работы с файлами. Проверки выполняются до записи данных, минимизируя риск повреждения базы. Это гарантирует согласованность данных даже при сбоях или некорректных действиях пользователя. Например, при добавлении замера проверяется существование модели оборудования и корректность параметров, что предотвращает создание несогласованных записей. Такие меры обеспечивают надежность базы данных, что критично для работы в автономном режиме.

Ограничения также поддерживают административные функции, позволяя администратору безопасно добавлять или удалять данные. Например, при попытке удалить регион приложение проверяет, нет ли связанных подстанций, и блокирует операцию, если такие связи существуют. Это защищает базу от случайных ошибок и сохраняет целостность данных при длительной эксплуатации приложения.

3.1.4 Оптимизация производительности

Производительность базы данных оптимизирована для работы на мобильных устройствах, включая модели с низкими характеристиками, используемые инженерами в полевых условиях. Основной подход – минимизация операций чтения и записи файлов и ускорение доступа к данным. При запуске приложения данные из всех CSV-файлов загружаются в оперативную память в виде объектов C#, что позволяет быстро получать списки регионов, подстанций или оборудования. Это сокращает время отклика интерфейса, что особенно важно при навигации по большому числу подстанций.

Операции чтения и записи выполняются асинхронно с использованием механизмов `async/await` в Unity, предотвращая блокировку интерфейса. Например, сохранение данных замера происходит в фоновом режиме, не прерывая работу

инженера. Для ускорения поиска подстанций реализована индексация идентификаторов и названий, а результаты поиска ограничены разумным количеством записей, чтобы снизить нагрузку на устройство. Файл замеров разделен по подстанциям, что уменьшает размер отдельных файлов и ускоряет обработку больших объемов данных.

Надежность базы данных обеспечивается созданием резервных копий CSV-файлов перед каждым изменением. При загрузке проверяется целостность файлов: наличие обязательных полей, корректность разделителей и отсутствие ошибок формата. Если файл поврежден, приложение использует последнюю резервную копию, минимизируя риск потери данных. Временные данные, такие как частично заполненные формы ввода замеров, сохраняются в PlayerPrefs, что позволяет восстанавливать состояние после сбоев, например, при разрядке устройства. Эти меры гарантируют стабильную работу приложения в условиях ограниченных ресурсов и нестабильного питания.

Оптимизация производительности учитывает специфику работы инженеров, которые часто используют приложение в удаленных местах с ограниченным доступом к зарядке или интернету. Быстрый доступ к данным и надежное сохранение замеров позволяют выполнять задачи без задержек, а резервное копирование защищает от потери данных при сбоях. Административные операции, такие как добавление подстанций, также оптимизированы, чтобы минимизировать время обработки и обеспечить плавную работу интерфейса.

3.1.5 Масштабируемость

База данных спроектирована с учетом масштабируемости, чтобы поддерживать рост объема данных или добавление новых функциональных требований. Текущая реализация на основе CSV-файлов удовлетворяет потребности приложения благодаря простоте и низким затратам ресурсов, но структура позволяет перейти на реляционную базу данных, такую как SQLite, если число подстанций или замеров значительно увеличится. Сущности и связи спроектированы так, чтобы миграция требовала минимальных изменений в коде: методы чтения и записи данных могут быть адаптированы для работы с SQLite, сохранив логику обработки.

Модульная организация файлов упрощает добавление новых сущностей или атрибутов. Например, если потребуется хранить дополнительные параметры оборудования, можно создать новый CSV-файл или расширить существующий, обновив только соответствующие методы в приложении. Это позволяет адаптировать базу данных к новым типам оборудования или регионам без переработки всей структуры. Возможность экспорта отчетов в CSV поддерживает интеграцию с внешними системами ДРСК, а унифицированный формат данных упрощает их обработку в других приложениях.

Масштабируемость также обеспечивается оптимизированными алгоритмами обработки данных. Индексация и кэширование позволяют эффективно работать с большим числом записей, а разделение файла замеров по подстанциям снижает нагрузку при обработке крупных объемов данных. Эти меры гарантируют, что приложение останется производительным даже при увеличении числа подстанций до нескольких тысяч или добавлении новых функций, таких как анализ данных замеров. Структура базы данных создает основу для долгосрочного использования приложения, поддерживая его развитие в соответствии с потребностями ДРСК.

3.2 Разработка интерфейса пользователя

Разработка интерфейса приложения велась с учетом удобства использования, интуитивной навигации и соответствия требованиям пользователей инженеров и администраторов. Интерфейс проектировался для поддержки разрешений большинства мобильных экранов. Каждый экран приложения был разработан с учетом функциональных требований, изложенных в техническом задании, и ориентирован на минимизацию времени, необходимого для выполнения задач.

3.2.1 Создание структуры навигации

Структура навигации приложения реализована через систему сцен в Unity, каждая из которых отвечает за определенный этап взаимодействия пользователя с приложением. Основные сцены включают:

- LoginScene: экран авторизации, обеспечивающий доступ пользователей (инженеров и администраторов) к приложению;

- AdminMenuScene: главный экран для администраторов с тремя основными разделами: «Сотрудники», «Подстанции» и «Модели»;
- AdminModelScene: экран со списком оборудования на подстанциях, в котором администратор может либо добавлять новые модели для определённых подстанций, либо удалять их. При добавлении открывается окно, где можно ввести тип оборудования из списка состоящего из 11 пунктов, ввести название модели, его уникальный идентификационный номер и на какой подстанции он будет добавлен;
- AdminSubstationScene: экран со списком подстанций из готовой базы данных с возможностью удалить или добавить подстанцию в определённый регион и возможностью выбора его максимального класса напряжения при добавлении;
- AdminUserScene: в данной сцене администратор может просматривать список зарегистрированных пользователей (администраторов и инженеров), может добавлять и удалять пользователей. Для добавления нужно ввести в строки ФИО сотрудника, его логин и пароль, а так же выбрать будет ли являться этот пользователь администратором;
- RegionSelectionScene: экран выбора региона для инженеров, отображающий список из пяти регионов (Амурская область, Еврейская автономная область, Приморский край, Хабаровский край, Якутия);
- SubstationSelectionScene: экран выбора подстанции в выбранном регионе с поддержкой поисковой строки;
- EquipmentTypeSelectionScene: экран выбора типа оборудования на выбранной подстанции (11 типов оборудования);
- EquipmentModelSelectionScene: экран выбора конкретной модели оборудования и ее серийного номера;
- DataInputScene: экран ввода данных контрольных замеров для выбранного оборудования;
- ReportScene: экран оформления и отправки отчета в формате CSV.

Навигация между сценами реализована с использованием кнопок «Назад», нажатием на кнопки регионов, подстанций, типов оборудования и конкретного

оборудования, так же «Сохранить» в случае ввода данных и «Оформить отчёт» в случае, когда были введены все данные в типах оборудования, что позволяет пользователю легко перемещаться между экранами и возвращаться к предыдущим этапам без потери данных. Переходы между сценами осуществляются с помощью метода `SceneManager.LoadScene` из Unity, а сохранение состояния пользователя (например, выбранного региона или подстанции) реализовано через класс `PlayerPrefs` и локальную базу данных.

3.2.2 Экран авторизации

На рисунке 3.1 представлен экран авторизации (`LoginScene`), который является первым экраном, с которым взаимодействует пользователь.

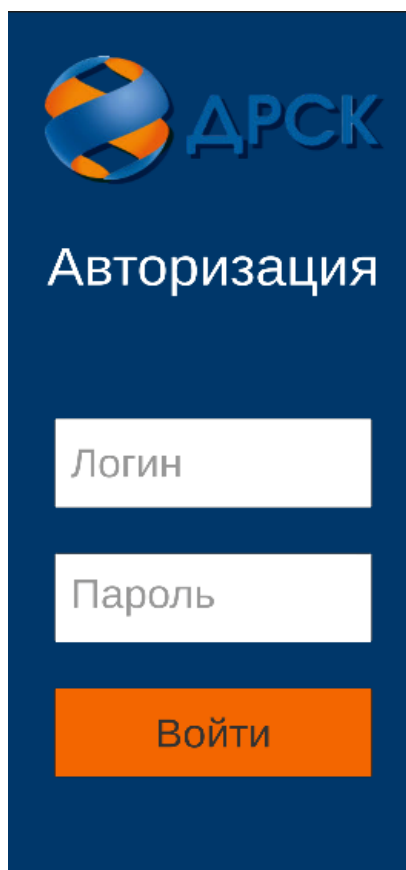


Рисунок 3.1 – Экран авторизации

Логика авторизации реализована следующим образом: пользователь вводит логин и пароль, которые проверяются в базе данных. Если данные корректны, пользователь перенаправляется в зависимости от его роли: администратор – на

AdminMenuScene, инженер – на RegionScene. В случае ошибки отображается сообщение в элементе ErrorText.

Изначально в базе данных уже есть один пользователь администратор и три пользователя инженера.

3.2.3 Экран администратора

На рисунке 3.2 представлен экран AdminMenuScene, который предназначен для администраторов и содержит три основные кнопки:

- Сотрудники: переход к списку сотрудников;
- Подстанции: переход к списку подстанций;
- Модели: переход к списку оборудования.

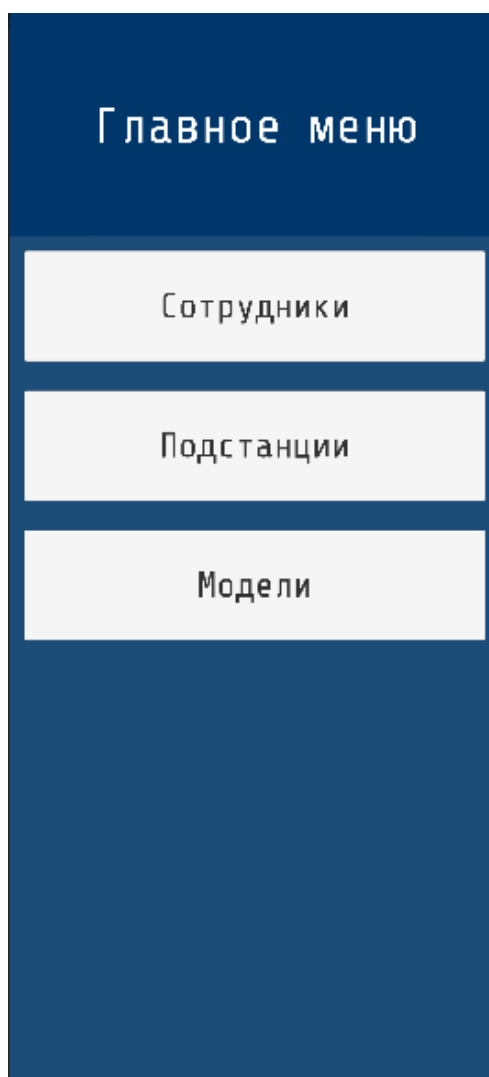


Рисунок 3.2 – Экран администратора

Сцена пользователей

При нажатии на кнопку «Сотрудники» открывается сцена AdminUserScene, где отображается список всех зарегистрированных сотрудников. Изначально во всех сценах (AdminUserScene, AdminSubstationScene и AdminModelScene) список пустой, но при запуске приложение берёт данные из базы данных пользователей (главного администратора не видно в таблице), подстанций и моделей, а после заполняет таблицу.

На рисунке 3.3 представлен экран пользователей.

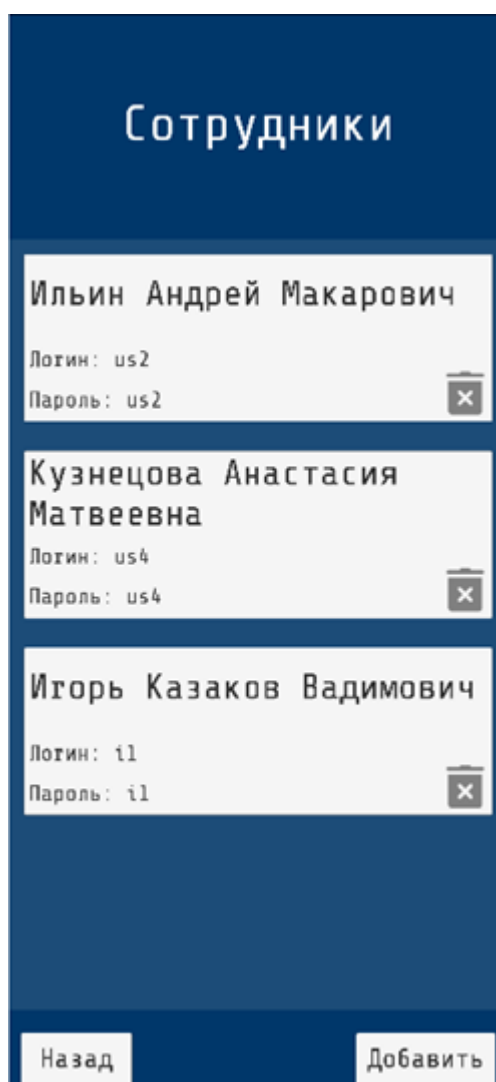


Рисунок 3.3 – Экран пользователей

Сцена поддерживает функции добавления и удаления сотрудников. При добавлении нового сотрудника открывается модальное окно с полями:

На рисунке 3.4 представлено окно добавления нового сотрудника.

Рисунок 3.4 – Окно добавления нового сотрудника

После ввода имени, фамилии, отчества, логина, пароля и выбора будет ли данный сотрудник являться администратором или инженером, он сохраняется в базу данных. При нажатии кнопки «назад» администратор перейдёт на предыдущую сцену.

Сцена подстанций

При нажатии на кнопку «Подстанции» открывается сцена AdminSubstationScene, где отображается список всех подстанций (735 объектов) не разделенных по регионам. Поддерживаются функции добавления и удаления подстанций.

На рисунке 3.5 представлен экран со списком всех подстанций и в каком регионе они находятся.

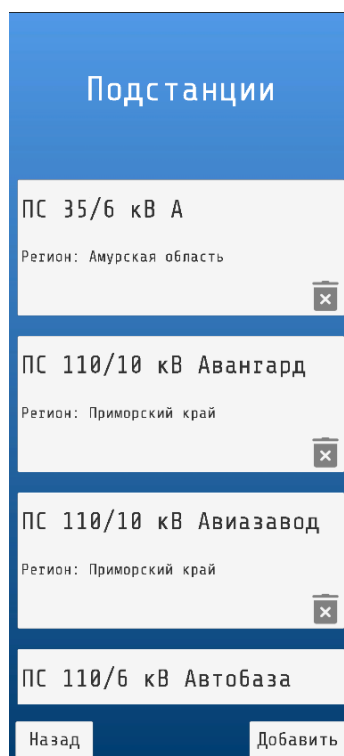


Рисунок 3.5 – Экран подстанций

При добавлении подстанции открывается окно с полями:

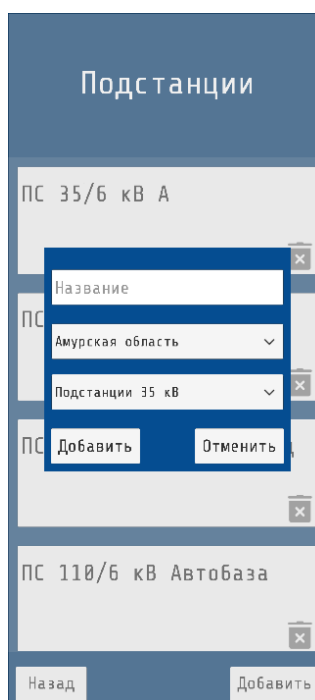


Рисунок 3.6 – Окно добавления новой подстанции

Данные сохраняются в базу данных. Список подстанций отображается в алфавитном порядке с использованием компонента ScrollView.

Сцена оборудования

При нажатии на кнопку «Модели» открывается сцена AdminModelScene, где отображается список оборудования на подстанциях. Поддерживаются добавление и удаление моделей.

На рисунке 3.7 представлен список всех моделей, серийный номер и на какой подстанции данное оборудование находится.

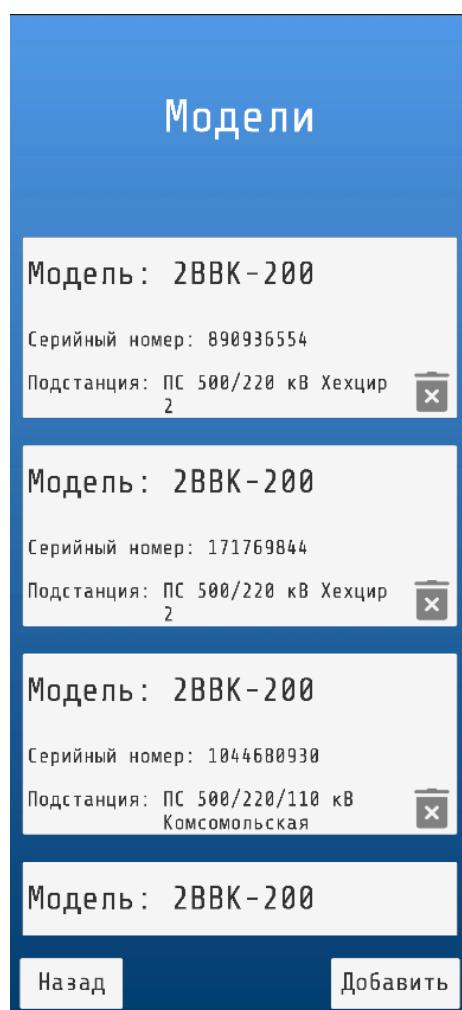


Рисунок 3.7 – Экран моделей

При добавлении оборудования открывается окно с полями:

Рисунок 3.8 – Окно добавления нового оборудования

Данные сохраняются в базу данных, связывая оборудование с конкретной подстанцией.

3.2.4 Экраны инженера

Экран выбора региона

Экран RegionScene предназначен для инженеров и отображает список из пяти регионов: Амурская область, Еврейская автономная область, Приморский край, Хабаровский край и Якутия (Республика Саха).

На рисунке 3.9 представлен экран выбора региона для роли инженера.

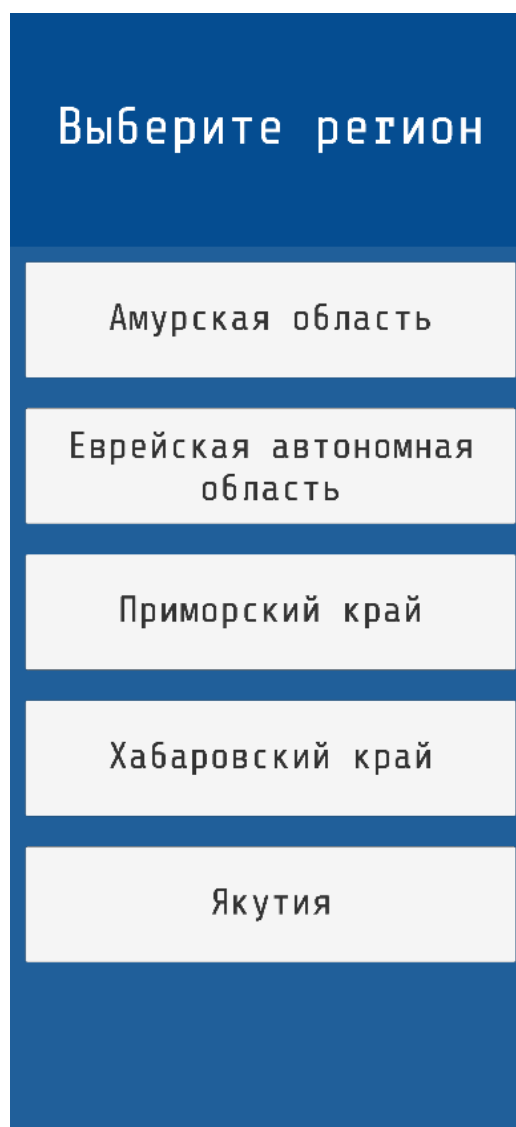


Рисунок 3.9 – Экран выбора региона

При выборе региона пользователь перенаправляется на SubstationScene.

Экран выбора подстанции

Экран SubstationScene отображает подстанции выбранного региона в алфавитном порядке. Для Амурской области из базы данных выводит список из 235 подстанций, для ЕАО – 49, для Приморского края – 279, для Хабаровского края – 169 и для Якутии – 47.

На рисунке 3.10 представлен экран выбора подстанций.

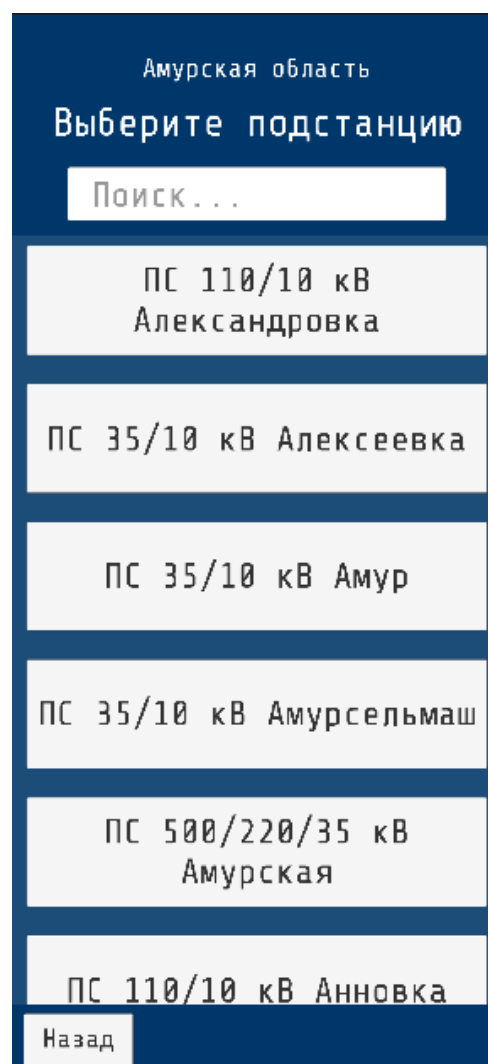


Рисунок 3.10 – Экран выбора подстанции

Поисковая строка позволяет фильтровать подстанции по названию в реальном времени. При выборе подстанции пользователь переходит на EquipmentScene. В этой сцене есть кнопка перехода на предыдущий экран, если инженер случайно нажал на неправильный регион.

Экран выбора типа оборудования

Экран EquipmentScene отображает прокручиваемый список из 11 типов оборудования.

На рисунке 3.11 представлен экран со всеми типами оборудования.

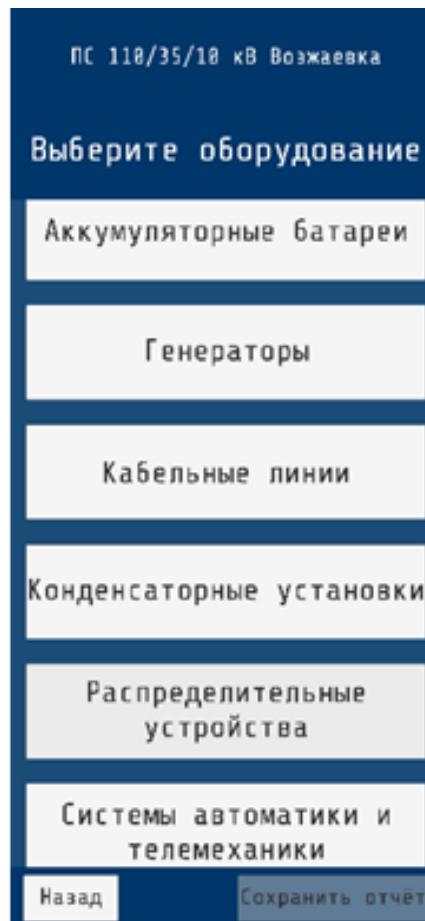


Рисунок 3.11 – Экран выбора типа оборудования

Если на данной подстанции нет какого-то определённого типа оборудования, то эта кнопка становится оранжевой.

При выборе типа оборудования пользователь переходит на ModelScene. Кнопки типов оборудования, для которых введены данные, подсвечиваются оранжевым цветом, что сохраняется даже после перезапуска приложения (данные хранятся в базе данных).

Экран выбора модели оборудования

Экран ModelScene отображает список моделей оборудования выбранного типа с их серийными номерами. Поисковая строка позволяет фильтровать модели по номерам и названиям в реальном времени, если их количество велико.

На рисунке 3.12 представлен как выглядит пример экрана выбора конкретного оборудования.

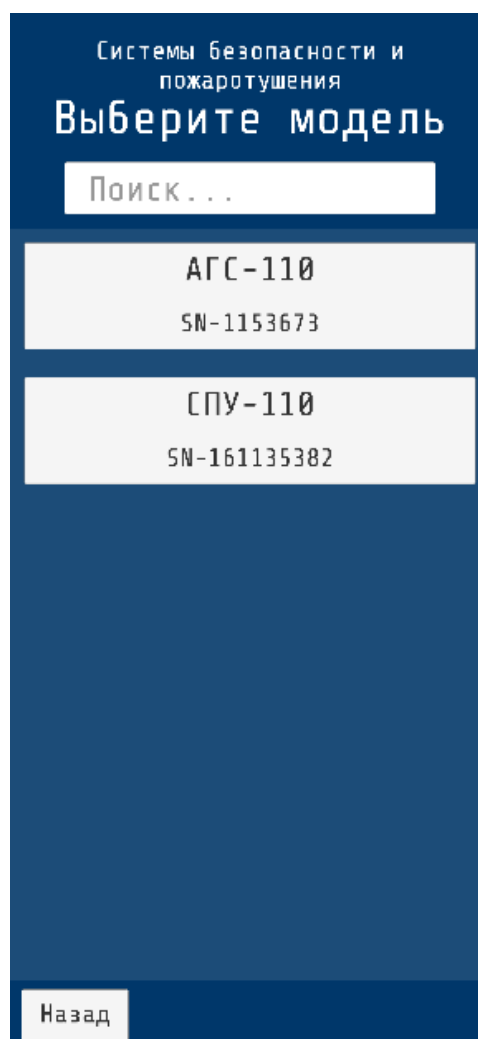


Рисунок 3.12 – Экран выбора конкретного оборудования СБиП на подстанции

Экран ввода данных

Экран `DataInputScene` позволяет инженеру вводить данные контрольных замеров для выбранной модели оборудования. Форма ввода динамически генерируется в зависимости от типа оборудования (например, для трансформаторов: температура масла, напряжение и т.д.).

На рисунке 3.13 и 3.14 представлены экраны с вводимыми данными из разных типов оборудования.

Аккумуляторные батареи
Р0-6
SN-63508964

Состояние оборудования

Напряжение каждой ячейки (В)

Напряжение общей батареи (В)

Плотность электролита (г/см³)

Внутреннее сопротивление ячеек (мОм)

Время разряда под нагрузкой (ч)

Назад Сохранить

Рисунок 3.13 – Экран ввода данных на примере аккумуляторных батарей

Трансформаторы
ТРДН-25000/110
SN-1339214247

Состояние оборудования

Температура масла (°C)

Температура обмоток (°C)

Уровень масла (%)

Напряжение первичное (В)

Напряжение вторичное (В)

Назад Сохранить

Рисунок 3.14 – Экран ввода данных на примере трансформатора

После ввода данных пользователь нажимает кнопку «Сохранить», и данные записываются в базу данных. Кнопка конкретного оборудования становится оранжевой.

Экран оформления отчета

Экран ReportScene позволяет инженеру оформить отчет в формате CSV.

При нажатии на кнопку «Сохранить отчет» в окне выбора типов оборудования происходит переход на экран оформления отчётов. На этом экране инженер может записать дополнительный комментарий, написать почту куда именно будет отправлен CSV-файл (по умолчанию почта drsk.dfo@mail.ru), который сохраняется локально в папке «Загрузки» и отправляется по указанному email с адреса drsk.dfo@yandex.ru.

Рисунок 3.15 – Экран оформления отчёта

Для отправки email используется SMTP-клиент. На рисунке 3.15 представлен экран оформления отчёта.

3.3 Тестирование приложения

Тестирование мобильного приложения, разработанного для автоматизации обработки данных контрольных замеров на подстанциях АО «ДРСК», проводилось с целью подтверждения корректности работы всех его модулей, точности обработки данных и удобства пользовательского интерфейса. Процесс тестирования охватывал различные сценарии использования, включая функциональность для администраторов и инженеров, а также дополнительные случаи, связанные с обработкой некорректных данных.

3.3.1 Авторизация администратора

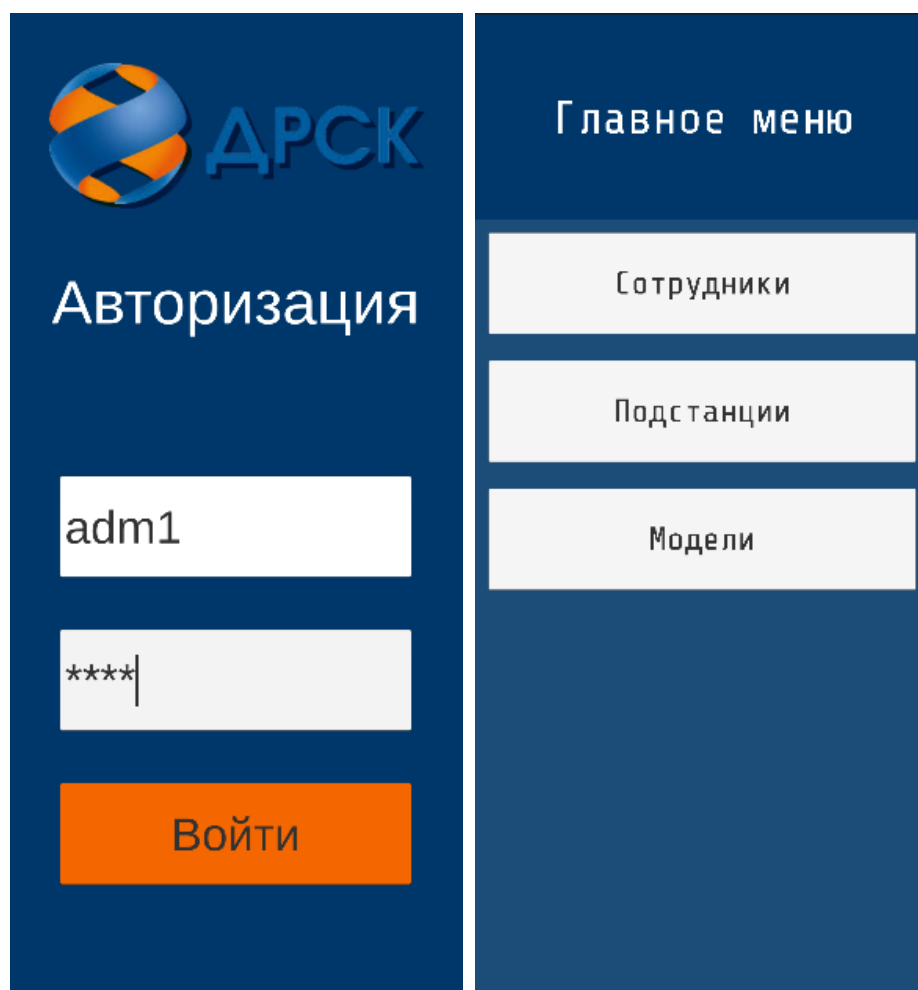


Рисунок 3.16 – Авторизация администратора

Тестирование началось с проверки процесса авторизации администратора. При вводе корректных данных, таких как логин «adm1» и пароль «adm1», система успешно перенаправляла пользователя на экран AdminMenuScene, где отображались кнопки для управления сотрудниками, подстанциями и моделями оборудования. Все элементы интерфейса, включая кнопки «Сотрудники», «Подстанции» и «Модели», отображались корректно, что подтвердило правильность работы модуля авторизации для администраторов. Этот процесс представлен на рисунке 3.16.

3.3.2 Регистрация и удаление пользователей

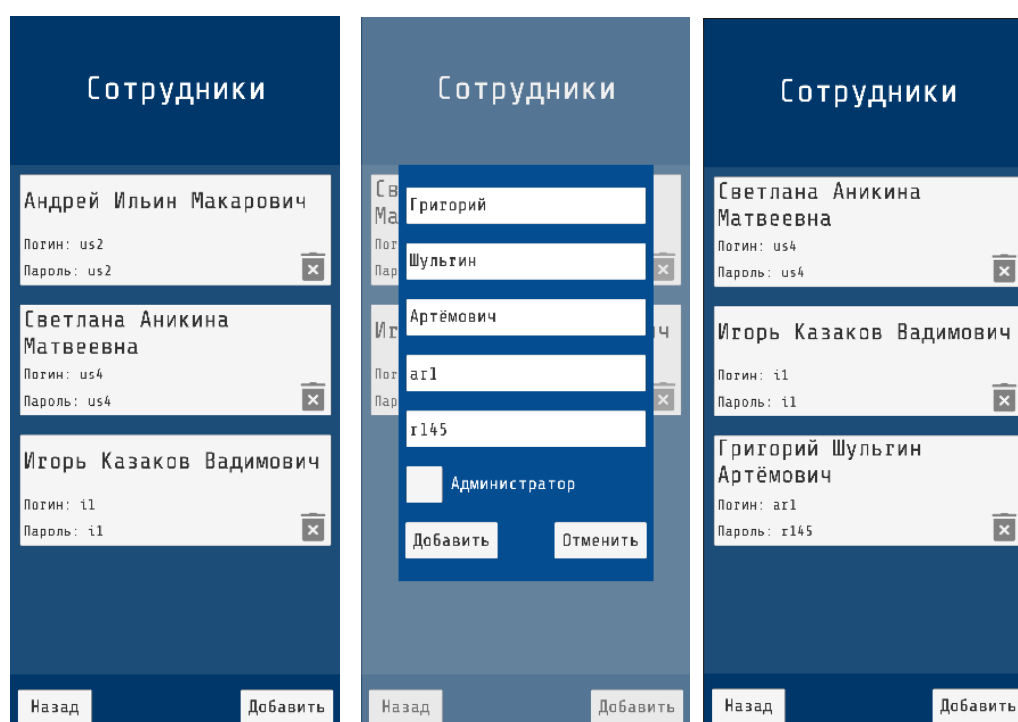


Рисунок 3.17 – Удаление и регистрация пользователей

Далее были протестированы функции управления пользователями. Администратор, находясь в сцене AdminMenuScene, переходил в раздел «Сотрудники» (AdminUserScene), где отображался список всех пользователей, загружаемый из файла users.csv в компоненте ScrollView. В ходе теста администратор удалил пользователя с именем Андрей Ильин Макарович, что прошло успешно после подтверждения действия. Затем был добавлен новый пользователь – инженер Григорий Шульгин Артёмович с логином «ar1», паролем «r145» и без прав администра-

тора. Новый идентификатор пользователя был сгенерирован автоматически как максимальный существующий плюс один, а данные были записаны в файл users.csv. Система проверила уникальность логина и минимальную длину пароля (не менее четырёх символов), что обеспечило целостность данных. Успешное выполнение этих операций, представленное на рисунке 3.17, подтвердило корректность работы модуля управления пользователями.

3.3.3 Добавление и удаление подстанции

Следующим этапом стала проверка функций управления подстанциями. Администратор из сцены AdminMenuScene перешёл в раздел «Подстанции» (AdminSubstationScene), где был загружен список из 735 подстанций из файла substations.csv, содержащего поля: идентификатор, название, идентификатор региона и класс напряжения. В ходе теста была удалена подстанция «ПС 35/6 кВ А», причём система предварительно проверила отсутствие связанных с ней записей в файле models.csv, чтобы предотвратить потерю данных. Затем администратор добавил новую подстанцию «ПС 110/35 кВ А» для Амурской области, указав её название, регион из файла regions.csv (содержащего пять регионов) и класс напряжения (110 кВ).

Новый идентификатор подстанции был сгенерирован автоматически, а операция добавления прошла успешно.

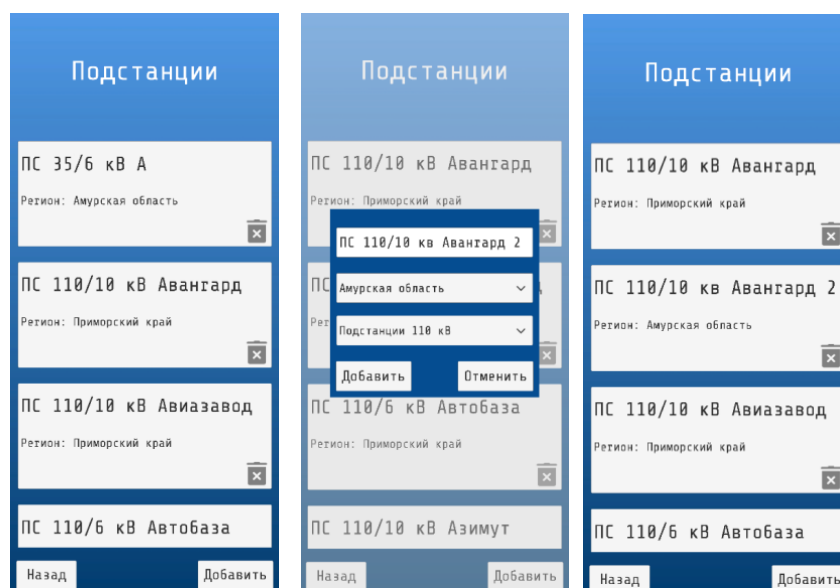


Рисунок 3.18 – Удаление и добавление подстанций

Этот процесс, показанный на рисунке 3.18, подтвердил надёжность модуля управления подстанциями.

3.3.4 Добавление и удаление оборудования

Аналогичным образом были протестированы функции управления оборудованием. В разделе «Модели» (AdminModelScene) администратор работал со списком оборудования, загружаемым из файла models.csv, который содержит поля: идентификатор, название, серийный номер, идентификатор подстанции и идентификатор типа оборудования. Типы оборудования загружались из файла equipment.csv. В ходе теста администратор удалил оборудование «2ВВК-200» и добавил новое оборудование «ДЦ-40000/110» с уникальным серийным номером «SN-917564918» для подстанции «ПС 110/35/10 кВ Возжаевка».

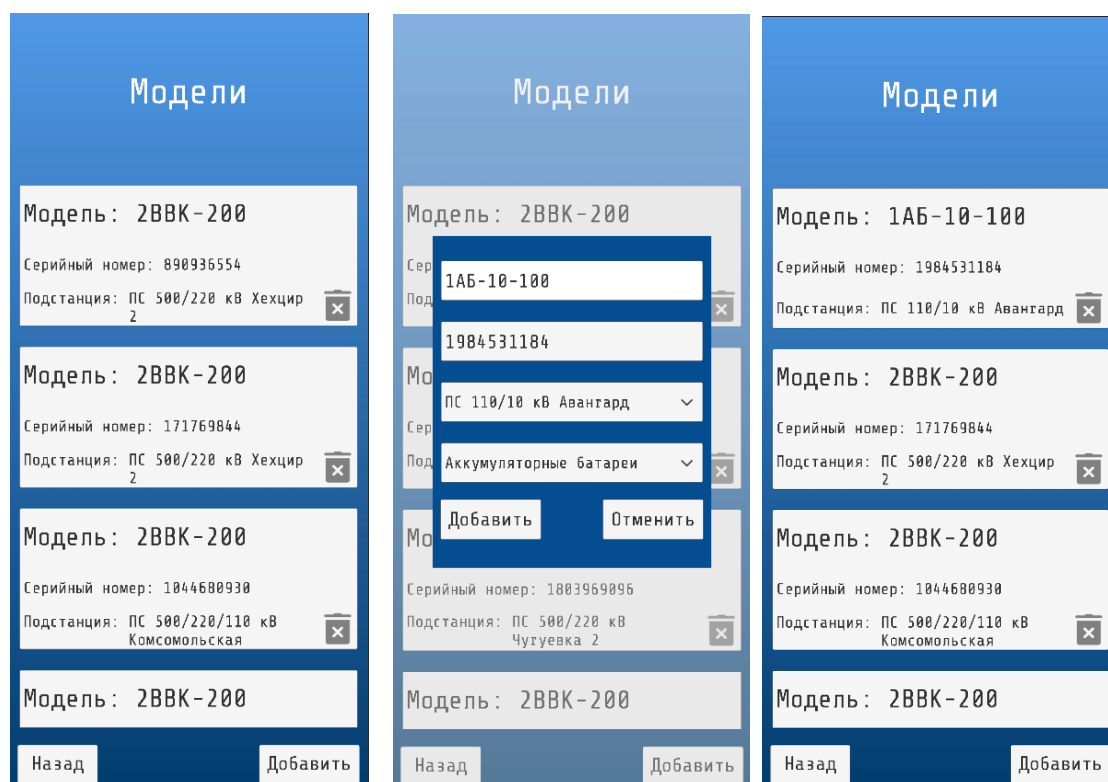


Рисунок 3.19 – Удаление и добавление оборудования

Операции прошли успешно, что подтвердило правильность работы модуля управления оборудованием. Этот процесс представлен на рисунке 3.19.

3.3.5 Авторизация инженера

Затем была протестирована авторизация инженера. При вводе корректных данных нового зарегистрированного пользователя (логин: «ar1», пароль: «r145») система успешно перенаправляла его на экран выбора региона RegionScene, где отображались все пять регионов из файла regions.csv.

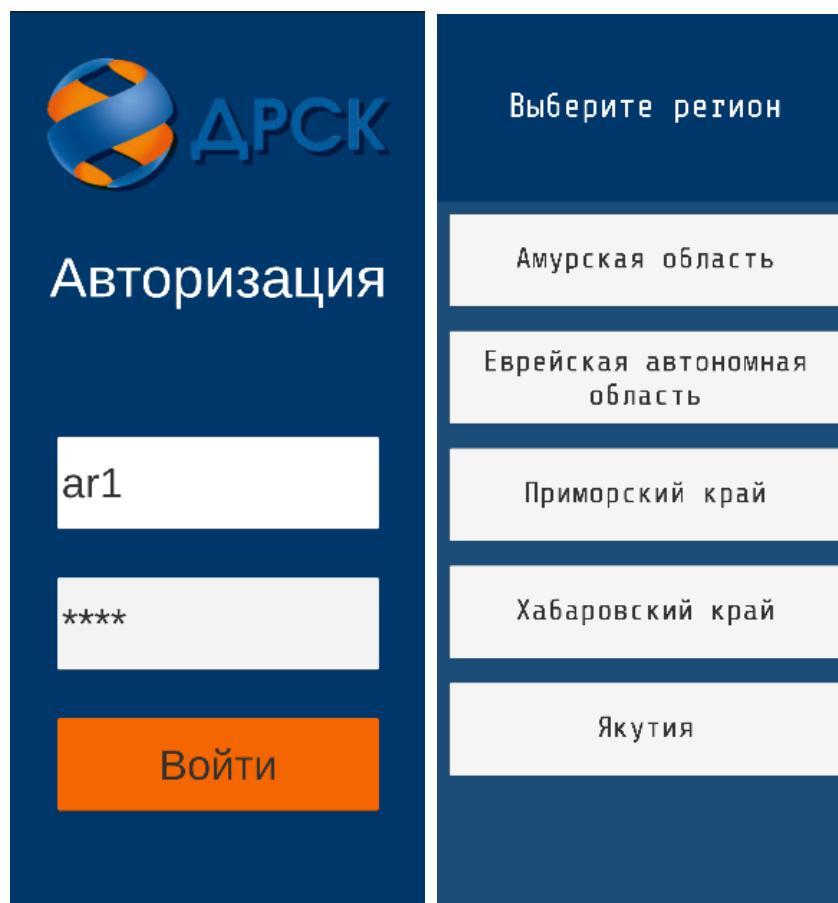


Рисунок 3.20 – Авторизация инженера

Корректное отображение кнопок регионов подтвердило, что модуль авторизации инженера работает без ошибок, как показано на рисунке 3.20.

3.3.6 Выбор региона, подстанции, типа оборудования, модели оборудования и ввод данных, тестирование системы поиска подстанции

Далее тестировались функции выбора региона, подстанции, типа и модели оборудования, а также система поиска подстанций. Инженер выбрал регион «Амурская область», подстанцию «ПС 35/10 кВ Амурсельмаш», тип оборудования «Трансформаторы» и модель «ТРДНС-35» с серийным номером «SN-1594510722».

Система поиска подстанций, использующая алгоритм частичного соответствия, позволяла находить подстанции по ключевым словам, например, ввод «Амур» находил «Амурсельмаш».

Амурская область
Выберите подстанцию

Поиск...

ПС 110/35 кВ А

ПС 110/10 кВ
Александровка

ПС 35/10 кВ Алексеевка

ПС 35/10 кВ Амур

ПС 35/10 кВ Амурсельмаш

ПС 500/220/35 кВ

Назад

Амурская область
Выберите подстанцию

Возжаевка

ПС 110/35/10 кВ
Возжаевка

Назад

Рисунок 3.21 – Система поиска

Процесс поиска продемонстрирован на рисунке 3.21.

Амурская область
Выберите подстанцию

Поиск...

ПС 110/35 кВ А

ПС 110/10 кВ
Александровка

ПС 35/10 кВ Алексеевка

ПС 35/10 кВ Амур

ПС 35/10 кВ Амурсельмаш

ПС 500/220/35 кВ

Назад

ПС 35/10 кВ Амурсельмаш
Выберите оборудование

Системы телемеханики

Системы безопасности и
пожаротушения

Системы защиты и
релейной защиты

Системы компенсации
реактивной мощности

Системы охлаждения и
вентиляции

Трансформаторы

Назад Сохранить отчет

Трансформаторы
Выберите модель

Поиск...

ТМГ-35
SN-1514865867

ТМЗ-35
SN-1903238475

ТРДНС-35
SN-1594510722

Назад

Трансформаторы
ТРДНС-35
SN-1594510722
Состояние оборудования

Напряжение первичное (В)

30

Напряжение вторичное (В)

35

Ток (А)

10

Мощность (кВт)

39

Коэффициент трансформации

0,85

Назад Сохранить

Рисунок 3.22 – Путь до трансформатора и ввод всех данных

После выбора подстанции инженер перешёл к выбору типа оборудования в сцене EquipmentTypeSelectionScene, где отображались 11 типов из файла equipment.csv, таких как трансформаторы и распределительные устройства. Типы, для которых были введены данные, подсвечивались оранжевым, что отражало их статус в файле measurements.csv. Затем в сцене EquipmentModelSelectionScene инженер выбрал модель оборудования, поддерживающую поиск по названию или серийному номеру. Путь от выбора региона до ввода данных представлен на рисунке 3.22.



Рисунок 3.23 – Подсвеченная кнопка трансформатора

После ввода данных кнопка модели подсвечивалась оранжевым, как показано на рисунке 3.23, что указывало на завершение ввода.

3.3.7 Добавление данных, формирование отчёта, получение на почту файла

Процесс ввода данных контрольных замеров тестировался в сцене `DataInputScene`, где генерировалась динамическая форма, зависящая от типа оборудования. Для трансформатора инженер ввёл параметры: температура масла (45°C), температура обмоток (31°C), уровень масла (26%), напряжение первичное (30 В), напряжение вторичное (35 В), ток (10 А), мощность (39 кВт) и коэффициент трансформации (0,86). Система проверяла данные на соответствие допустимым диапазонам, например, температура масла должна быть в пределах $(0-100)^{\circ}\text{C}$. При нажатии кнопки «Сохранить» данные записывались в файл `measurements.csv` с полями: идентификатор, идентификатор модели, параметры, временная метка и комментарий. Каждое поле ввода автоматически сохранялось в `PlayerPrefs` при изменении, что обеспечивало восстановление данных при сбое.

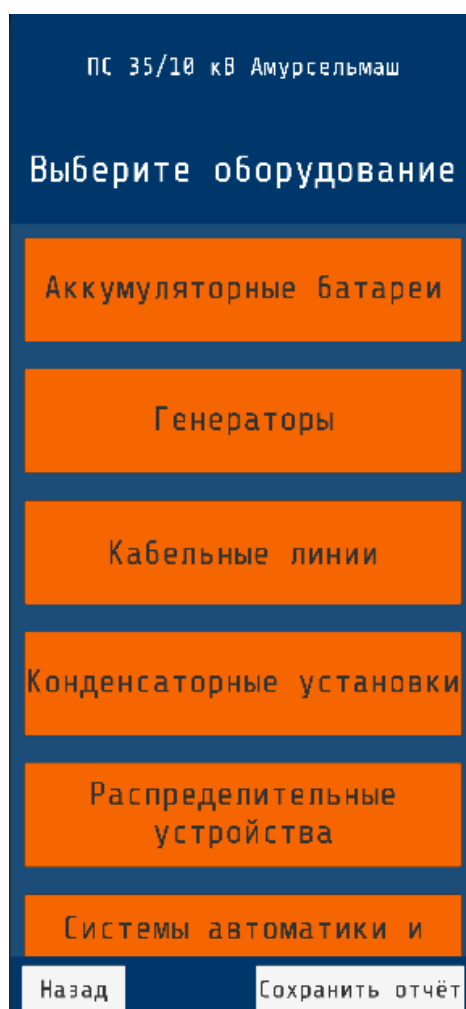


Рисунок 3.24 – Подсвеченные кнопки типов оборудования

ПС 35/10 кВ Амурсельмаш

Сохранение отчёта

Замеры завершены

☒ Отправить отчёт на эл.почту

drsk.dfo@mail.ru

Назад Сохранить отчёт

Рисунок 3.25 – Написание комментария и почты в окне формирования отчёта

Сегодня			
	ПС 35/10 кВ Амурсельмаш	ПС 35/10 кВ Амур Это отчет ПС 35/10 кВ Амур	 11:07
Вчера			
	ПС 220/110/35/10 кВ Тында	ПС 220/110/35/10 кВ Тында	 26 апр

Рисунок 3.26 – Получение отчёта на электронную почту

Модель	Параметр	Ед. изм.	Значение	Время
	Общее время сбора	минута	2	
	ФИО		Никита Тарасов Артёмович	
	Комментарий		Замеры завершены	
TM3-35 SN-1473468	Температура масла	°C	5	29.04.2025 18:32
TM3-35 SN-1473468	Температура обмот	°C	4	29.04.2025 18:32
TM3-35 SN-1473468	Уровень масла	%	4	29.04.2025 18:32
TM3-35 SN-1473468	Напряжение первич	В	8	29.04.2025 18:32
TM3-35 SN-1473468	Напряжение вторич	В	1	29.04.2025 18:32
TM3-35 SN-1473468	Ток	А	8	29.04.2025 18:32
TM3-35 SN-1473468	Мощность	кВт	0	29.04.2025 18:32
TM3-35 SN-1473468	Коэффициент трансформации		4	29.04.2025 18:32
KCO-35 SN-1004245	Без дефектов выключателей		Нет	29.04.2025 18:31
KCO-35 SN-1004245	Без дефектов разъединителей		Нет	29.04.2025 18:31
KCO-35 SN-1004245	Ток фазы А	А	8	29.04.2025 18:31
KCO-35 SN-1004245	Ток фазы В	А	4	29.04.2025 18:31
KCO-35 SN-1004245	Ток фазы С	А	0	29.04.2025 18:31

Рисунок 3.27 – Часть отчёта Report.csv полученная на почту

Формирование и отправка отчётов тестировались в сцене ReportScene. После ввода данных для всех типов оборудования на подстанции инженер сформировал отчёт в формате CSV, включающий все записи из measurements.csv для выбранной подстанции с полями: идентификатор подстанции, идентификатор модели, параметры, временная метка и комментарий инженера. Инженер ввёл комментарий «Замеры завершены» и указал адрес электронной почты drsk.dfo@mail.ru. Отчёт сохранялся в папку «Загрузки» под именем Report.csv. При наличии интернет-соединения отчёт отправлялся через SMTP-клиент (сервер smtp.yandex.com, порт 587) с адреса drsk.dfo@yandex.ru. В офлайн-режиме отчёт сохранялся локально для последующей отправки. Кнопки типов оборудования, для которых были введены данные, подсвечивались оранжевым, как показано на рисунке 3.24. Процесс написания комментария и отправки отчёта представлен на рисунке 3.25, а получение отчёта на почту – на рисунке 3.26. Часть отчёта в формате CSV показана на рисунке 3.27.

3.3.8 Дополнительные сценарии

При вводе неверного логина и пароля система отображала сообщение «Неверный логин или пароль», а при неверном пароле для правильного логина – «Неверный пароль», как показано на рисунке 3.28.

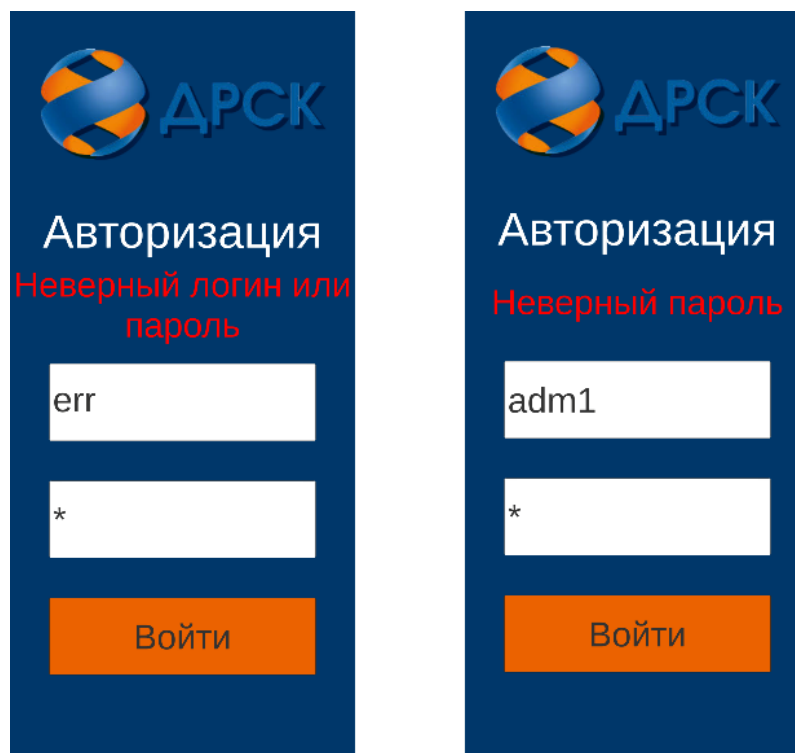


Рисунок 3.28 – Варианты типов ошибок при авторизации

Все основные и дополнительные сценарии тестирования были выполнены успешно без обнаружения ошибок. Это подтверждает, что приложение работает корректно, данные обрабатываются точно, а пользовательский интерфейс удобен в использовании. Тестирование охватило все ключевые функции, включая авторизацию, управление данными, ввод данных и генерацию отчётов, что обеспечивает готовность приложения к эксплуатации на подстанциях ДРСК. Автономный режим работы и возможность локального сохранения данных делают приложение пригодным для использования в условиях ограниченного интернет-соединения, характерных для удалённых подстанций.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения магистерской диссертации было разработано мобильное приложение для обработки данных контрольных измерений на подстанциях ДРСК, которое автоматизирует процесс сбора и обработки данных, заменяя устаревшие ручные методы.

В работе были выполнены следующие задачи:

- Проведён анализ предметной области, включая изучение процессов сбора и обработки данных на подстанциях ДРСК, а также анализ существующих программных решений. Это позволило выявить недостатки текущих систем, таких как отсутствие поддержки ручного ввода данных и высокие затраты на внедрение, и определить ключевые требования к новому приложению;

- Разработана архитектура и интерфейс приложения, учитывающие специфику работы с данными с 735 подстанций, включая поддержку двух ролей пользователей: администраторов и инженеров;

- Выбрана методология проектирования программ, подходящая для разработки данного приложения, с учётом требований к функциональности и масштабируемости;

- Приложение разработано с использованием Unity и C#, что обеспечивает кросс-платформенность, удобство разработки и возможность работы в автономном режиме;

- Реализованы ключевые функции, включая управление пользователями, ввод данных о состоянии оборудования, генерацию отчётов в формате CSV и отправку их по электронной почте;

- Проведены тесты, подтвердившие работоспособность приложения и соответствие всем поставленным требованиям, включая надёжность, автономность и удобство использования.

Разработанное приложение значительно упрощает процесс обработки данных контрольных измерений на подстанциях ДРСК, повышая эффективность операций, снижая вероятность ошибок и обеспечивая соответствие нормативным

требованиям. Оно также демонстрирует применение современных технологий программирования в решении задач энергетического сектора, что имеет как практическое, так и научное значение.

В целом, данная работа вносит вклад в развитие автоматизации процессов в энергетической отрасли, предоставляя эффективное решение для управления данными на подстанциях и открывая перспективы для дальнейшего развития подобных систем.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Агуров П. С#. Сборник рецептов / П. Агуров. – М. : "БХВ-Петербург", 2012. – 432 с.
- 2 Албахари Джозеф С# 9.0. Справочник / Джозеф Албахари, Бен Албахари – М. : БХВ-Петербург, 2022. – 944 с.
- 3 Арораа Г., Чилберто Д. Паттерны проектирования для С# и платформы .NET Core / Г. Арораа, Д. Чилберто. – М. : Питер, 2021. – 358 с.
- 4 Биллиг В. А. Основы программирования на С#. – М. : Интернет-университет информационных технологий, Бином. Лаборатория знаний, 2012. – 488 с.
- 5 Бишоп Дж. С# в кратком изложении / Дж. Бишоп, Н. Хорспул. – М. : Бином. Лаборатория знаний, 2020. – 472 с.
- 6 Вагнер Б. С# Эффективное программирование / Б. Вагнер – М. : ЛОРИ, 2021. – 320 с.
- 7 Васильев А. Н. Программирование на С# для начинающих / А. Н. Васильев – М. : Литрес, 2023. – 412 с.
- 8 Глушаков С. В. Программирование в Microsoft Visual Studio 2012 / С. В. Глушаков, Д. В. Катеринич. – Харьков: Фолио, 2013. – 478 с.
- 9 ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207-2010. «Информационная технология. Системная и программная инженерия. Процессы жизненного цикла программных средств». – М. : Стандартинформ, 2011. – 44 с.
- 10 Гримм, Р. С++20 в деталях / Р. Гримм ; под редакцией А. Ю. Романова ; перевод с английского А. В. Борескова; под науч. ред. А. Ю. Романова, И. И. Романовой. – Москва : ДМК Пресс, 2023. – 518 с.
- 11 Гриффитс И. Програмируем на С# 8.0 / И. Гриффитс. – М. : ДМК Пресс, 2021. – 451 с.
- 12 Демин А. В. Информатика. Программирование на С# в Visual Studio: учебное пособие / А. В. Демин, В. Е. Дорофеев. – М.: Русайнс, 2021. – 256 с.

- 13 Диагностика электрических аппаратов, распределительных устройств электростанций и подстанций. Методические указания МУ 1.3.99.0037-2009. – М. : Энергия, 2014. – 92 с.
- 14 Зенков А. В. Информационная безопасность и защита информации: учебное пособие для вузов / А. В. Зенков. – М. : Издательство Юрайт, 2024. – 107 с.
- 15 Зиборов В. В. Visual C# 2012 на примерах / В. В. Зиборов. – М. : БХВ-Петербург, 2013. – 480 с.
- 16 Инструкция по организации и производству работ в устройствах релейной защиты и электроавтоматики электростанций и подстанций СО 34.35.302-2006. – М. : Альвис, 2013. – 212 с.
- 17 Инструкция по проведению режимных замеров [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://forca.ru/instrukcii/dispatcherskie/instrukciya-po-provedeniyu-rezhimnyh-zamerov.html> – 11.05.2025.
- 18 Ишкова Э. А. Самоучитель C#. Начала программирования / Э. А. Ишкова. – М. : Наука и техника, 2013. – 496 с.
- 19 Казанский А. А. Программирование на C#: учебное пособие для вузов / А. А. Казанский. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Издательство Юрайт, 2025. – 181 с.
- 20 Касаткин А. И. Профессиональное программирование на языке Си. Управление ресурсами / А. И. Касаткин. – М. : Высшая школа, 2020. – 432 с.
- 21 Коцюба И. Ю., Чунаев А. В., Шиков А. Н. Основы проектирования информационных систем: учебное пособие / И. Ю. Коцюба, А. В. Чунаев, А. Н. Шиков. – СПб. : Университет ИТМО, 2019. – 206 с.
- 22 Красник В. В. Эксплуатация электрических подстанций и распределительных устройств. / В. В. Красник. – М. : НЦ ЭНАС, 2010. – 218 с.
- 23 Культин Н. Б. Visual C# 2010 в примерах / Н. Б. Культин. – М. : БХВ-Петербург, 2011. – 384 с.
- 24 Лотка Р. C# и CSLA .NET Framework. Разработка бизнес-объектов / Р. Лотка. – М. : Вильямс, 2019. – 816 с.

- 25 Лямин, А. В. Языки программирования C/C++ : учебное пособие / А. В. Лямин, Е. Н. Череповская. – Санкт-Петербург : НИУ ИТМ, 2017. – 71 с.
- 26 Марченко А. Л. Основы программирования на C# 2.0 / А. Л. Марченко. – М. : Интернет-университет информационных технологий, Бином. Лаборатория знаний, 2020. – 552 с.
- 27 Мартыненко Т. В., Турупалов В. В., Андриевская Н. К.; под общ. ред. В. В. Турупалова Основы визуального программирования в среде Visual Studio на базе C#: учебное пособие / Т. В. Мартыненко, В. В. Турупалов, Н. К. Андриевская; под общ. ред. В. В. Турупалова. – М. ; Вологда: Инфра-Инженерия, 2023. – 232 с.
- 28 Методические указания по определению электромагнитных обстановок и совместимости на электрических станциях и подстанциях. – М. : Энергия, 2014. – 76 с.
- 29 Мюллер Д. П., Семпф Б., Сфер Ч. C# для чайников / Д. П. Мюллер, Б. Семпф, Ч. Сфер. – М. : Диалектика, 2019. – 404 с.
- 30 Наков С. Основы программирования на C# / С. Наков – М. : EasyCode Academy, 2013. – 598 с.
- 31 Подбельский В. В. Язык C#. Базовый курс / В. В. Подбельский. – М. : Финансы и статистика, Инфра-М, 2020. – 384 с.
- 32 Прайс М. Visual C# 2.0. Полное руководство / М. Прайс. – М. : Век +, Корона-Век, Энтроп, 2010. – 736 с.
- 33 Прайс М. C# 10 и .NET 6. Современная кроссплатформенная разработка / М. Прайс. – М. : Вильямс, 2023. – 591 с.
- 34 Программирование на языке C# : учебное пособие / Р. Г. Гильванов, Л. М. Божко, А. Д. Хомоненко, И. Д. Липанов. – Санкт-Петербург : ПГУПС, 2024. – 89 с.
- 35 Рендольф Н., Гарднер Д., Минутилло М., Андерсон К. Visual Studio 2010 для профессионалов. / Н. Рендольф, Д. Гарднер, М. Минутилло, К. Андерсон. – М. : Вильямс, 2011. – 1184 с.

- 36 Рихтер Дж. CLR via C#. Программирование на платформе Microsoft .NET Framework 4.5 на языке C# / Дж. Рихтер. – М. : Питер, 2017. – 928 с.
- 37 Рязанова Н. Ю. Программирование на языке C# в среде Visual Studio CLR Windows Forms / Н. Ю. Рязанова. – М.: ДМК Пресс, 2020. – 352 с.
- 38 Скит Д. C# для профессионалов. Тонкости программирования / Д. Скит. – М. : Питер, 2019. – 512 с.
- 39 Смоленцев Н. К. Программирование на Visual C#, Borland JBuilder / Н. К. Смоленцев. – М. : ДМК Пресс, 2011. – 456 с.
- 40 Стилмен Э., Грин Д. Head First. Изучаем C# / Э. Стилмен, Д. Грин. – М. : О'Реилли, 2022. – 704 с.
- 41 Сибикин Ю. Электрические подстанции. Учебное пособие. / Ю. Сибикин. – М.: РадиоСофт, 2014. – 416 с.
- 42 Троелсен Э. Язык программирования C# 8.0 и платформа .NET 4.5 / Э. Троелсен. – М. : Вильямс, 2021. – 486 с.
- 43 Тюкачев, Н. А. C#. Основы программирования : учебное пособие для СПО / Н. А. Тюкачев, В. Г. Хлебостроев. – 4-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2025. – 272 с.
- 44 Тюкачев, Н. А. C#. Алгоритмы и структуры данных / Н. А. Тюкачев. – 6-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2023. – 232 с.
- 45 Фленов М. Е. Библия C# / М. Е. Фленов. – СПб. : БХВ-Петербург, 2017. – 496 с.
- 46 Фримен А. ASP.NET MVC 3 Framework с примерами на C# для профессионалов / А. Фримен, С. Сандерсон. – М. : Вильямс, 2011. – 672 с.
- 47 Хокинг Дж. Unity в действии. Мультиплатформенная разработка на C# : 2-е межд. издание / Дж. Хокинг. – СПб. : Питер, 2020. – 352 с.
- 48 Шилдт Г. C# 4.0: Полное руководство / Г. Шилдт. – М.: Вильямс, 2010. – 1088 с.
- 49 Microsoft Visual Studio 2010: A Beginner's Guide. – 2011. – 448 p.
- 50 Nagel, Christian. Professional C# 9 and .NET 5. – Hoboken: Wiley, 2021. – 1008 p.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Техническое задание

1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

1.1 Полное наименование системы

Приложение для обработки данных контрольных замеров на подстанциях «ДРСК»

1.2 Наименование предприятий разработчика и заказчика системы

Разработчик: студент группы 3105-ом факультета математики и информатики Амурского государственного университета Казаков Игорь Вадимович

Заказчик: АО «ДРСК»

1.3 Перечень документов

Перечень документов, на основе которых проектируется система:

- ГОСТ 34.602-89 – техническое задание на проектирование автоматизированной системы управления;
- Нормативные требования Ростехнадзора и Министерства энергетики Российской Федерации;
- Первичные документы.

1.4 Плановые сроки начала и окончания работы

Плановые сроки начала и окончания работ по созданию системы: начало разработки – 01.10.2023 г., окончание – 31.05.2025 г.

2 НАЗНАЧЕНИЕ И ЦЕЛИ СОЗДАНИЯ СИСТЕМЫ

2.1 Назначение системы

Автоматизация процессов сбора, обработки и хранения данных контрольных измерений на подстанциях АО "ДРСК", замена устаревших ручных методов (бумажные журналы, таблицы Excel) на цифровое решение, обеспечивающее эффективность и точность.

2.2 Цели создания системы

Цели создания приложения:

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЕ А

- Упрощение и ускорение процесса сбора и обработки данных контрольных измерений;
- Минимизация человеческих ошибок при ручном вводе данных;
- Обеспечение структурированного хранения и оперативного анализа данных для поддержки принятия решений;
- Соответствие нормативным требованиям Ростехнадзора и Министерства энергетики РФ;
- Обеспечение автономной работы приложения в условиях ограниченного интернет-соединения.

3 ТРЕБОВАНИЯ К СИСТЕМЕ

3.1 Требования к функциям, выполняемым системой

Функции администратора:

- Добавление и удаление пользователей с указанием их учётных данных и ролей.
- Добавление и удаление подстанций в одном из пяти регионов с указанием характеристик.
- Добавление и удаление оборудования на выбранных подстанциях с указанием типа, модели и уникального идентификатора.

Функции инженера:

- Последовательный выбор региона, подстанции, типа оборудования и конкретной модели с уникальным идентификатором.
- Ввод данных контрольных измерений (числовые значения, текстовые описания, бинарные статусы) с валидацией параметров и единиц измерения.
- Генерация отчёта, содержащего все введённые данные по оборудованию подстанции, в формате CSV.
- Отправка отчёта по электронной почте (по умолчанию:

drsk.dfo@mail.ru) с возможностью сохранения локально при отсутствии интернета.

- Автоматическое сохранение введенных данных при закрытии приложения для предотвращения потерь.

- Работа в автономном режиме с локальным хранением данных в CSV-файлах.

- Отложенная отправка отчетов при восстановлении интернет-соединения.

3.2 Требования к видам обеспечения

3.2.1 Требования к математическому обеспечению

Использование стандартных библиотек C# для обработки данных; сложные алгоритмы не требуются.

3.2.2 Требования к информационному обеспечению

Доступ к файловой системе мобильного устройства для чтения и записи CSV-файлов; использование PlayerPrefs для временного хранения данных.

3.2.3 Требования к лингвистическому обеспечению

Система основывается на языке программирования: C#

3.2.4 Требования к программному обеспечению

Разработка: Unity 6000.0.27f1, C#, Visual Studio, библиотеки Unity UI Toolkit, TextMeshPro, CSV Helper, System.Net.Mail.

Для пользователей: установленное приложение на мобильных устройствах (Android, iOS).

3.2.5 Требования к техническому обеспечению

Мобильные устройства с характеристиками, достаточными для запуска приложений Unity:

Процессор: 2 ГГц или выше.

Оперативная память: 2 ГБ или более.

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЕ А

Свободное место: не менее 50 МБ.

Наличие сенсорного экрана и доступа к интернету (для отправки отчётов).

3.2.6 Требования к организационному обеспечению

Интеграция в рабочие процессы ДРСК, обучение персонала (администраторов и инженеров) работе с приложением.

3.2.7 Требования к метрологическому обеспечению

Валидация входных данных на стороне клиента для обеспечения точности измерений.

3.2.8 Требования к методическому обеспечению

Требования к методическому обеспечению не предъявляются.

3.3 Требования к интерфейсу

Интуитивно понятный, минималистичный интерфейс с крупными элементами управления, чёткими надписями, логичной навигацией, динамическими формами и визуальной обратной связью.

3.4 Требования к эргономике и технической эстетике

– Соответствие стандартам доступности (высокая контрастность, читаемый размер шрифта);

– Минимизация действий пользователя для выполнения задач;

– Допустимая цветопередача и видимость информации на экране.

3.5 Требования к надёжности и безопасности

Стабильная работа с защитой от сбоев, автоматическое сохранение данных, создание резервных копий.

Восстановление временных данных после сбоев.

Обеспечение целостности и конфиденциальности данных.

3.6 Требования к защите информации от несанкционированного доступа

Аутентификация пользователей через логин и пароль.

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЕ А

3.7 Требования к сохранности информации при авариях

Автоматическое сохранение данных в CSV-файлах и PlayerPrefs; возможность восстановления работы после корректного перезапуска приложения.

4 СОСТАВ И СОДЕРЖАНИЕ РАБОТ ПО СОЗДАНИЮ СИСТЕМЫ

4.1 Перечень стадий и этапов работ по созданию системы

Этап 1 – исследование предметной области: анализ энергетического сектора и операций ДРСК, изучение нормативных требований.

Этап 2 – составление технического задания: определение требований заказчика, выбор технических и программных средств, уточнение функций системы.

Этап 3 – разработка архитектуры и пользовательского интерфейса приложения.

Этап 4 – разработка программного продукта с использованием Unity и C#.

Этап 5 – тестирование приложения на соответствие функциональным и нефункциональным требованиям.

Этап 6 – согласование программной реализации с требованиями заказчика, устранение замечаний.

Этап 7 – внедрение и сопровождение: установка приложения, обучение пользователей, устранение неполадок.

4.2 Сроки выполнения

На разработку приложения отводится срок с 01.10.2023 по 31.05.2025 г.

4.3 Состав организации и исполнителей работ

Все работы выполняются студентом Амурского государственного университета Казаковым Игорем Вадимовичем.

4.4 Вид и порядок экспертизы технической документации

Вид и порядок экспертизы технической документации определяет Заказчик в одностороннем порядке.

5 ПОРЯДОК КОНТРОЛЯ И ПРИЕМКИ СИСТЕМЫ

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЕ А

5.1 Виды, состав, объём и методы испытаний

Этап 1 – полное тестирование всех функций: аутентификация, управление пользователями, подстанциями и оборудованием, ввод данных, генерация и отправка отчётов, обработка ошибок.

Этап 2 – проверка нефункциональных требований: надёжность, автономность, производительность, удобство использования.

Этап 3 – тестирование на различных устройствах для подтверждения кроссплатформенности.

5.2 Общие требования приёмки работ по стадиям

Сдача-приёмка работ производится поэтапно, в соответствии с рабочей программой и календарным планом. Приемка осуществляется комиссией, в состав которой входят представители Заказчика. Приемка информационной системы осуществляется в присутствии представителей Исполнителя. По результатам приемки подписывается акт приемочной комиссии.

Все программные изделия передаются заказчику в виде готовых модулей и исходных кодов на электронном носителе.

6 ТРЕБОВАНИЯ К СОСТАВУ И СОДЕРЖАНИЮ РАБОТ ПО ПОДГОТОВКЕ ОБЪЕКТА АВТОМАТИЗАЦИИ К ВВОДУ СИСТЕМЫ В ДЕЙСТВИЕ

6.1 Преобразование входной информации в машиночитаемый вид

Не требуется, так как приложение предназначено для ввода новых данных контрольных измерений; импорт существующих данных не предусмотрен.

6.2 Сроки и порядок комплектования и обучения персонала

– До внедрения приложения АО "ДРСК" должно сформировать штат пользователей (администраторы и инженеры).

– Обучение персонала проводится после завершения разработки, с предоставлением руководств пользователя и демонстрацией функционала.

– Сроки и программы обучения уточняются на этапе внедрения.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

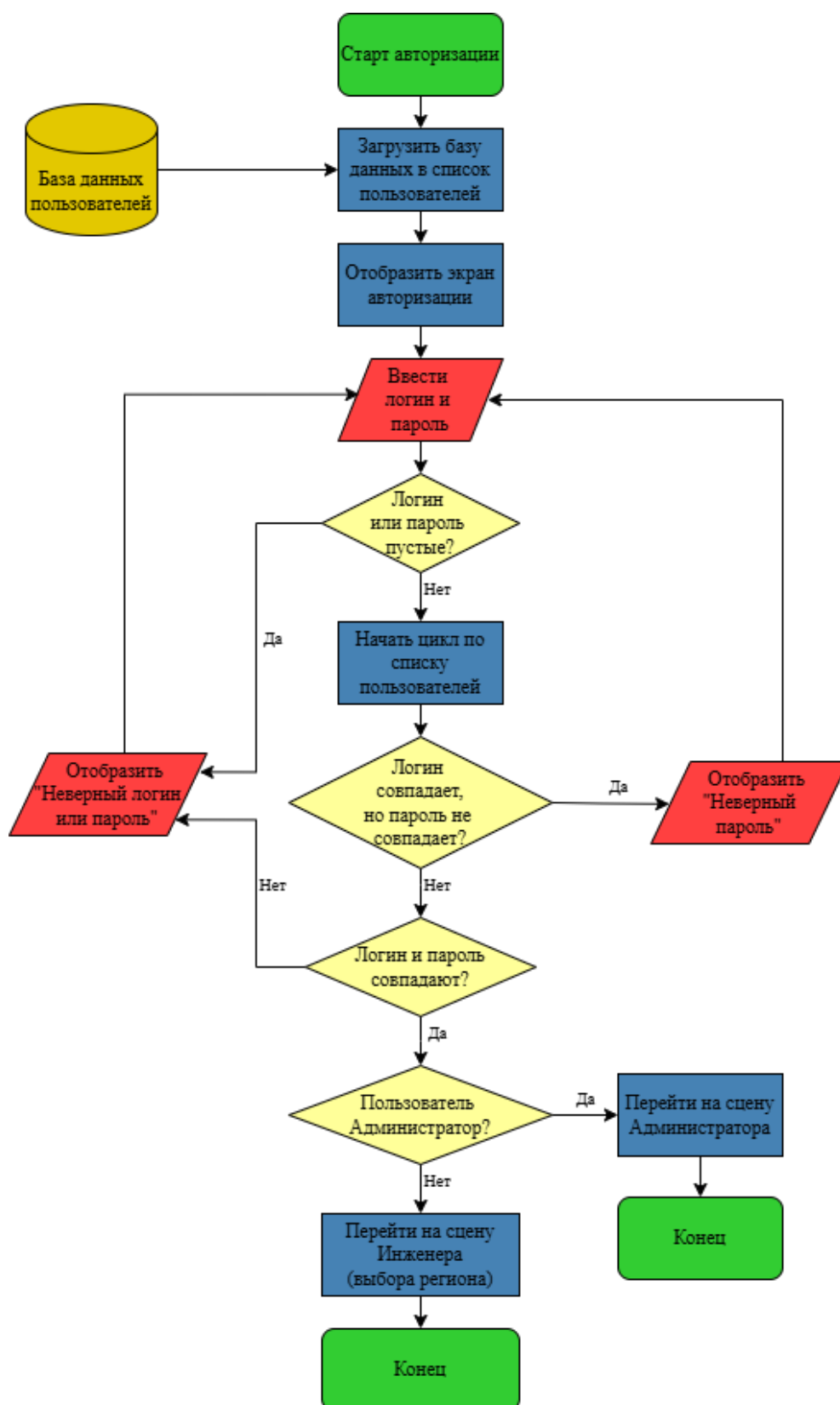


Рисунок Б.1 – Схема авторизации пользователя

ПРИЛОЖЕНИЕ В

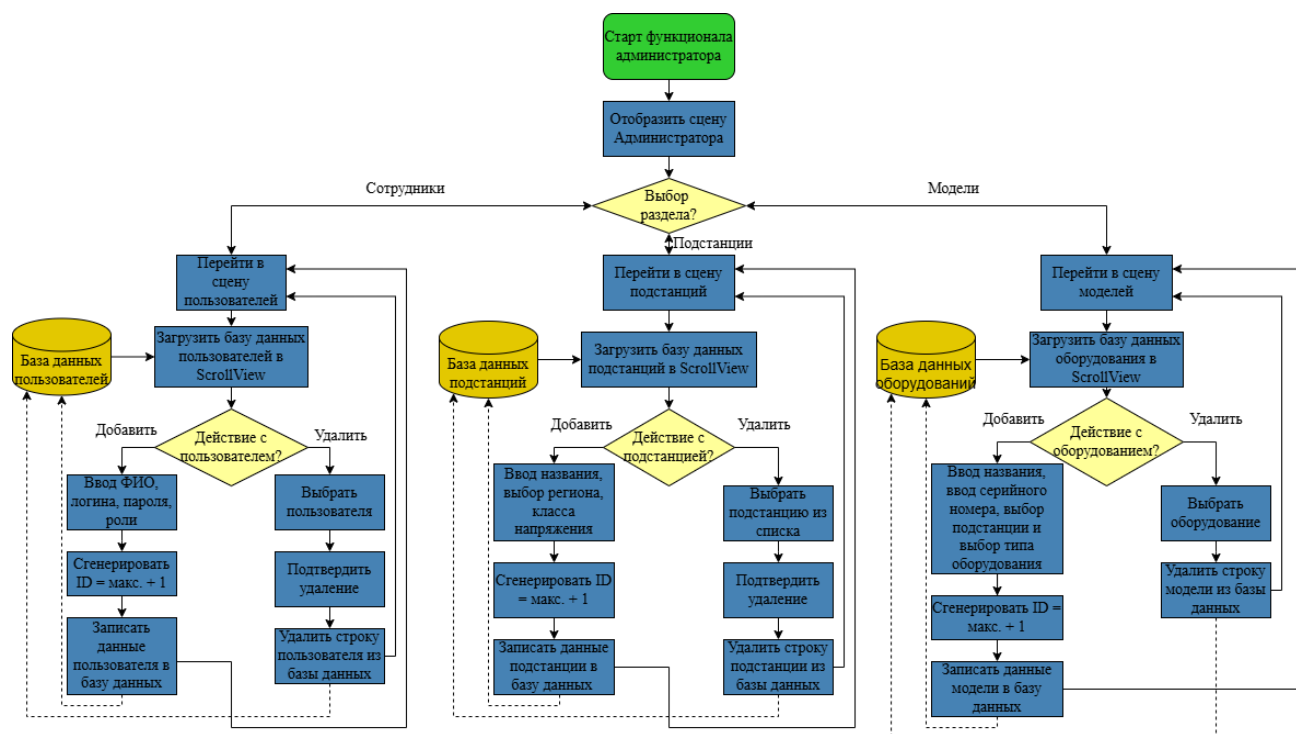


Рисунок В.1 – Схема функционала роли администратора

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

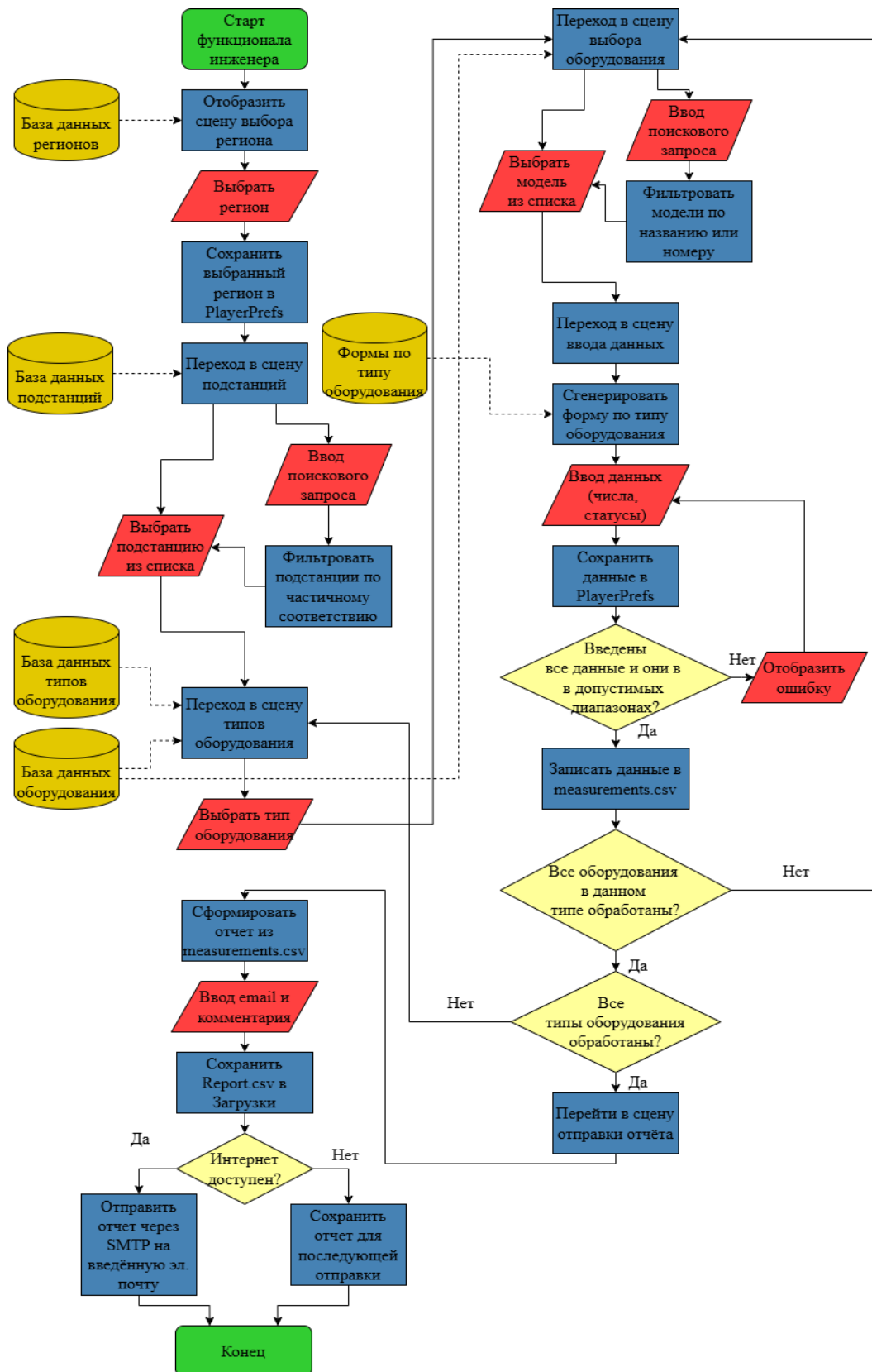


Рисунок Г.1 – Схема функционала роли инженера