

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа информационных технологий и робототехники
Направление подготовки 15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств
Отделение автоматизации и робототехники

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Исследование адаптивных алгоритмов управления сетевыми трафиками передачи данных с нефтегазового месторождения

УДК 681.513.6:004.724.2:622.323

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ТМб1	Киреев Павел Александрович		

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ВКР, доцент ОАР ИШИТР	Громаков Евгений Иванович	к.т.н.		
Консультант ВКР, начальник отдела АСУТП ОАО «ТомскНИПИнефть»	Зебзеев Алексей Григорьевич	к.т.н.		
Руководитель ООП, доцент ОИТ ИШИТР	Суходоев Михаил Сергеевич	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения социально- гуманитарных наук ШБИП	Верховская Марина Витальевна	к.экон.н		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ИШХБМТ	Невский Егор Сергеевич	-		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ОАР	Леонов Сергей Владимирович	к.т.н.		

Томск – 2018 г.

РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код рез-та	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные</i>		
P1	применять глубокие естественно-научные, математические знания в области анализа, синтеза и проектирования для решения научных и инженерных задач производства и эксплуатации автоматизированных систем, включая подсистемы управления и их программное обеспечение.	Требования ФГОС (ПК-1, ПК-3, ОПК-1, ОПК-4, ОК-1, ОК-9), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P2	воспринимать, обрабатывать, анализировать и обобщать научно-техническую информацию, передовой отечественный и зарубежный опыт в области теории, проектирования, производства и эксплуатации автоматизированных систем, принимать участие в командах по разработке и эксплуатации таких устройств и подсистем.	Требования ФГОС (ПК-3, ПК-4, ПК-7, ОПК-1, ОПК-3, ОК-1, ОК-4, ОК-5, ОК-6, ОК-9), Критерий 5 АИОР(пп. 1.1, 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P3	применять и интегрировать полученные знания для решения инженерных задач при разработке, производстве и эксплуатации современных автоматизированных систем и подсистем (в том числе интеллектуальных) с использованием технологий машинного обучения, современных инструментальных и программных средств.	Требования ФГОС (ПК-2, ПК-3, ПК-4, ПК-5, ПК-15, ПК-18, ОПК-3, ОПК-6, ОК-1, ОК-5, ОК-6, ОК-7), Критерий 5 АИОР (пп. 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P4	определять, систематизировать и получать необходимую информацию в области проектирования, производства, исследований и эксплуатации автоматизированных систем, устройств и подсистем.	Требования ФГОС (ПК-7, ПК-10, ПК-11, ПК-12, ПК-18, ОПК-4, ОПК-6, ОК-1, ОК-4, ОК-6, ОК-8), Критерий 5АИОР (п.1.3), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P5	планировать и проводить аналитические, имитационные и экспериментальные исследования для целей проектирования, производства и эксплуатации систем	Требования ФГОС (ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-4, ПК-5, ПК-6, ПК-13, ПК-17, ПК-18, ОПК-2, ОПК-3, ОК-1, ОК-3, ОК-4, ОК-6, ОК-7, ОК-8, ОК-9), Критерий 5АИОР (п.

	управления технологическим процессом и подсистем (в том числе интеллектуальных) с использованием передового отечественного и зарубежного опыта, уметь критически оценивать полученные теоретические и экспериментальные данные и делать выводы.	1.4), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P6	понимать используемые современные методы, алгоритмы, модели и технические решения в автоматизированных системах и знать области их применения, в том числе в составе безлюдного производства.	Требования ФГОС (ПК-1, ПК-2 ПК-3, ПК-7, ОПК-1, ОПК-3, ОПК-4, ОК-5, ОК-9, ОК-10), Критерий 5 АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
<i>Универсальные</i>		
P7	эффективно работать в профессиональной деятельности индивидуально и в качестве члена команды.	Требования ФГОС (ПК-1, ПК-2 ПК-7, ПК-8, ПК-16, ПК-17, ОК-1, ОК-2, ОК-4, ОК-6, ОК-9), Критерий 5 АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P8	владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде с пониманием культурных, языковых и социально-экономических различий	Требования ФГОС (ПК-4, ПК-8, ПК-9, ПК-16, ОПК-4, ОК-5), Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P9	проявлять широкую эрудицию, в том числе знание и понимание современных общественных и политических проблем, демонстрировать понимание вопросов безопасности и охраны здоровья сотрудников, юридических аспектов, ответственности за инженерную деятельность, влияния инженерных решений на социальный контекст и окружающую среду	Требования ФГОС (ПК-5, ПК-8, ПК-15, ПК-16, ПК-18, ОПК-1, ОПК-4, ОПК-5, ОК-3, ОК-4, ОК-5, ОК-6, ОК-8, ОК-9), Критерий 5 АИОР (пп. 1.6, 2.3.), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEAN
P10	следовать кодексу профессиональной этики и ответственности и международным нормам инженерной деятельности	Требования ФГОС (ПК-8, ПК-11, ПК-16, ОПК-3, ОПК-6, ОК-4), Критерий 5 АИОР (пп. 2.4, 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P11	понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ПК-4, ПК-8, ОПК-3, ОПК-4, ОК-5, ОК-6, ОК-7, ОК-8), Критерий 5 АИОР (2.6), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI.

Министерство образования и науки Российской Федерации
 федеральное государственное автономное образовательное учреждение
 высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки 15.04.04 Автоматизация технологических процессов и
 производств
 Отделение автоматизации и робототехники

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ Суходоев М.С.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ
 на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

магистерской диссертации (бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)
--

Студенту:

Группа	ФИО
8ТМ61	Кирееву Павлу Александровичу

Тема работы:

Исследование адаптивных алгоритмов управления сетевыми трафиками передачи данных с нефтегазового месторождения.

Утверждена приказом директора (дата, номер)	
---	--

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объектом исследования является куст скважин, оснащенный блоком местной автоматики с узлом УКВ связи. Ретроспективные данные нефтегазового месторождения. Математическая модель алгоритма в среде Stateflow.</p> <p>Цель работы: исследовать текущее состояние сетевого канала передачи данных и разработать прикладное программное обеспечение адаптивного алгоритма на базе DNP 3 протокола.</p>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1) Техническое задание; 2) Анализ существующих условий применения адаптивных алгоритмов. 3) Рассмотрение архитектуры и проблем традиционных сетей. 4) Проектирование АСУ ТП механизированной добычи нефти. 5) Описание сервисных примитивов пользователя; 6) Разработка структуры сообщения прикладного уровня в IEC 60870-5-104

Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	1) Структурная схема кустовой площадки; 2) Результаты эксперимента; 3) Функциональная схема автоматизации нагнетательного коллектора; 4) Функциональная схема автоматизации измерительной установки.
---	---

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы
(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Верховская Марина Витальевна, доцент отделения социально-гуманитарных наук ШБИП, к.экон.н.
Социальная ответственность	Невский Егор Сергеевич, ассистент ИШХБМТ
Раздел на иностранном языке	Шепетовский Денис Владимирович, ст. преподаватель отделения иностранных языков

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

1.2.2. Требования к структуре технологической сети
1.2.5. Требования к безопасности передачи информации
2. Анализ существующих условий применения адаптивных алгоритмов
2.4 Структура системы контроля энергоэффективности
2.5. Основные прикладные функции
2.7. Инициализация точки приема
DNP 3 protocol features DNP Master Address TCP Keep Alive Network communication

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
---	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения автоматизации и робототехники ИШИТР	Громаков Евгений Иванович	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ТМ61	Киреев Павел Александрович		

Министерство образования и науки Российской Федерации
 федеральное государственное автономное образовательное учреждение
 высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки 15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств
 Уровень образования – магистратура
 Отделение автоматизации и робототехники
 Период выполнения – весенний семестр 2017/2018 учебного года

Форма представления работы:

1.1.1.1 Магистерская диссертация

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
 выполнения выпускной квалификационной работы**

1.1.1.2 Срок сдачи студентом выполненной работы:	
---	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
28.05.2018	Основная часть	60
21.05.2018	1.1.1.3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	20
24.05.2018	1.1.1.4 Социальная ответственность	20

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Громаков Евгений Иванович	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОИТ ИШИТР	Суходоев Михаил Сергеевич	к.т.н.		

Реферат

ВКР содержит 130 страниц машинописного текста, 14 таблиц, 19 рисунков, 1 список использованных источников из 22 наименований, 4 приложения.

Объектом исследования является блок автоматики с узлом связи кустовой площадки.

Цель работы – исследование адаптивных алгоритмов управления сетевыми трафиками передачи данных с нефтегазового производства.

В настоящей работе приведены решения по разработке алгоритма формирования блоков передачи данных с кустовой площадки. При реализации передачи данных со всех удаленных объектов на один диспетчерский пункт возникают проблемы, связанные, например, с недостаточным быстродействием системы и низкой достоверности передаваемых значений параметров технологического процесса

Разработанный алгоритм позволяет оптимизировать потоки данных технологических параметров, подстроиться под текущую ситуацию на объекте и сформировать сообщения на прикладном уровне для ретрансляции их в вышестоящие системы нефтеконтроля.

Ниже представлен перечень ключевых слов:

АДАПТИВНЫЙ АЛГОРИТМ, DNP 3 ПРОТОКОЛ, УКВ СВЯЗЬ, ПРИКЛАДНЫЕ ФУНКЦИИ, СТАНДАРТ СВЯЗИ, IEC-60870-5-104.

Глоссарий

Термин	Определение
Автоматизированная система управления технологическим процессом (АСУ ТП)	Автоматизированная система управления технологическим процессом – комплекс программных и технических средств, предназначенный для автоматизации управления технологическим оборудованием на предприятиях.
Интерфейс	Интерфейс – это совокупность средств (программных, технических, лингвистических) и правил для обеспечения взаимодействия между различными программными системами, между техническими устройствами или между пользователем и системой
Протокол	Протокол – это набор правил, позволяющий осуществлять соединение и обмен данными между двумя и более включёнными в соединение программируемыми устройствами
Техническое задание на АС (ТЗ)	Утвержденный в установленном порядке документ, определяющий цели, требования и основные исходные данные, необходимые для разработки автоматизированной системы
Технологический процесс (ТП)	Утвержденный в установленном порядке документ, определяющий цели, требования и основные исходные данные, необходимые для разработки автоматизированной системы
БД	База данных
НГД	Нефтегазодобыча
ТЕГ	ТЕГ – метка как ключевое слово, в более узком

	применении идентификатор для категоризации, описания, поиска данных и задания внутренней структуры
ПТК	Программно-технический комплекс
УКВ	Ультракороткие волны
MES (Manufacturing Execution System)	Система управления производственными процессами, специализированное прикладное программное обеспечение, предназначенное для решения задач синхронизации, координации, анализа и оптимизации выпуска продукции в рамках производства.
Система контроля энергоэффективности (СКЭ)	Автоматизированная система, позволяющая отслеживать показатели энергоэффективности по объектам НГД, а также выявлять и способствовать реализации потенциала энергосбережения добычного и другого нефтепромыслового оборудования.

Оглавление

Реферат	7
Глоссарий	8
Введение	13
1. Описание объекта исследования	14
1.2 Структура кустовой площадки НГД компании	14
1.2.1 Цели создания системы	14
1.2.2 Основные цели и задачи АСУ ТП:	14
1.2.3 Функции системы	14
1.2.4 Состав кустовой площадки	15
1.3 Техническое задание	17
1.3.1 Требования к техническим средствам системы передачи сигналов и данных	17
1.3.2 Требования к структуре технологической сети	18
1.3.3 Требования к оборудованию	21
1.3.4 Требования к интерфейсам Связи между плк и вторым уровнем АСУТП	25
1.4 Связи уровня приложений	26
1.5 Архитектура и проблемы традиционных сетей	27
2. Анализ существующих условий применения адаптивных алгоритмов передачи данных	31
2.1 Определения	32
2.2 Сервис пользователя	33
2.2.1 Сервисные примитивы пользователя	33
2.3 Общая концепция прикладных функций	34
2.4 Основные прикладные функции	36
2.5 Инициализация работы станций	40
2.5.1 Инициализация точки приема	42
2.6 Техническая реализация алгоритма передачи данных	43
2.6.1 Dnp3 современный коммуникационный протокол распределенных систем контроля и управления	43

2.6.2	Время ожидания подтверждения приложения (события).....	44
2.6.3	Многостраничные события DNP3	46
2.6.4	Работа с DNP3 с использованием протокола TCP / IP	46
2.6.5	Инициативные сообщения	49
2.6.6	Классы объектов.....	49
2.7	Некоторые особенности реализации стандарта IEC-60870-5-104 в системе программирования контроллеров I SaGRAF	53
2.7.1	Открытые протоколы: IEC 60870, DNP3 и UCA	53
2.7.2	Протокольный стек IEC 60870-5	57
2.7.3	Структура сообщения прикладного уровня в IEC 60870-5-104	59
2.7.4	Настройка интернет соединения	61
2.7.5	Сетевой уровень IP.....	62
2.7.6	Транспортный слой.....	63
2.8	Реализация адаптивного алгоритма на базе протокола IEC 60870-5-104 в I SaGRAF	66
2.9	Оценка возникновения ошибки при передаче данных	68
3.	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение..	76
3.1	Актуальность разработки	76
3.2	SWOT-анализ	77
3.3	Потенциальные потребители исследования	79
3.4	Планирование научно-исследовательской работы	80
3.4.1	Поэтапное распределение НИР	81
3.5	Расчет трудоемкости этапов распределения НИР	82
3.6	Составление сметы затрат на разработку проекта.....	86
3.6.1	Материальные затраты	86
3.6.2	Затраты на оплату труда.....	87
3.6.3	Дополнительная заработная плата исполнителей темы.....	90
3.6.4	Отчисления во внебюджетные фонды	91
3.7	Суммарные затраты на проектирование	91
3.8	Материальные затраты.....	92
3.9	Расчет затрат на внедрение.....	93
3.10	Оценка экономической эффективности разработки.....	94

3.10	Оценка экономической эффективности разработки.....	94
3.11	Заключение экономической части.....	95
4.	Социальная ответственность	97
4.1	Техническое оснащение объекта	98
4.2	Меры по защите данных от разрушений при авариях и сбоях в системе электропитания	100
4.3	Требования к источникам бесперебойного питания.....	100
4.4	Безопасность помещений телекоммуникационной инфраструктуры 103	
4.5	Корреляционная оценка работы адаптивного алгоритма	105
	Заключение	110
	Список использованных источников	111
	Приложение А	113
	Приложение Б.....	128
	Приложение В.....	129
	Приложение Г	130

Введение

На современных объектах нефтегазового сектора все чаще добавляются новые системы: объекты, структуры связи и коммуникаций, которые несут за собой новые потоки данных, которые требуется принять, обработать, систематизировать и передать во внешние системы заказчика. Так, на кустовые площадки многих российских нефтедобывающих компаниях внедрены комплексные системы АСТУЭ – автоматизированные системы технологического учета электроэнергии. Существующие системы коммуникаций находятся в плачевном состоянии. УКВ связи не достаточно для ретрансляции увеличившегося потока данных, поэтому кустовые площадки требуют организации нового канала связи на основе широкополосного беспроводного доступа (ШБД). Данная связь достигается путем реконструкций кустовых площадок и дооснащением их антенно-мачтовыми сооружениями. Такие мероприятия несут колоссальные материальные, временные и организационные затраты. Поэтому предметом магистерской диссертации является анализ применимости адаптивных алгоритмов управления передачи данных с нефтедобывающих кустовых площадок.

Цель – по разработанной математической модели алгоритма спорадической передачи данных реализовать действующее прикладное программное обеспечение для контроллерного оборудования телеметрии.

Инфраструктура нефтедобывающих предприятий, как правило, является распределенной с территориально удаленными объектами. При реализации передачи данных со всех удаленных объектов на один диспетчерский пункт возникают проблемы, связанные, например, с недостаточным быстродействием системы и низкой достоверности передаваемых значений параметров технологического процесса [1].

1. Описание объекта исследования

1.2 Структура кустовой площадки НГД компании

1.2.1 Цели создания системы

Автоматизированная система управления технологическим процессом (далее – АСУ ТП) предназначена для реализации функций автоматизированного управления технологическим процессом, а также для эффективной защиты и своевременной остановки технологического процесса при угрозе аварии и ее локализации по заданным алгоритмам.

1.2.2 Основные цели и задачи АСУ ТП:

- безопасность персонала;
- охрана окружающей среды;
- противоаварийная защита;
- контроль и управление технологическими и вспомогательными процессами;
- предоставление достаточного объема информации оперативному персоналу в целях обеспечения безопасного и эффективного управления процессом;
- передача данных в корпоративные системы управления предприятием.

1.2.3 Функции системы

Основными функциями проектируемой АСУ ТП являются:

- сбор текущих значений параметров ТП;
- контроль соответствия значений параметров ТП технологическому регламенту и сигнализация нарушений;
- контроль и сигнализация предаварийных состояний;
- регулирование параметров ТП;

- управление исполнительными устройствами по разработанным алгоритмам в соответствии с нормами технологического процесса;
- контроль и сигнализация нарушения санитарного режима (загазованность);
- контроль и сигнализация состояния технологического оборудования;
- сигнализация нештатных и аварийных ситуаций;
- сигнализация пожара;
- сигнализация отказов функций управления;
- визуализация текущих значений параметров в цифровом виде, в виде графиков, цветных мнемосхем и т.п.;
- вычисление расчетных параметров;
- контроль и регистрация действий оператора;
- регистрация данных, нарушений регламентных норм, нештатных и аварийных ситуаций;
- прогнозирование возможной аварии по анализу изменения параметров в сторону критических значений;
- выбор и реализация оптимальных управляющих воздействий по ликвидации аварии;
- проведение операций безаварийного пуска, остановки всех необходимых для этого переключений.

1.2.4 Состав кустовой площадки

В проектируемой системе предусматривается оснащение средствами контроля и управления кустовых площадок в составе:

- добывающая скважина;
- нагнетательная скважина;
- нагнетательный коллектор;
- узел учета количества воды на гидротранспорт;

- измерительная установка (ИУ);
- блок дозирования реагента (БДР);
- блок дозирования ингибитора солеотложений (УДЭ);
- емкость подземная $V=8,0$ м³;
- электроприводные задвижки;
- нефтесборный коллектор;
- измерительный коллектор;
- КТПН;
- блок-контейнер НКУ-0,4 кВ;
- БКРУ 10 кВ.

1.3 Техническое задание

1.3.1 Требования к техническим средствам системы передачи сигналов и данных

В данном разделе описаны основные требования к системам передачи технологических данных: каналам, протоколам, интерфейсам связи между компонентами АСУТП НГД. Системы передачи технологических данных осуществляют горизонтальную и вертикальную интеграцию производственной информации в проекте. Горизонтальная интеграция должна обеспечить информационное взаимодействие между различными АСУТП НГД. Вертикальная интеграция должна обеспечить передачу технологических данных между иерархическими уровнями АСУТП НГД, а также между АСУТП НГД и уровнем управления производством (MES).

Система передачи технологических данных (технологическая сеть) должна быть физически или логически разделена с системой передачи производственных данных (производственная сеть). В случае логического разделения для технологической сети должен быть выделен логический канал с гарантированной полосой пропускания данных. Такое разделение необходимо для исключения какого-либо влияния на технологическую сеть со стороны сети управления производством и обеспечения заданных показателей ее надежности. Технологическая сеть должна служить только для передачи технологических данных и управления технологическими процессами. Для распределенных объектов, где отдельная передача технологических данных затруднена или не представляется возможной, допускается использовать, в обоснованных случаях, совмещенный канал передачи данных.

Технологическая сеть должна обладать следующими характеристиками:

- Надежность и доступность. Сеть должна функционировать в режиме 24x7 (круглосуточно 7 дней в неделю).

- Производительность. Используемое оборудование связи должно выбираться исходя из планируемых объемов передаваемых технологических данных, а также из требований к используемым протоколам.

- Масштабируемость. Технологическая сеть должна обеспечивать возможность расширения, то есть используемое оборудование и выбранная топология сети должны обеспечить возможность увеличения количества подключенных пользователей и трафика технологических данных.

- Эффективность. В процессе проектирования технологической сети необходимо проводить ее оптимизацию с целью более эффективного использования ресурсов оборудования (объем памяти, производительность процессора) и ресурсов каналов передачи данных (пропускная способность).

- Управляемость. Для управления технологической сетью следует предусмотреть единый центр управления, который обеспечит круглосуточный мониторинг, сбор статистики, регистрацию событий, облегчит администрирование и восстановление сети в случае возникновения нештатных ситуаций.

- Безопасность. В технологической сети должны быть выполнены требования информационной безопасности и защиты от несанкционированных действий, принятые в Обществе. Все устройства, входящие в состав сети, должны быть защищены системой паролей, имеющей несколько уровней.

1.3.2 Требования к структуре технологической сети

ЛВС сети должны строиться по иерархическому принципу с четким разграничением уровней иерархии, где каждому уровню иерархии должен

соответствовать свой набор оборудования, которое выполняет определенные для этого уровня функции. Такой принцип обеспечивает достижение наилучших результатов по производительности, надежности, управляемости и масштабируемости сети. Для применения в проекте рекомендуется использовать трёхуровневую модель сети, включающую пограничный уровень, уровень распределения ресурсов и уровень доступа.

Пограничный уровень сети должен обеспечивать защиту ЛВС с помощью межсетевых экранов, устройств обнаружения и предотвращения вторжений. Для организации связи между устройствами этого уровня и обеспечения скорости передачи данных рекомендуется использовать сетевые технологии Gigabit и Fast Ethernet, применять коммутаторы второго уровня.

На уровне распределения ресурсов должна осуществляться маршрутизация трафика и сегментация сети. Уровень распределения ресурсов должен включать центральный коммутатор третьего уровня.

Уровень доступа должен включать коммутаторы рабочих групп, которые должны обеспечивать подключение рабочих станций пользователей к ЛВС.

На данном уровне должны решаться задачи безопасности и аутентификации:

- обеспечение подключения рабочих станций пользователей к сети;
- предотвращение несанкционированного доступа от неавторизованных пользователей, защита от вирусов.

Сетевая архитектура должна быть сегментирована с целью минимизации рисков, связанных с нарушением безопасности АСУТП НГД с использованием сетевой инфраструктуры. АСУТП НГД должны быть выделены в отдельные технологические сегменты сети.

В качестве методов сегментации возможно использование физического разделения сетей, межсетевого экранирования и списков контроля доступа на маршрутизаторах.

Сегментирование сетей с выделением технологических сетей АСУТП НГД должно обеспечить:

- контроль всех сетевых соединений с компонентами АСУТП НГД и между компонентами АСУТП НГД различных уровней;
- фильтрацию сетевых соединений и ограничение доступа к компонентам АСУТП НГД со стороны смежных и внешних сетей связи;
- регистрацию всех сетевых соединений с компонентами АСУТП НГД;
- аутентификацию сотрудников и устройств/процессов, которые стремятся получить доступ к компонентам защищаемой технологической сети АСУТП НГД.

Технологические сети АСУТП НГД должны быть логически или физически выделены в отдельный сетевой сегмент. При этом:

- точки доступа из других сетей связи в технологическую сеть АСУТП НГД должны быть минимальны и документированы, в том числе с указанием резервных точек доступа при выходе из строя основных;
- устройство, обеспечивающее сегментацию и фильтрацию сетевых соединений между прочими сетями связи и технологической сетью АСУТП НГД, должно быть настроено на запрет любых сетевых соединений, кроме явно разрешенных;
- правила фильтрации сетевых соединений с сетью АСУТП НГД, должны обеспечивать фильтрацию на основе сетевых адресов, портов и прикладных протоколов.

Для предоставления данных из технологической сети АСУТП НГД в сети смежных или вышестоящих систем (MES, ERP) должен быть реализован подход по размещению серверов с данными АСУТП НГД (серверы отчетов, серверы БД реального времени, серверы с историческими данными параметров технологических процессов, сообщений и сигнализации) в отдельной промежуточной сети.

1.3.3 Требования к оборудованию

Наземные линейные сооружения (короба, эстакады и т.п.), используемые для прокладки кабельных трасс, должны быть рассчитаны на длительное непрерывное функционирование в необслуживаемом режиме.

Оборудование сети должно бесперебойно работать в условиях сильных электромагнитных помех, в зонах повышенной опасности (Ех – зонах) и в условиях воздействия вибрационных и ударных нагрузок.

К техническим средствам системы передачи сигналов и данных, используемым в АСУТП НГД, предъявляются следующие основные требования:

устройства должна иметь возможность передачи сигналов и/или данных по одному или более протоколам, указанным в п. 1.3;

устройства должны иметь возможность дистанционной диагностики и оснащаться источником гарантированного питания.

Технические средства системы передачи данных должны обеспечивать:

- необходимую скорость передачи данных с учетом перспектив развития;
 - надежность;
 - возможность гарантийного и послегарантийного ремонта;
 - ремонтпригодность в условиях эксплуатации с учетом допустимого времени восстановления отказов;
 - наличие дополнительных служебных и сервисных каналов;
 - необходимые интерфейсы и стыки для соединения с существующими системами связи;
 - систему управления и мониторинга.
- Выбор радиооборудования и их частотного диапазона следует производить с учетом совокупности следующих факторов:
- максимальной длины интервала;
 - топографических особенностей местности;
 - совместимости с существующими системами связи;
 - экономного использования радиочастотного спектра;
 - климатических условий района размещения.

Каналы связи, используемые для передачи информации АСУТП НГД, должны быть оснащены сертифицированными средствами защиты информации.

Отказы оборудования сети, произошедшие на любой технологической площадке, не должны влиять на работу технологической сети в целом. Полный отказ оборудования на какой-либо площадке (например, вследствие длительного отключения электроэнергии) должен приводить к потере связи только с этой площадкой, не затрагивая всю технологическую сеть.

Все маршрутизаторы и коммутаторы сети должны поддерживать промышленную диагностику на базе диагностического протокола SNMP.

Оборудование сети должно иметь средства диагностики для осуществления проведения его оперативного контроля с целью:

выявления и устранения сбоев до того, как произойдет отказ всей сети связи;

предотвращения несанкционированного подключения оборудования передачи данных.

Требования к безопасности передачи информации

Безопасность коммуникаций в технологических сетях АСУТП НГД, а также при осуществлении информационного взаимодействия между компонентами АСУТП НГД и со смежными/вышестоящими системами должна учитывать их территориальную распределенность и размещение каналов связи за пределами контролируемых с точки зрения физической безопасности зон.

Безопасность коммуникаций в технологических сетях АСУТП НГД должна обеспечиваться:

организацией защищенных каналов связи с использованием криптографических алгоритмов:

при маршрутизации трафика технологических сетей АСУТП НГД по каналам связи и через оборудование других сетей заказчика;

сетевой аутентификацией компонентов АСУТП НГД или аутентификацией информационного обмена между компонентами АСУТП НГД;

аутентификацией и контролем целостности данных, передаваемых между компонентами АСУТП НГД, в том числе при информационном обмене со смежными и вышестоящими системами (MES, ERP).

Защита информации в каналах беспроводной связи должна осуществляться с использованием встроенных механизмов кодирования (или шифрования) и защиты информации в канале связи (при наличии таких механизмов), а также путем ее защиты на уровне сетевых протоколов взаимодействия и/или защиты данных прикладных АСУТП НГД при их передаче по каналам связи.

При применении систем беспроводной связи в технологических сетях АСУТП НГД должно обеспечиваться:

выделение беспроводных сетей связи в отдельный сетевой сегмент с обеспечением его защиты с использованием межсетевых экранов;

аутентификация беспроводных устройств при доступе к беспроводной сети с использованием безопасных протоколов с использованием криптографических алгоритмов;

шифрование данных в каналах связи беспроводной сети с использованием криптографических алгоритмов.

При проектировании связи между датчиками (уровень 0) и ПЛК (уровень 1) в первую очередь должны выбираться полевые шины, и лишь затем, при невозможности подключения полевыми шинами, выбираться способы подключения «точка-точка» (4-20 мА, 24В дискретный ввод/вывод). В случаях технической невозможности или экономической нецелесообразности подведения кабельных линий связи к датчикам, допускается использование беспроводных датчиков КИП.

При проектировании АСУТП типы применяемых полевых шин должны выбираться из следующего списка:

- Foundation Fieldbus HSE;
- Foundation Fieldbus H1;
- ControlNet;

- Profibus DP/PA;
- Modbus;
- HART.

1.3.4 Требования к интерфейсам Связи между плк и вторым уровнем АСУТП

Связь между ПЛК и пунктами диспетчерского контроля и управления должна осуществляться на основе одного из стандартизированных решений:

- IEEE 802.3 (10/100/1000 Base-TX/FX Ethernet);
- IEEE 802.11 (WiFi) или IEEE 802.16 (WiMax).

Обмен информацией должен осуществляться IP-соединениями, используя интерфейсы, обеспечивающие гарантированную доставку информации за строго определенное время. В качестве интерфейсов связи рекомендуется использовать (в порядке уменьшения предпочтения) следующие стандартизированные решения:

- Foundation Fieldbus HSE;
- Ethernet/IP;
- ProfiNet;
- Modbus/TCP.

Для администрирования ПЛК, (программирование, передача диагностических данных) должен использоваться интерфейс соответствующий IEEE 802.3 (Ethernet). В случае невозможности использования кабеля 10/100/1000 Base-T Ethernet следует использовать волоконно-оптический 1000-Base-FX Ethernet.

В случае невозможности использования кабельных систем допускается осуществлять обмен информацией с использованием радиоканала.

При применении радиоканалов необходимо учитывать:

- максимальную пропускную способность используемого канала;
- экономическую целесообразность применения радиоканала;
- требования информационной безопасности.

Так же разрешается вместо интерфейса IEEE 802.3 (Ethernet) использовать беспроводную связь по спецификациям IEEE 802.11, IEEE 802.16.

Загрузка всех линий связи от допустимого предела по времени в любом режиме, включая конфигурирование и настройку, не должна превышать 30%.

Все маршрутизаторы и коммутаторы должны поддерживать промышленную диагностику на базе протокола SNMP.

1.4 Связи уровня приложений

Для связи между SCADA, функционирующими на базе ОС семейства Microsoft Windows, следует использовать реализации спецификаций OPC.

Связь между пунктами оперативно-диспетчерского управления АСУТП и системами управления производством (MES системы), должна осуществляться в соответствии с сетевыми стандартами IEEE 802.3 (10/100/1000 Base-TX/FX Ethernet). В ЛВС, реализующих такие связи, должны использоваться на сетевом уровне – протокол IP, на коммуникационном уровне – протокол TCP.

Для организации связей АРМ, серверов и других компонентов ЛВС с базами данных, такими как MS SQL Server, Oracle, OSI PI System и т.п., допускается использовать специализированные протоколы, прошедшие в составе указанных ЛВС все испытания и экспертизы, предусмотренные настоящим стандартом.

Для обмена информацией между приложениями второго и третьего уровней архитектуры рекомендуется использовать данные в формате XML, следует руководствоваться спецификацией OPC XML Data Access, а также механизмом XML Messaging.

Аппаратно-программные средства контроллерного уровня управления должны соответствовать жестким требованиям по надежности, времени реакции на исполнительные устройства, датчики и т.д. Программируемые логические контроллеры должны гарантированно откликаться на внешние события, поступающие от объекта, за время, определенное для каждого события.

Разработка, отладка и исполнение программ управления локальными контроллерами должна осуществляться с помощью специализированного ПО соответствующего стандарту МЭК 61131-3.

1.5 Архитектура и проблемы традиционных сетей

Как выглядит архитектура традиционных, или классических, сетей? Это сети из распределенных автономных сетевых элементов (коммутаторов и маршрутизаторов).



Рис. 1. Сетевой элемент традиционной сети

Архитектура классических сетей берет свои корни из военного проекта ARPANET – прообраза современного Интернета. Сеть ARPANET должна была работать даже в случае уничтожения значительной ее части. При такой архитектуре требуются автономность и интеллектуальность сетевого элемента. Эти модули должны самостоятельно вычислять/пересчитывать маршруты при изменении топологии и перенаправлять трафик. В соответствии с этим принципом проектируются, строятся и эксплуатируются сегодняшние традиционные сети. Но, несмотря на довольно простую архитектуру, такие сетевые решения все больше усложняются. К примеру, для обеспечения сервиса L3VPN с функцией трафик-инжиниринга TE требуется одновременная работа четырех отдельных контрольных протоколов (IGP-LDP-MPBGP-RSVP), и это далеко не самая тяжелая конструкция, используемая в сетях передач данных. Традиционные сети имеют крайне низкую автоматизацию для внедрения/изменения сетевого сервиса. К примеру, чтобы добавить VLAN или VPN, необходимо произвести изменение конфигурации каждого сетевого элемента, реализующего данный сервис, причем в большинстве случаев настройка оборудования будет производиться через командную строку. Такими сетями сложно управлять, их сложно эксплуатировать и трудно масштабировать. Сложность решений делает сети хрупкими. Сети строятся из дорогостоящего сетевого оборудования с многофункциональным уровнем управления (control plane), высокопроизводительным и таким же многофункциональным уровнем передачи (forwarding plane). Программное обеспечение сетевого оборудования поддерживает огромное количество протоколов и дополнительных функций, в то время как средний сетевой элемент может использовать 5–10 % своих возможностей, а оплачивается на 100 %. Закрытость программного обеспечения и отсутствие открытого интерфейса на оборудовании нивелируют возможность внедрения своего функционала на сети передачи данных.

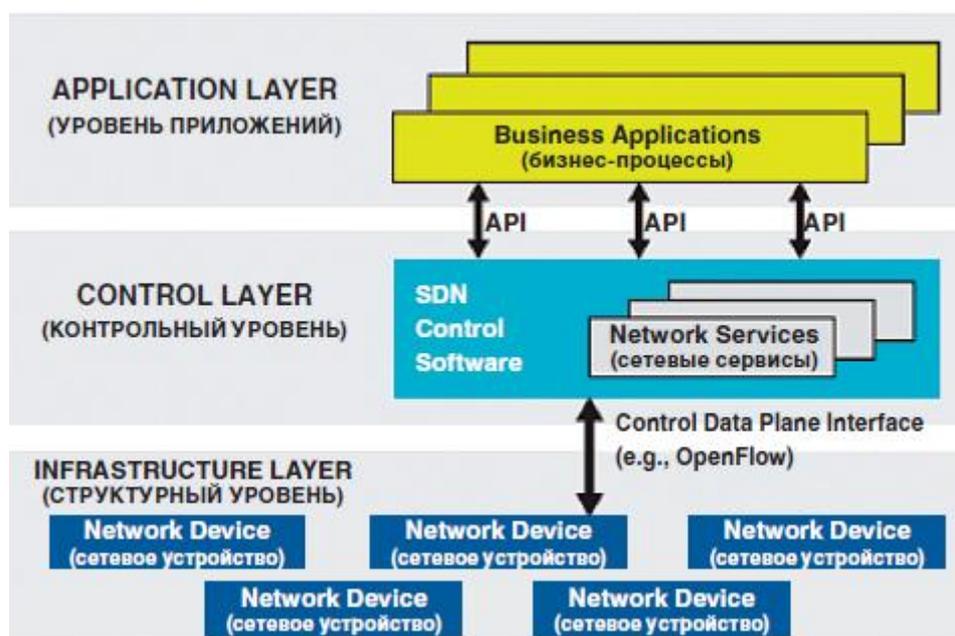


Рис. 2. Архитектура ONF SDN

Большинство реализованных сегодня сетей передачи данных создано на платформах с глубоко интегрированным программным обеспечением (iOS, JunOS и т. д.), которое управляется в основном через интерфейс командной строки (CLI). Такие сети были эффективны в средах со статическими сетевыми конфигурациями, статическими рабочими нагрузками и невысокой скоростью масштабирования приложений. Современные реалии требуют от сетей передач данных большего.

Концепция «Программно-конфигурируемые сети/Software Defined Networking (ПКС/SDN)» родилась в стенах университетов Стэнфорда и Беркли [1]. Основная идея концепции:

– перейти от управления отдельными экземплярами сетевых элементов к управлению сетью в целом, реализовать возможность программирования сети и автоматизации. Базовым для SDN считается документ, опубликованный организацией Open Networking Foundation (ONF) [2], занимающейся стандартизацией протокола OpenFlow как одного из ключевых технологических основ SDN. Архитектура SDN (рис. 2)

– состоит из трех уровней: уровня приложений (application layer), контрольного уровня (control layer) и уровня сетевой инфраструктуры (infrastructure layer).

Уровень сетевой инфраструктуры (infrastructure layer). Отвечает за передачу данных (forwarding) и реализуется на сетевых устройствах.

Контрольный уровень (control layer). Плоскость контроля (control plane) убирается с сетевых устройств и переносится на центральный контроллер (SDN Control software). SDN-контроллер на основании политик, получаемых от уровня приложений, вычисляет и задает сетевым устройствам правила действий по коммутации/маршрутизации трафика. Наличием контрольного уровня достигается абстракция сети.

Уровень приложений (application layer). Функции более высокого уровня реализуются на приложениях (business application). Приложения на высоком уровне абстракции определяют и задают политики работы сети через централизованный SDN-контроллер – к примеру, передают определенный трафик из точки А в точку Б по самому незагруженному пути. Приложения могут быть запущены, в том числе, и на самом SDN-контроллере, самые простые примеры таких приложений: learning switching, routing и т. п.

Взаимодействие между уровнями реализуется через программные интерфейсы приложений (Application Program Interfaces API). Взаимодействие контрольного уровня с инфраструктурным осуществляется через открытые «южные» протоколы SBI (South Bound Interface), контрольного уровня с уровнем приложений –

через открытые «северные» программные API интерфейсы NBI (North Bound Interface).

2. Анализ существующих условий применения адаптивных алгоритмов передачи данных

В данном разделе рассмотрены положения для создания алгоритма блочной спорадической передачи данных для устройств и систем телемеханики с передачей данных последовательными двоичными кодами для контроля и управления территориально-распределенными процессами.

Описаны основные прикладные функции, которые выполняют стандартные процедуры систем телемеханики. Основные прикладные функции являются пользовательскими процедурами, которые находятся вне уровня 7 (пользовательский уровень) модели МОС (ISO) для связи открытых систем. Определяемые прикладные функции используют стандартный сервис на уровне пользователя. Определения, вводимые в магистерскую диссертацию, служат базовыми для различных сопутствующих (вспомогательных) систем, которые будут детально разработаны для отдельных телемеханических задач. Каждая сопутствующая система может использовать специфический набор определяемых функций. Только определенность сопутствующих стандартов дает возможность совместной работы различной аппаратуры телемеханики.

Общая структура ASDU, используемых в процедурах, описанных в данном разделе, определена в ГОСТ Р МЭК 870-5-3. ASDU - Application Service Data Unit - Пользовательский сервис данных (ГОСТ Р МЭК 870-5-3).

2.1 Определения

Для формирования унифицированной терминологии и однозначного понимания процессов составления фреймов сообщения данных, в магистерской диссертации, использованы следующие определения:

1) Основная прикладная функция (в телемеханике) - процедура передачи, выполняющая функции контроля и управления, обычно используемые в системах телемеханики.

Примеры: передача команд, передача о возникновении событий, циклическая передача и т.д.

2) Сопутствующий стандарт (вспомогательный) - сопутствующий стандарт добавляет семантику в основные стандартные определения или в функциональный профиль. Это может быть выражено определением особых целей для объектов информации и определением дополнительных объектов информации, сервисных процедур и параметров основного стандарта.

Примечание - Сопутствующие стандарты не вносят изменения в стандарты, к которым они относятся, но делают более ясными взаимосвязи при их совместном применении для определенной области деятельности.

3) Укрупненная структура (ЕРА) - укрупненная модель сравнима с семиуровневой структурой основной модели, однако имеет трехуровневую структуру для получения меньшего времени реакции на важную информацию, но сервис при этом ограничен.

4) Составное поле данных (СР) - последовательность полей данных с последовательным распределением битов, которые образуют элемент информации.

5) Направление команды - направление передачи от пункта управления (ПУ) к контролируемому пункту (КП). Направление контроля - направление передачи от КП к ПУ.

2.2 Сервис пользователя

Каждый процесс пользователя может иметь “первичную функцию пользователя” и “вторичную функцию пользователя”. “Первичная функция пользователя” - это часть процесса пользователя, которая инициирует запросы пользователя к удаленному объекту пользователя при помощи “вторичной функции пользователя”, принадлежащей последнему. Запрашиваемые задачи исполняются при помощи сервиса связи, который включает в себя передачу PDU (PDU - Protocol data unit - протокол блока данных.). Последовательность процедур сервиса связи описана при помощи последовательности сервисных примитивов.

2.2.1 Сервисные примитивы пользователя

Первичный пользователь инициирует функцию сервисным примитивом “запрос”. Сквитированный сервис пользователя требует ответов от вторичного пользователя. Вторичный пользователь возвращает соответствующие ответы сервисными примитивами ответа, которые доставляются к первичному пользователю сервисным примитивом подтверждения (рисунок 3).

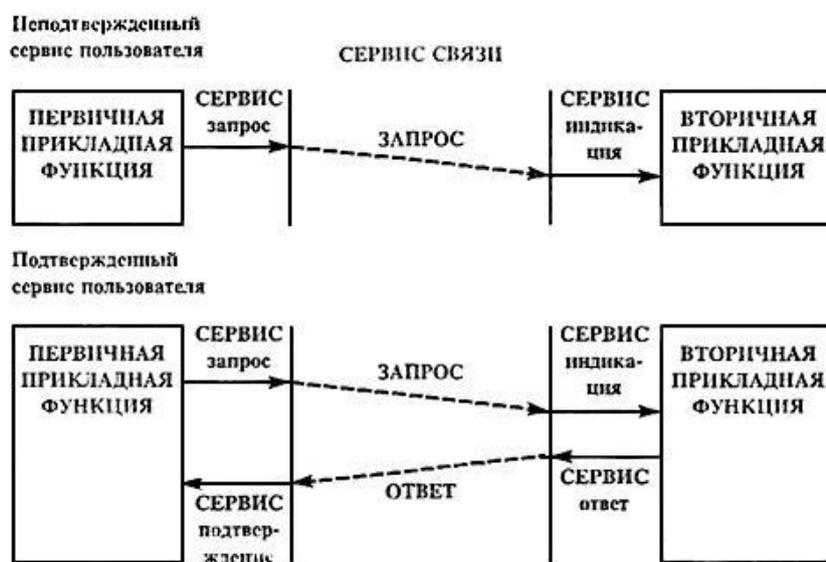


Рисунок 3 - Основные сервисы пользователя

Таблица 1. Основные сервисы

Сервис. запрос (. req)	- первичный пользователь посылает запрос при помощи этого сервисного примитива удаленной вторичной функции пользователя через сервис связи.
Сервис. индикация (. ind)	- сервис связи использует этот сервисный примитив для доставки сервисного запроса индикации к вторичной функции пользователя.
Сервис. ответ (. res)	- вторичная функция пользователя использует этот сервисный примитив для ответа на запрос от сервиса связи.
Сервис. подтверждение (. con)	- сервис связи использует этот сервисный примитив для доставки ответа от вторичной к первичной функции пользователя.

2.3 Общая концепция прикладных функций

Процессы пользователя, которые применяют связь точка-точка для выполнения согласованных процедур между удаленными пунктами, используют средства, которые имеются на уровнях 7, 2 и 1 модели ЕРА (рисунок 4).



Рисунок 4. Модель ERA

Одновременно могут происходить более одной процедуры (на разных станциях). Однако процедуры прикладных функций описываются каждая отдельно. Процедуры определяются в едином иерархическом изложении. Дополнительные определения при использовании многоиерархических телемеханических сетей (например, сети с концентраторами) указаны в сопутствующих стандартах.

Отдельные прикладные функции используют сервисные примитивы и элементы процедур передачи на уровнях 7, 2 и 1, как это определено в стандартах ГОСТ Р МЭК 870-5-1, ГОСТ Р МЭК 870-5-2, ГОСТ Р МЭК 870-5-3, ГОСТ Р МЭК 870-5-4.

Прикладные функции являются частью процессов пользователя и выполняют процедуры связи между процессами пользователя.

Каждая функция состоит из передачи определенных сервисных процедур между удаленными процессами пользователя. Содержание информации, форматы кадров различных PDU и списки параметров сервисных примитивов определяются выбранными сопутствующими стандартами.

2.4 Основные прикладные функции

Настоящий раздел определяет набор основных прикладных функций, которые используют стандартный сервис связи. Функции описаны с помощью диаграмм, показывающих последовательность блоков данных, которыми обмениваются КП и ПУ, и путем описания задач блоков данных, выполняющих эти функции. Первые две описанные основные прикладные функции, а именно инициализация пунктов и сбор данных при помощи опроса, являются базовыми для других основных прикладных функций. Эти две функции выполняются путем взаимодействия специального сервиса на пользовательском и канальном уровнях и описаны в деталях. Другие основные прикладные функции, которые могут включать использование процедур опроса, описываются без повторения деталей.

Последовательность процедур передачи показана стрелками. Каждая стрелка представляет протокол блока данных PDU. Иерархическая структура символов будет использоваться для обозначения APDU или ASDU; она может быть дополнена различными сопутствующими стандартами. В протоколах ГОСТ Р МЭК 870-5-1, ГОСТ Р МЭК 870-5-2, ГОСТ Р МЭК 870-5-3, ГОСТ Р МЭК 870-5-4 определения APDU и ASDU одинаковы, т.к. нет явно выделенного APCI.

В таблице 1 указаны метки ASDU, расположенные в иерархическом порядке, что предполагает возможность использования общих меток и особых меток - в различных сопутствующих приложениях.

К высшему уровню принадлежат:

Таблица 2. Метки A2SDU

Вид информации Уровень 1	Метка
Контрольная информация	M
Управляющая (командная) информация	C
Параметр	P
Передача файла	F
Второй уровень определяет:	
Вид информации Уровень 2	Метка
Контрольная информация	M
Одноэлементная информация	M_SP
Двухэлементная информация	M_DP
Измерения	M_ME
События (работа) защиты	M_EP
Интегральные суммы	M_IT
Информация о ступенчатых перемещениях	M_ST
Строки битов и байтов	M_BO
Конец инициализации	M_EI
Доступность пользовательского уровня	M_AA
Управляющая информация	C
Однопозиционная команда	C_SC
Двухпозиционная команда	C_DC
Команда уставки	C_SE
Команда пошагового регулирования	C_RC

Команда опроса	C_IC
Команда синхронизации по времени	C_CS
Определение запаздывания	C_CD
Команда опроса показаний счетчика	C_CI
Тестовая команда	C_TS
Команда установки процесса в исходное состояние	C_RP
Команда считывания	C_RD
Конец инициализации	C_EI
Параметр	P
Измеряемые параметры	P_ME
Активация	P_AC
Передача файла	F
Каталог (структура данных)	F_DR
Выбор или вызов файла или секции	F_SC
Последняя секция или сегмент	F_LS
Подтверждение приема (ACK) файла или секции	F_AF
Готовность файла	F_FR
Готовность секции	F_SR
Сегмент	F_SG

Третий уровень используется разными сопутствующими приложениями и определяет тип ASDU, использование метки времени и т.п. Первая буква в третьем уровне определяет наличие метки времени (N - нет метки времени, T - метка времени), вторая буква определяет тип. Каждый

сопутствующий стандарт может устанавливать свои собственные типы в алфавитном порядке, начиная с буквы “А”.

Кроме того, добавляется последняя цифра, показывающая какой сопутствующий стандарт определяет метку ASDU. Например:

Сопутствующий стандарт 101	M_ME_NA_1
Сопутствующий стандарт 102	M_ME_NA_2

Такая система меток открыта и может при необходимости дополняться на всех иерархических уровнях и в различных сопутствующих стандартах.

ASDU, используемая в направлении КП, может иметь зеркальное отражение в направлении ПУ. Такое зеркальное отражение ASDU используется для положительного/отрицательного подтверждения (квитанции). Необходимо, чтобы была возможность их отличия в обоих направлениях. Поэтому, кроме меток, эти ASDU маркируются следующей аббревиатурой в направлении КП и ПУ:

Таблица 3. Маскирование сообщений ASDU

Направление КП:	Активация	ACT
Направление ПУ:	Подтверждение активации	ACTCON
Направление КП:	Деактивация	DEACT
Направление ПУ:	Подтверждение деактивации	DEACTCON
Направление ПУ:	Прекращение активации	ACTTERM
Направление ПУ:	Циклическая передача	CYCLIC

В случае небалансной процедуры передачи команда АСТ может быть передана при помощи сервиса канала SEND/NO REPLY (посылка/без ответа) как общее сообщение (например, для опроса станции или синхронизации часов). Затем обратно передается сигнал подтверждения АСТCON, что сообщение АСТ получено, индивидуально на каждый КП.

2.5 Инициализация работы станций

Процедура инициализации работы станции требуется для установки станции в правильное рабочее состояние до того, как начнутся телемеханические операции. Необходимо различать холодную и горячую процедуры запуска. Холодный запуск - это процедура первоначальной загрузки станции, чтобы привести базу данных в текущее состояние. Предполагается, что информация о переменных процесса сброшена в исходное состояние до загрузки. Горячий запуск - это процедура перезагрузки станции, которая устанавливается в исходное состояние или повторно активируется. Эта процедура означает, что информация о переменных процесса, полученная до повторной активации, не будет сброшена. Кроме того, различается инициализация КП и ПУ. Определения, приведенные ниже, рассматривают в основном процедуры инициализации, связанные с передачей данных между станциями.

ПУ часто оснащены избыточным оборудованием для управления и хранения базы данных, что гарантирует переключения без потери информации в случае повреждения активного оборудования управления. В этом случае нет необходимости в инициализации общего опроса базы данных ПУ. Однако после перерыва напряжения питания для обновления или общего сброса всего ПУ процедура общего опроса и в некоторых системах процедура временной синхронизации обязательны.

КП может устанавливаться в исходное состояние по местной команде или по запросу с ПУ.

Описание основной процедуры инициализации (рисунок 5)

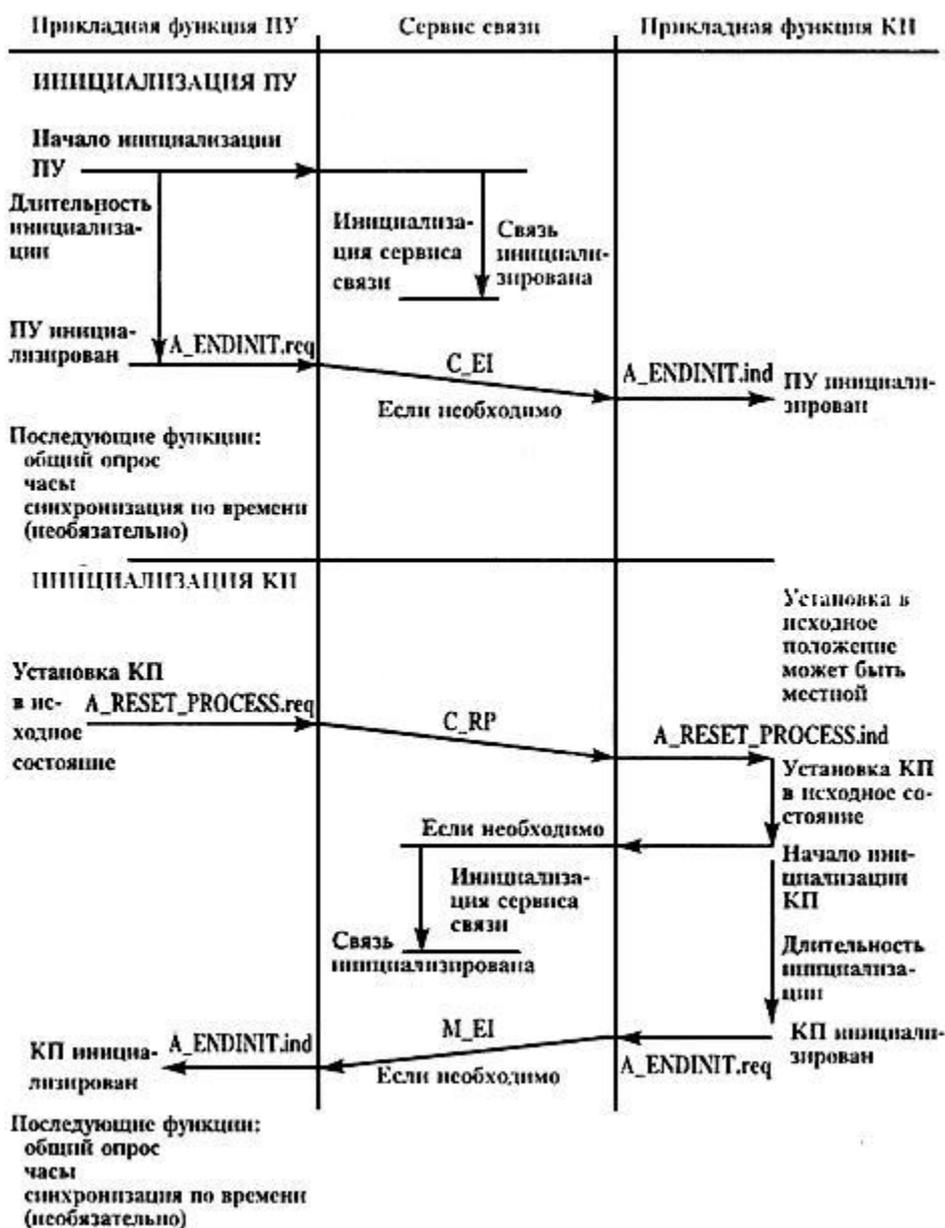


Рисунок 5 - Последовательная процедура - основная процедура инициализации

После внутренней инициализации ПУ уровень канала устанавливает соединение с КП ГОСТ Р МЭК 870-5-2. Когда ПУ готов к передаче информации на КП, он посылает (необязательно) сообщение C_EI (конец инициализации) к подсоединенному КП. После приема PDU C_EI КП может послать информацию о процессе к ПУ. ПУ затем посылает общий запрос с синхронизацией по времени (необязательно).

2.5.1 Инициализация точки приема

При необходимости после внутренней инициализации КП уровень канала устанавливает соединение с ПУ (ГОСТ Р МЭК 870-5-2). Если КП готов обрабатывать информацию, поступающую с ПУ, он может послать PDU M_EI к ПУ (необязательно). После получения этого PDU ПУ продолжает посылку общего запроса, в некоторых системах - с синхронизацией по времени.

После начала местной инициализации КП во время работы с ПУ определяет, что его канал отсоединен от КП ввиду отсутствия подтверждения. После определенного числа безуспешных повторений (приложение А ГОСТ Р МЭК 870-5-2) ПУ пытается установить соединение канала посылкой повторных команд “Запрос состояния канала” с определенной выдержкой времени. Если канал на КП доступен, то приходит ответ “Состояние канала”. Тогда ПУ передает “Установка удаленного канала в исходное состояние”. КП подтверждает условия установки сигналом “АСК” к ПУ (ожидаемый бит счета кадров FCB = 1, см. 5.1.2 ГОСТ Р МЭК 870-5-2). Теперь ПУ может запрашивать КП повторением посылки “Запрос состояния канала”. Если ответ будет “Состояние канала”, что означает, что данные класса 1 доступны, то данные запрашиваются при помощи посылки “Запрос данных пользователя класса 1” и могут быть подтверждены сообщениями M_AA (прикладной уровень доступен) или M_EI (конец инициализации). Окончание инициализации прикладных функций на КП может быть показано ПУ посредством посылки PDU M_EI. Затем ПУ обновляет свою информацию передачей общего запроса (см. 6.6) и продолжает работать в некоторых системах с синхронизацией времени. После этого можно начинать обычные телемеханические операции.

Примечание - M_AA применяется, когда ПУ информирован о готовности всей системы связи вдобавок к готовности уровня канала (что показывается сервисом канала “Состояние канала”).

2.6 Техническая реализация алгоритма передачи данных

2.6.1 Dnp3 современный коммуникационный протокол распределенных систем контроля и управления

SCADAPack E RTU может поддерживать несколько мастер-пользователей DNP3, в соответствии с которыми каждый ведущий DNP3 идентифицируется как пользователь RTU в отношении основного адреса DNP. Классы Master Port и Point Data Class по одной точке.

Прошивка RTU поддерживает максимум 3 мастера DNP. Прошивка DNP3 Multi-Master является лицензированной функцией, как указано на странице состояния / состояния контроллера SCADAPack E Configurator. Только параметры «Master 1» применимы, если функция «Поддержка нескольких DNP3 мастеров» не лицензирована.

Атрибут общей точки Class Data Class был расширен таким образом, что теперь он настраивается на основе каждого мастера. Это позволяет RTU представить другой «вид» своих нелокальных точек различным мастерам DNP. Это помогает разработчику использовать локальных ситуациях HMI или RTU, используемых для передачи данных.

Некоторые параметры конфигурации, применимы к работе с несколькими мастерами, и расположены на странице DNP Masters конфигурации SCADAPack E Configurator.

Главный адрес DNP

Этот параметр настраивает адрес узла DNP3 ведущего устройства DNP3 (обычно мастер SCADA), на который RTU может сообщать о незапрашиваемых ответах. Значение нуля означает «Нет мастера» для мастер-сессий 2 и 3.

Min. Unsol. Event Tx Delay

Этот параметр устанавливает минимальное время (в секундах) между последовательными незапрашиваемыми ответами, отправленными из RTU, в SCADA Master. После того как квитированный запрос был отправлен RTU, никакой незатребованный ответ не будет сгенерирован до истечения этого периода времени.

Временная задержка

Временная задержка применяется, когда количество запрошенных незапрашиваемых ответов достигает уставки Unsolicited Responses. Попытки подсчитать количество импульсов. Данные параметры позволяют RTU реализовать «пакетный режим», когда RTU повторяет несколько раз, ждет продолжительный период времени, а затем начинает очередную попытку передать сообщение. Такое поведение повторяется неопределенно долго, пока не будет получено подтверждение от приложения.

2.6.2 Время ожидания подтверждения приложения (события)

Этот параметр устанавливает время (в секундах), которое RTU ожидает от подтверждения сообщения уровня приложения DNP от ведущего устройства после того, как RTU передал данные о событиях (либо в ответе опроса, либо на незатребованном ответе). Для расчета минимального значения для этого таймаута используются параметры «Подтверждение уровня канала передачи данных» и «Тайм-аут приема в канале». RTU автоматически применит минимальный тайм-аут, если этот параметр установлен слишком низким.

Если подтверждение подтверждения уровня приложения не получено от мастера в течение периода ожидания, то большее значение этого параметра и параметр Min Unsol TX Delay (см. Выше) используются для задержки передачи новых незапрашиваемых данных события мастеру.

Местный адрес DNP

Этот параметр позволяет настроить DNP-адрес RTU. Значение для Master 1 является тем же параметром, что и на странице портов SCADApack E Configurator. Значения для Masters 2 и 3 позволяют RTU отвечать на соответствующий основной адрес DNP с другим локальным адресом. Это требуется некоторыми ведущими станциями, которые не могут конфигурировать разные «логические» RTU с одним и тем же адресом DNP. Zero - допустимая запись для этих полей.

Unsoved Allowed

Этот флажок управляет режимом Unsolicited Response (либо включен, либо выключен). Когда незапрашиваемая операция ответа отключена, RTU не отправляет незапрашиваемый ответ на соответствующий мастер-пользователь, но в противном случае отвечает на запросы мастера.

DNP3 / TCP Keep-Alive

Этот параметр реализуется, как описано в стандарте DNP3 «Перенос DNP3 по локальной и глобальной сети». Это настраиваемый таймер Keep-Alive используется для каждого активного соединения DNP3-TCP. Этот параметр конфигурации указывает, как часто сообщение проверки состояния канала DNP3 отправляется через активные сокеты TCP для проверки активной TCP-связи. Этот таймер может быть установлен на «0», чтобы деактивировать таймер Keep-Alive DNP-TCP.

2.6.3 Многограничные события DNP3

Процессор ввода-вывода RTU создает события с изменениями времени и передает их вместе с задачей DNP3 для хранения и последующей передачи (подробнее см. Техническое справочное руководство по обработке данных SCADAPack E). Прошивка DNP3 Multi-Master хранит только одну копию каждого события в энергонезависимой памяти независимо от того, сколько мастер-сессий включено. Событие удаляется только в том случае, если каждый активированный мастер подтвердил это событие (предполагая, что точка была настроена как класс событий 1, 2 или 3 для каждого мастера). По этой причине рекомендуется, чтобы мастер-сессии не включались, если на самом деле не существует ведущей станции DNP3. В противном случае энергонезависимое хранилище событий будет продолжать расти до максимально допустимого RTU.

2.6.4 Работа с DNP3 с использованием протокола TCP / IP

Работа протокола протокола DNP3 SCADAPack E RTU по протоколу TCP / IP соответствует требованиям группы пользователей DNP «Транспортировка DNP3 over Local and Wide Area Networks ». Назначенный номер порта TCP и UDP «20000» используется для связи DNP3. В RTU для связи DNP3 устанавливается приемник сокетов UDP и прослушиватель сокета TCP. Выбранные сокет устанавливаются параметром «Default DNP3 Port» (см. Ниже). Коммуникация как сокетов UDP, так и TCP может быть активна одновременно, а несколько внешних устройств TCP / IP могут одновременно запрашивать подключения к сокету TCP или отправлять дейтаграммы в UDP-сокет. Обработка и обмен PPP-TCP / IP через локальную область и широкую область сети могут ввести дополнительные задержки при транспортировке кадров DNP3. Возможно, потребуется рассмотреть вопрос об увеличении тайм-аутов канала передачи данных DNP3 и приложений на устройствах DNP3, особенно в каналах PPP в сетях глобальной сети. DNP3 Маршрутизация для TCP / IP. SCADAPack E может вести себя как

стандартные подчиненные устройства DNP3 и отвечать на главные запросы DNP3 на последовательных каналах DNP3, каналах Ethernet-TCP / IP и PPP-TCP / IP. СОВЕТ. В сети, состоящей из узлов DNP3, разделенных сетями IP, проще всего рассматривать Ethernet-TCP / IP и PPP-TCP / IP каналы между устройствами RTU как прозрачные. Где кадры DNP3 маршрутизируются через TCP / IP на SCADA Pack E RTU, отдельные записи маршрутизации могут быть добавлены в таблицу маршрутов DNP3, которая может специально переопределить использование транспорта TCP или транспорт UDP, включая номера портов. Эти переопределения описаны далее в разделе DNP3 TCP / IP Networking (DNP3 Network Forwarding с TCP / IP). Если эти переопределения не применяются, параметры, описанные в разделе DNP3 - Постоянный таймер TCP, используются в качестве параметров связи по умолчанию.

Контроллеры SCADAPack32 и 32P могут работать в режиме Ведущего устройства DNP3 (DNP-master). DNP-master может инициировать запросы на получение статических данных (Class 0), событий (Class 1, 2, 3) и принимать инициативные сообщения от Введомых устройств (DNP-slaves). Стандартное DNP-приложение включает в себя контроллер DNP-master, регулярно опрашивающий несколько DNP-slaves контроллеров как это представлено на рисунке слева.

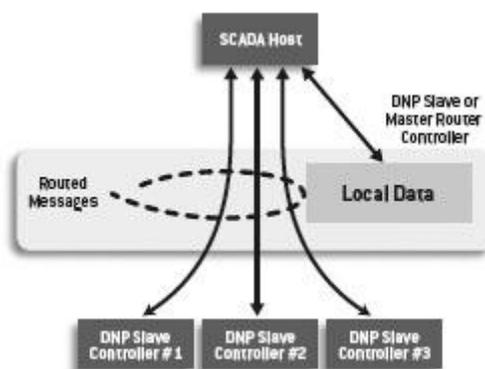


Рисунок 6. Схема работы приложения DNP 3 протокола

Во многих случаях DNP протокол необходим для маршрутизации сообщений. Возможности Ведущего устройства, помимо маршрутизации сообщений, позволяют хранить/концентрировать данные с использованием режимов отображения (mapping) и имитации (mimic) . В режиме имитации DNP-master создает в своей памяти «образы» данных удаленных контроллеров для их последующего считывания ПК (SCADA-Host) или другим Ведущим устройством.

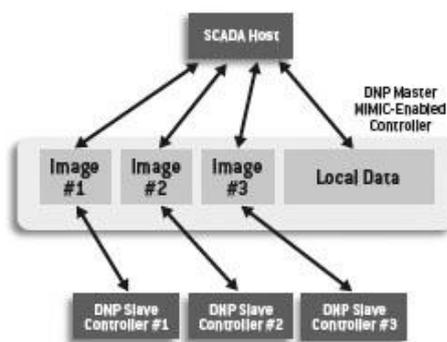


Рисунок 7. Схема интегрированной работы Scada-системы

Этот режим удобно применять в условиях эпизодических соединений (например, по телефонным линиям).

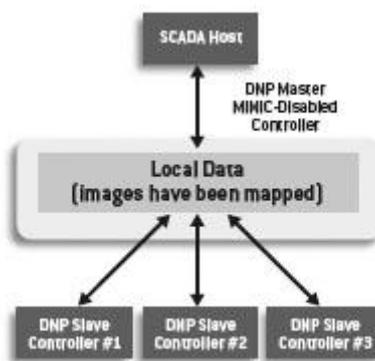


Рисунок 8. Локальная инициализация обмена данными

Это позволяет DNP-мастеру при запросе отправлять SCADA-хосту данные удаленных контроллеров, считанные из «образа» Ведомого-контроллера. В приложениях, где требуется концентрация данных, DNP-master может отображать данные с удаленных объектов в собственные локальные регистры. Эта задача легко решается использованием режима

отображения. Он позволяет локальным программам (TelePACE, ISaGRAF) в DNP-master и SCADA-Host, обращаться к данным удаленных контроллеров как к локальным данным DNP- master.

Все ПЛК SCADAPack и вычислитель расхода газов поддерживают режим DNP3-Ведомый (DNP3-slave).

В режиме DNP3-slave, контроллер передает DNP-мастеру по запросам статические данные (Class 0) и данные по событиям (Class 1, 2, 3). PLC может посылать инициативные сообщения и маршрутизировать сообщения других DNP-устройств.

2.6.5 Инициативные сообщения

Важной особенностью DNP3 является возможность PLC генерировать отправку незапрошенных (unsolicited) сообщений Ведущему ПЛК /ПК по собственной инициативе. Разбиение данных по уровню приоритета позволяет назначить правила передачи сообщений для каждого класса объектов (1, 2, 3 классы).

Правила передачи сообщений для классов объектов включают в себя:

- Разрешение/Запрет передачи инициативных сообщений
- Настройку интервала между сеансами передачи данных
- Настройку счетчика максимального количества событий в ПЛК, после накопления которых начинается передача данных

2.6.6 Классы объектов

Классификация объектов данных дает возможность осуществлять управление содержимым передаваемых сообщений и отправлять сообщения в соответствии с приоритетами данными, определенными пользователем. Класс данных присваивается независимо от уровня приоритета данных.

Классы объектов могут быть, к примеру, сконфигурированы со следующей структурой приоритетов:

Class 1 – высший приоритет

Class 2 – средний приоритет

Class 3 – низкий приоритет

Class 0 является указанием мастеру для опроса всех объектов данных DNP. Это мгновенные текущие значения параметров. Мастер опрашивает объекты данных Class 0 не часто и при перезапуске контроллеров DNP (Ведущих и Ведомых).

Прикладное ППО уровня ПЛК, работающее в реальном времени, должно разрабатываться для конкретной автоматизированной системы с учетом ее специфики с использованием:

- стандартных языков программирования ПЛК;
- современных графических языков программирования.

Инструментальные средства разработки прикладных программ должны обеспечивать функции местного и дистанционного программирования.

В соответствии со стандартом Международной электротехнической комиссии МЭК 61131-3 инструментальные средства разработки прикладных программ должны поддерживать следующие языки программирования контроллеров:

язык последовательных функциональных схем (Sequential Function Chart - SFC), описывающий логику программы на уровне чередующихся процедурных шагов и транзакций (условных переходов);

- язык релейных диаграмм или релейной логики (Ladder Diagram - LD);

- язык функциональных блок-диаграмм (Functional Block Diagram - FBD);
- язык структурированного текста (Structured Text - ST) - текстовый высокоуровневый язык общего назначения;
- язык инструкций (Instruction List - IL)- текстовый язык низкого уровня.

Прикладное ППО должно быть совместимо с системным ПО контроллеров и должно обеспечивать:

- приём и обработку сигналов от первичных измерительных преобразователей;
- оценку достоверности входной информации;
- организацию автоматического управления исполнительными устройствами (для объектов автоматизации базового и перспективного классов);
- реализацию алгоритмов технологических защит и блокировок (для объектов автоматизации базового и перспективного классов).

Для реализации программ управления должна быть предусмотрена библиотека стандартных алгоритмических функций, например:

- управление приводами, механизмами и другими объектами;
- защиты, блокировки, АВР;
- алгоритмические, логические преобразования;
- П-, ПИ-, ПИД-законов регулирования аналогового и импульсного типов.

Выявление недостоверной информации должно вызывать формирование предупредительного сигнала. Управляющие воздействия, связанные с данной информацией, должны блокироваться.

Должна предусматриваться возможность сохранения исходных прикладных программ на электронных носителях и дальнейшая загрузка (при необходимости) через интерфейсные каналы в память контроллера.

Должна предусматриваться возможность изменения или коррекции прикладных программ в процессе работы в составе АСУТП НГД.

2.7 Некоторые особенности реализации стандарта IEC-60870-5-104 в системе программирования контроллеров ISaGRAF

В работе так же рассматриваются особенности реализации стандарта IEC 60870-5-104 в системе программирования контроллеров ISaGRAF. Основная область применения ISaGRAF с поддержкой 60870-5-104 – энергетика, нефтегазовая промышленность, а так же сети, требующие использования конфигурируемых протокольных шлюзов. Приводятся необходимые сведения базовых и обобщающих стандартов серии 60870 («Устройства и системы телемеханики») для того, чтобы, с одной стороны, была понятна техническая сторона разработки, а с другой стороны, была возможность согласовать параметры взаимодействия устройств различных производителей при реализации конкретных проектов (в соответствии с главой 9 в IEC 60870-5-104 «Возможность взаимодействия (совместимость)»). Отмечается, что поддержка в ISaGRAF двух современных стандартов IEC 61499 и IEC 60870-5-104 открывает уникальную возможность для отечественных производителей создавать ISaGRAF-контроллеры нового поколения для энергетики и других отраслей.

2.7.1 Открытые протоколы: IEC 60870, DNP3 и UCA

В США и в Европе в конце восьмидесятых годов начали разрабатываться унифицированные открытые протоколы для устройств и систем автоматизации (в первую очередь для телемеханики), наиболее известными из которых стали DNP3, UCA и стандарты серии IEC 60870. Дело в том, что на рынке сложилась ситуация параллельного использования множества несовместимых частнофирменных протоколов различных производителей. Аналогичная ситуация имела место и в Советском Союзе, а затем и в России, где получили распространение множество протоколов для телемеханики, таких, как ТМ-120, ТМ-320, ТМ-512, ТМ-800А, ВРТФ-3, КОМПАС-ТМ, АИСТ, ГРАНИТ, УТК-1, УТМ-7, АПТ-2, СКП, РКП, КМА и др. В связи с этим назрела потребность в создании унифицированного

открытого протокола для устройств и систем (в том числе систем телемеханики), позволяющего работать со всем разнообразием объектов автоматизации.

Обозначение	Название	Год публикации
Части IEC 60870. IEC 60870. Telecontrol equipment and systems.		
IEC 60870-1	Part 1. General considerations.	1988
IEC 60870-2	Part 2. Operating conditions.	1995
IEC 60870-3	Part 3. Interfaces (electrical characteristics)	1989
IEC 60870-4	Part 4. Performance requirements.	1990
IEC 60870-5	Part 5. Transmission protocols.	1990
IEC 60870-6	Part 6. Telecontrol protocols compatible with ISO standards and ITU-T recommendations.	1995
Базовые разделы части 5 стандарта IEC 60870. IEC 60870. Telecontrol equipment and systems. Part 5. Transmission protocols.		
IEC 60870-5-1	Section 1. Transmission frame formats	1990
IEC 60870-5-2	Section 2. Link transmission procedures	1992
IEC 60870-5-3	Section 3. General structure of application data	1992
IEC 60870-5-4	Section 4. Definition and coding of application information elements	1993
IEC 60870-5-5	Section 5. Basic application on functions	1995
Обобщающие разделы части 5 стандарта IEC 60870. IEC 60870. Telecontrol equipment and systems. Part 5. Transmission protocols.		
IEC 60870-5-101	Section 101. Companion standard for basic telecontrol tasks	1995
IEC 60870-5-102	Section 102. Companion standard for the transmission of integrated totals in electric power systems	1996
IEC 60870-5-103	Section 103. Companion standard for the informative interface of protection equipment	1997
IEC 60870-5-104	Section 104. Network access for IEC 60870-5-101 using standard transport profiles	2000

Рисунок 9. Стандарты серии IEC 60870

Протокол DNP (Distributed Networking Protocol) с 1990 года разрабатывался в компании Westronic, Inc., которая после нескольких поглощений стала известна как GE Harris. В 1993 году права на третью версию протокола – DNP 3.0 перешли к DNP Users Group. Первоначально DNP3 позиционировался как протокол для последовательных каналов, но затем (в 1998 году) стал поддерживать работу по Ethernet (TCP или UDP). DNP разработан для взаимодействия между устройствами и системами управления в энергетической, нефтегазовой отраслях, в системах водоснабжения и безопасности. На сегодняшний день DNP3 наиболее популярен в Северной Америке, Австралии и Южной Африке. DNP3 базируется на варианте протокола IEC 60870-5 в том виде, каким он был в 1992 году. В частности, DNP3 использует ряд решений из IEC 60870-5-1 и -2. Например, на канальном уровне используется FT3 – один из четырех

форматов фрейма IEC 60870-5. Отметим, что DNP3 поддерживается в среде ISaGRAF несколькими производителями PLC и RTU, например, компаниями Kingfisher и MultiTrode. Протокол UCA (Utility Communications Architecture, начал разрабатываться в 1988 году под эгидой ERPI (Electric Power Research Institute, США) и IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers). Впоследствии усилия этих организаций по разработке протокола UCA легли в основу стандарта IEC 61850 «Сети и системы связи на подстанциях». Многие ученые находят ряд близких концептуальных идей в IEC 61850 и IEC 61499 [10] (напомним, что стандарт IEC 61499 реализован в ISaGRAF 5) и поэтому предлагают использовать инструментальные средства, поддерживающие IEC 61499, для реализации подходов, предлагаемых в IEC 61850 [12,13].

В Европе и в России наибольшее распространение получил стандарт IEC 60870. IEC 60870 – это серия стандартов, разработанная Техническим комитетом 57 (Рабочая группа 03) Международной электротехнической комиссии (МЭК, IEC – International Electrotechnical Commission) с целью обеспечить открытый протокол для передачи управляющих и информационных данных телеметрии. Первоначально все стандарты в этой серии обозначались как IEC 870-xx, но впоследствии была добавлена приставка ‘60’ и стандарты стали обозначаться как IEC 60870-xx. Для простоты (и единообразия) будем в дальнейшем в тексте использовать обозначение стандартов в виде IEC 60870. Серия стандартов предназначена в первую очередь для приложений в энергетике, но широко используется и в других отраслях (например, в трубопроводном транспорте). Первые базовые стандарты в рамках IEC 60870 начали появляться с 1988 года и вылились в публикацию в 1995 году профиля IEC 60870-5-101, который «распространяется на устройства и системы телемеханики с передачей данных последовательными двоичными кодами для контроля и управления территориально распределенными процессами». По мере развития сетевых

технологий IEC 60870-5 стал предусматривать использование протокола TCP/IP.

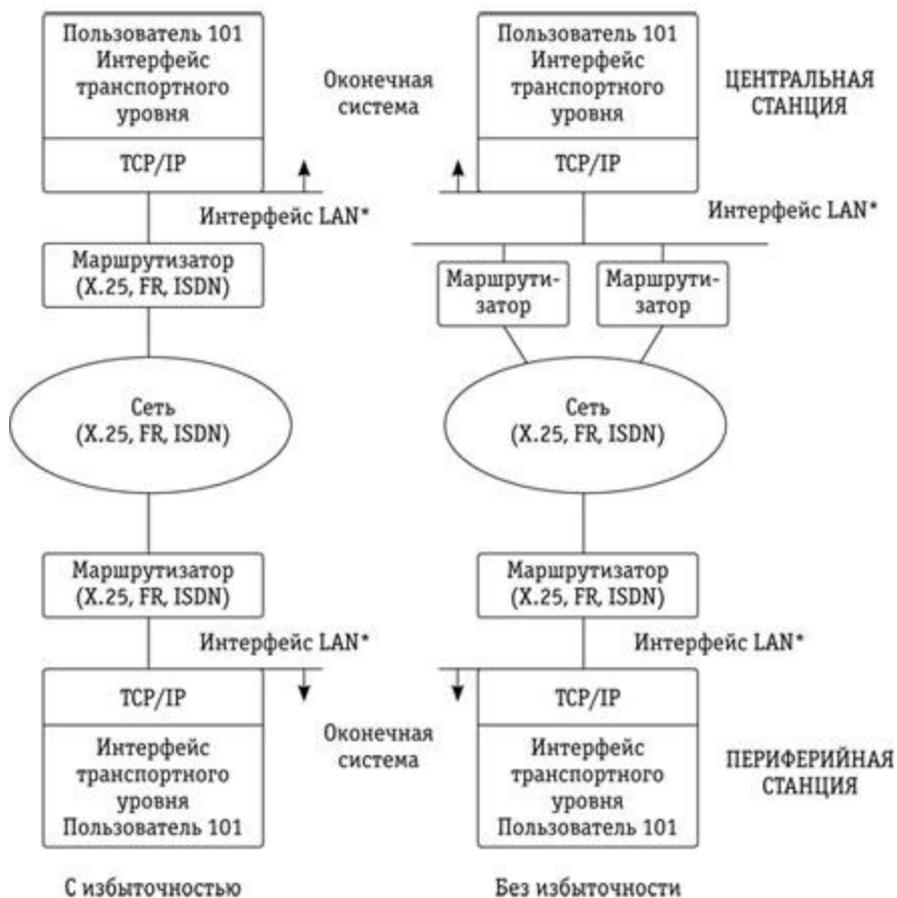


Рисунок 10. Пример системы на базе IEC 60870-5-104

Особое внимание стоит стандарту (протоколу) IEC 60870-5-104, драйвер для которого в среде ISaGRAF. В стандарте сказано, что правила настоящего стандарта представляют комбинацию прикладного уровня стандарта IEC 60870-5-101 и функций транспортного уровня, предусматриваемых TCP/IP. Внутри TCP/IP могут быть использованы различные типы сетей, включая Ethernet 802.3, X.25, FR (Фрейм реле), АТМ (Режим асинхронной передачи) и ISDN (Цифровая сеть интегрированного обслуживания), как это показано на рисунке. 10 (фрагмент из стандарта).

Номер уровня	Уровни ИСО/МЭК 7498-1	Уровни ЕРА	Уровни IEC 60870-5-104
		Процесс пользователя	Процесс пользователя
7	Прикладной	Прикладной	Прикладной
6	Уровень представления		
5	Сеансовый		
4	Транспортный		Транспортный
3	Сетевой		Сетевой
2	Канальный	Канальный	Канальный
1	Физический	Физический	Физический

Рисунок 11. Модель OSI

2.7.2 Протокольный стек IEC 60870-5

Протоколы серии 60870-5 основаны на трехуровневой модели, называемой «Архитектура повышенной производительности» (ЕРА, Enhanced Performance Architecture), определенной в МЭК 60870-5-3 и являющейся упрощенным вариантом семиуровневой модели ИСО/МЭК 7498-1. Архитектура ЕРА была разработана с целью получения более быстрого времени реакции для критической информации, но с ограниченными услугами. Обычно в модель ЕРА добавляют еще один уровень – «Процесс пользователя». Мотивация этого следующая: данный уровень добавляется, чтобы представить различные функции или процессы, которые должны быть обязательно определены, чтобы предусмотреть способность к взаимодействию между оборудованием системы телемеханики.

Протоколы в рамках IEC 60870-5-104 дополнительно к ЕРА включают сетевой и транспортный уровни ИСО/МЭК 7498-1, основанные на выборке из TCP/IP в соответствии с RFC 2200. В результате стек протокола IEC 60870-5-104 имеет структуру, показанную в табл. 5.

На канальном уровне следует обратить внимание на понятия первичная (ведущая, мастер) и вторичная (ведомая, slave) станция. Термин «первичная станция» означает, что она (и только она) инициирует взаимодействие на канальном уровне. Ведомая станция ждет запроса от первичной станции и только после получения такового посылает в ответ какие-либо данные.

Однако ведомая станция может выступать как первичная для станций следующего уровня в иерархической системе.

Процедуры передачи – небалансная и балансная. При небалансной процедуре передачи одна из станций всегда выступает как первичная станция, а все остальные станции как вторичные. При балансной передаче каждая станция может быть как первичной, так и вторичной.

Выборка прикладных функций из ГОСТ Р МЭК 870-5-5 в соответствии с ГОСТ Р МЭК 870-5-101	Инициализация	Процесс пользователя
Выборка ASDU из ГОСТ Р МЭК 870-5-101 и ГОСТ Р МЭК 870-5-104		Прикладной (уровень 7)
APCI (Управляющая информация прикладного уровня) Интерфейс транспортного уровня (интерфейс между пользователем и TCP)		
Выборка из протокола TCP/IP (RFC 2200)		Транспортный (уровень 4)
		Сетевой (уровень 3)
		Канальный (уровень 2)
		Физический (уровень 1)
Примечание - Уровни 5 и 6 не используются		

Рисунок 12. Стек протокола IEC 60870-5-104

Сервисные процедуры и примитивы – функции канального уровня, предоставляющие сервисы более высоким уровням. Существует три основных типа сервисов на канальном уровне: Send/no reply, Send/confirm, Request/respond. Send/no reply используется для рассылки широковещательных сообщений, send/confirm – для квитированной посылки команд управления, request/respond – для получения данных от ведомой станции.

Идентификатор блока данных	Идентификатор типа
	Классификатор переменной структуры
	Причина передачи
	Общий адрес ASDU
Объекты информации	Адрес объекта информации
	Набор элементов информации
	Метка времени

Рисунок 13. Структура ASDU

2.7.3 Структура сообщения прикладного уровня в IEC 60870-5-104

Для дальнейшего изложения используем несколько сокращений, из стандарта IEC 60870-5-104:

- - APCI – управляющая информация прикладного уровня.
- - ASDU – блок данных прикладного уровня.
- - APDU – протокольный блок данных прикладного уровня.

Кроме того, для краткости мы будем иногда использовать обозначение T101 для протокола IEC60870-5-101 и соответственно T104 для IEC 60870-5-104.

В T104 процессы прикладного уровня взаимодействуют посредством обмена APDU, состоящих из двух элементов – APCI и ASDU (рисунок 14). Для задания начала и конца ASDU каждый заголовок APCI включает следующие маркировочные элементы: стартовый символ, указание длины ASDU и поля управления. Может быть передан либо полный APDU, либо только APCI (для целей управления).

Значение идентификатора типа	Группа
1–40	Информация о процессе в направлении контроля
45–51	Информация о процессе в направлении управления
70	Информация о системе в направлении контроля
100–106	Информация о системе в направлении управления
110–113	Параметры в направлении управления
120–126	Передача файлов

Рисунок 14. Значения стандартных идентификаторов типа



Рисунок 15. APDU протокола IEC 60870-5-104

Стартовый символ '68H' определяет точку начала внутри потока данных. Длина APDU определяет длину тела APDU, которое состоит из четырех байтов поля управления APCI плюс ASDU (максимум 249 байтов). Поле управления определяет управляющую информацию для защиты от потерь и дублирования сообщений, для указания начала и конца пересылки сообщений, а также для контроля транспортных соединений. Механизм счетчика поля управления определяется в соответствии с рекомендациями X-25 МСЭ-Т («Стык между ООД и АКД, работающих в пакетном режиме и подключенных к сети общего пользования с помощью выделенного канала»). Возможны три формата поля управления: передача информации с нумерацией (формат I), контроль с нумерацией (формат S) и управление без нумерации (формат U).

Идентификатор типа однозначно определяет тип ASDU и занимает один байт. Он может принимать значения в диапазоне от 1 до 255: 1..127 – стандартные типы, 128..255 – зарезервированы для использования самостоятельно производителями (то есть значения в этом диапазоне не определяются стандартом).

Причина передачи занимает один или два байта и имеет следующую структуру: код причины передачи (6 бит), бит P/N, бит T и байт

опционального значения адреса инициатора. Код причины передачи может принимать значения от 1 до 63 (из них в стандарте определены только 47 значений), бит P/N – 0 (положительное) или 1 (отрицательное) подтверждение, T – 0 (не тест) или 1 (тест). Семантика причин передачи довольно разнообразна и может определять спорадическую и циклическую передачу, старт/рестарт, общий опрос, тестовый режим, синхронизацию времени, включение питания и другие виды причин передач.

Общий адрес ASDU – это адрес станции длиной 1 или 2 байта, который может быть структурирован, чтобы иметь возможность обращаться ко всей станции или к отдельному ее сектору.

Адрес объекта информации может иметь длину от 1 до 3 байтов.

Набор элементов информации состоит из одиночного элемента информации (ЭИ), комбинации или последовательности ЭИ, которые определены в IEC 60870-5-4. Элементы информации могут содержать описатель качества, который состоит из битов (флагов) качества, которые устанавливаются независимо друг от друга и обеспечивают контролируемую станцию дополнительной информацией. Позиционные биты описателя качества сообщают о различных состояниях объекта информации, например, OV – значение находится вне заранее определенного диапазона значений, BL – значение заблокировано для передачи локальным блокирующим устройством или автоматически, IV – недействительное значение, SB – значение поступает на вход или от оператора или от автоматического источника, NT – значение не обновлялось течение заданного промежутка времени или недоступно и так далее.

2.7.4 Настройка интернет соединения

TCP / IP стал общим сокращением, относящимся к набору протоколов, обеспечивающих связь между устройствами через сетевой носитель. TCP / IP обычно известен как пакет интернет-протокола. Компоненты TCP и IP,

составляющие имя, являются всего лишь двумя из множества компонентов, составляющих пакет TCP / IP.

TCP / IP состоит из большого и сложного набора отраслевых и поддерживаемых стандартов. Стандарты для пакета протоколов описываются документами, известными как RFC (Request For Comments). Эти документы поддерживаются международным IETF (Целевая группа по инженерному обеспечению Интернета). Следующее описание TCP / IP будет ограничено небольшим подмножеством пакета протоколов TCP / IP, относящимся к RTU SCADA Pack E. Для получения дополнительной информации см. Стандартные тексты по TCP / IP и использование интернет-протоколов.

Структура протокола TCP / IP состоит из пяти (5) слоев из модели связи протокола OSI:

2.7.5 Сетевой уровень IP

Протокол Интернета версии 4 (сокращенно IPv4 или только IP) является сетевым уровнем стека протоколов TCP / IP. Часть IP пакета данных содержит информацию заголовка, включая IP-адрес источника и адрес назначения, описывающий отправителя и получателя пакета данных. Основываясь на этой информации, оборудование связи может определить, как передавать данные, чтобы добраться до места назначения.

В отличие от других протоколов связи, которые назначают уникальный адрес каждому узлу в сети, IP-адреса назначаются каждому LINK на устройстве (также известном как Host). Например, устройству, использующему три (3) протокола протокола TCP / IP, будут назначены три IP-адреса, по одному для каждой ссылки.

IP-адрес представляет собой 32-разрядное (4-байтовое) значение. Каждая ссылка в IP-сети имеет уникальный IP-адрес. Обозначение для IP-

адресов - 4 десятичных значения (по одному для каждого из 4 байтов IP-адреса), каждый из которых разделен точкой «.».

Например. ... 10.0.1.2 - это обозначение IP-адреса для адреса ссылки с 32-разрядным адресом, чье шестнадцатеричное значение равно 0A000102h.

Возможна не каждая четырехбайтовая комбинация IP-адресов, при этом возникает множество правил, упрощающих конфигурацию крупных сетей и эффективное распределение адресов в сетях. Одним из примеров этого является подразделение IP-адресации в классах А, В, С, D. Для получения дополнительной информации.

Подсетей (обычно называемых подсетей) также широко используются для разделения сетей TCP / IP и обеспечения разумного доступа к крупным сетям. При использовании с адресацией класса подсерии предоставляют средства для разбиения IP-адресов в сети TCP / IP. И IP-адрес, и маска подсети определяют ссылку в подсети. Для получения дополнительной информации см. Раздел Подсети TCP / IP.

Уровень IP может передавать широковещательные данные, когда IP-адрес получателя неизвестен. Обычно используется IP-адрес назначения «all-ones». То есть 255.255.255.255. Услуги BOOTP обычно используют IP-широковещательный адрес и часто используют широковещательную Ethernet-адресацию Ethernet.

2.7.6 Транспортный слой

Назначение транспортного уровня TCP / IP двойка: пакетные данные пакета в источнике в формате, подходящем для передачи по сети, линии передачи данных и физическим уровням; и распаковать полученные данные в пункт назначения и представить его пользователю, как это было до передачи.

Два разных механизма транспорта поддерживают протокол TCP / IP. Это UDP и TCP.

Протокол пользовательских дейтаграмм (UDP) - это более простой протокол транспортного уровня. Это протокол без установления соединения, не требующий обмена данными между исходным и целевым узлами, отличными от переноса пользовательских данных. Нет встроенного исправления ошибок и не установлен порядок доставки пользовательских данных. UDP довольно эффективен и идеально подходит для приложений, которые обрабатывают собственное восстановление ошибок и доставку заказов (например, синхронизация времени в Интернете использует протокол NTP через UDP). RTU SCADApack E могут использовать UDP для транспорта кадров уровня канала передачи данных BOOTP, NTP и DNP3. Протокол DNP3 включает в себя собственную обработку ошибок и транспортный уровень, который подразделяет фрагменты DNP на фреймы, выполняет восстановление ошибок и устанавливает порядок доставки и обработки в не-ячейковой сети.

Протокол управления передачей (TCP) является более сложным, более крупным и менее эффективным протоколом транспортного уровня. Это соединение и обмен данными между узлами, использующими TCP-транспорт, для обеспечения следующих возможностей. Подключение виртуального «потока» между хостами, автоматическое разделение больших объемов данных на более мелкие пакеты для передачи по «потoku», восстановление ошибок, гарантированный порядок доставки в сетчатые сети, несколько виртуальных клиент-серверных соединений и т. Д. TCP часто используемые приложениями, которые не хотят обрабатывать, или не могут обрабатывать ни один из этих i ОПРОСЫ. Например, протокол виртуального терминала TELNET просто хочет передать трафик терминала (символы) и оставляет обработку ошибок, доставку и поддержку нескольких сеансов транспортному протоколу TCP. Один пакет сетевого уровня IP может нести либо пакет транспортного уровня UDP, либо TCP. Оба UDP и TCP могут переноситься через одну и ту же сеть TCP / IP. Подсистема TCP / IP

Subnetting - это механизм, который позволяет разделить сети TCP / IP на более мелкие сети, называемые подсетями. В этом режиме IP-адреса теперь имеют две логические части, адрес подсетевой сети и индивидуальный адрес. Каждый из членов подсети использует «маску подсети», чтобы определить, сколько битов 32-разрядного IP-адреса представляет собой общий адрес для узлов в подсети, и сколько битов представляет отдельный IP-адрес. Если IP-пакет для передачи адреса источника и получателя сравниваются, чтобы увидеть, находятся ли они в одной и той же подсети с помощью маски подсети. Сообщение для IP-адреса в той же подсети автоматически передается. Устройство Gateway может использоваться для передачи IP-пакетов между различными подсетями. Маска подсети создается как двоичное число, причем наиболее значимым битам присваивается двоичный «1», где компонент IP-адреса относится к общему адресу для узлов на подсети. Оставшим младшим значащим битам присваивается двоичный «0», где компонент IP-адреса относится к индивидуальному IP-адресу. Сокращенная нотация для этой маски подсети равна / 27, так как в маске подсети имеется 27 последовательных значащих двоичных «1». Два специальных адреса зарезервированы в списке возможных IP-адресов, принадлежащих к подсети. Адрес ALL-ZEROS (т.е. IP-адрес) адрес, чья отдельная часть равна нулю) представляет собой IP-адрес, относящийся ко всей подсети. Когда используется адрес all-zeros, он относится к подсети, к которой принадлежит каждый узел в подсети. Адрес ALL-ONES (т.е. IP-адрес, чья индивидуальная часть является всего одним битом) представляет собой широковещательный IP-адрес для всего подсети. Адрес all-ones используется для передачи широковещательных пакетов каждому узлу в подсети. Уровень приложения. Уровень приложения TCP / IP обеспечивает интерфейс для приложений для обмена данными, которые передаются по сети через TCP / IP или UDP / IP. Этот интерфейс для приложения для отправки и приема данных в другое приложение и из него известен как SOCKET. Сокет является логическим каналом между

удаленными приложениями, обменивающимися данными. Логический канал идентифицируется с использованием IP-АДРЕСА и НОМЕРА ПОРТА. (Номера портов представляют собой концепцию программного обеспечения TCP / IP и не связаны с физическими номерами портов SCADApack E RTU). Несколько приложений могут одновременно обмениваться данными через несколько сокетов на одном устройстве и одной и той же сетевой ссылке. Номера портов для стандартных приложений TCP / IP определены в RFC1700 (Assigned Numbers).

2.8 Реализация адаптивного алгоритма на базе протокола IEC 60870-5-104 в ISaGRAF

После рассмотрения теоретической части вопроса перейдем к конкретной реализации протокола IEC 60870-5-104 в среде инструментальной системы программирования контроллеров ScadaPACK E334. Драйвер IEC 60870-5-104 поддерживает Slave составляющую протокола, в том числе циклическую, фоновую и спорадическую передачу данных. Настройка всех параметров драйвера осуществляется через XML-файл. Конфигурирование драйвера выполняется непосредственно в среде ISaGRAF Workbench через диалоговое окно «Монтаж ВВ/Выбор Устройства», в котором находится список простых устройств ISaGRAF.

Укажем некоторые конкретные характеристики реализованного драйвера:

Режим передачи прикладных данных: используется только режим 1 (младший байт передается первым), как определено в МЭК 60870-5-4 (подпункт 4.10).

- Общий адрес ASDU: 2 байта.
- Адрес объекта информации: 3 байта, неструктурированный.
- Причина передачи: 2 байта (с адресом источника). Если адрес источника не используется, то он устанавливается в 0.

– Максимальная длина APDU равна 253 (по умолчанию).

Реализованные функции прикладного уровня: удаленная инициализация вторичной станции, циклическая передача данных, процедура чтения, спорадическая передача, опрос станции (общий и по группам), синхронизация времени, несколько команд прямой передачи команд, полный набор команд передачи интегральных сумм, процедура тестирования, фоновое сканирование.

Во всех случаях для связи по TCP/IP для связи между станциями используется порт 2404.

В качестве первичной составляющей (Master) протокола IEC 60870-5-104 могут использоваться различные продукты, например, такие: IECSTest (РТСофт) или CybServer (Cybectec). Драйвер IEC 60870-5-104 Slave прошел тестирование специалистами филиала ГТ-ТЭЦ Энерго поддерживает протоколы 60870-5-104 и Modbus RTU/TCP.

2.9 Оценка возникновения ошибки при передаче данных

Построение распределенных автоматизированных систем управления (АСУ) связано с решением вопросов организации сбора, хранения, обработки и автоматической передачи различных объемов информации. Актуальность передаваемой информации – одна из важнейших характеристик, определяющих качество информационного обмена, и одним из показателей качества обслуживания. Достоверность передаваемой информации определяется как качеством канала связи, так и методами (протоколами) используемыми для передачи информации.

Для оценки неизвестной вероятности используется, как правило, коэффициент ошибок по единичным элементам (кодovým комбинациям). Однако его применение целесообразно лишь на каналах с распределением ошибок, близким к независимому. Оценка состояния каналов, характеризующихся группированием ошибок элементов (что приводит к взаимосвязи искажений передаваемых блоков информации), характерной для КВ-каналов, при использовании указанного метода становится явно неадекватной и ведет к значительным ошибкам контроля.

С целью учета группирования ошибок в канале связи воспользуемся моделью, предложенной Пуртовым [15], в которой наряду с вероятностью ошибки на бит введен коэффициент группирования α .

Сегодня для передачи данных (ПД) широко используется стек протоколов TCP/IP. Практика показывает, что использование протокола TCP/IP без средств повышения достоверности в каналах низкого качества неэффективно [16]. Значительный объем «кванта» информации, – блока TCP/IP - становится ненужной роскошью. А большой объём служебной информации в заголовке увеличивает вероятность её искажения. Итогом является невозможность передачи информации посредством TCP/IP по таким каналам без применения специальных средств.

Наиболее очевидным выходом из данной ситуации, при использовании для ПД стека протоколов TCP/IP, может быть дополнительное использование средств повышения качества канала. Но реализация алгоритмов в такой аппаратуре осуществляется на аппаратном уровне, что делает такие устройства сравнительно дорогими.

Ещё одним способом повышения качества ПД представляется использование протокола, обладающего меньшей избыточностью и возможностью восстановления передаваемого потока.

Одним из известных и хорошо проработанных протоколов ПД является протокол X.25/2. Анализ протоколов, использующих методы восстановления информационного потока (X.25/2 и TCP/IP) показал схожесть их алгоритмов восстановления.

Состояние П передающего процесса процедуры X.25 характеризуется либо передачей блоков с «новой» информацией от источника, либо повторной передачей «старых» блоков, принятых с ошибками, либо готовностью передачи при отсутствии входного потока. [18] В TCP аналогом выступает подсостояние основного состояния ESTABLISHED, когда TCP ведет обмен данными через соединение [19].

Состояние В передающего процесса процедуры X.25 характеризуется действиями по устранению неопределенности, возникшей в результате неприема команды подтверждения или команды запроса информационного блока в течение некоторого времени (тайм-аут T1). В этом состоянии передача информационных блоков не проводится. Оно возникает в результате воздействия ошибок на блоки в канале связи [21]. Одно из подсостояний основного состояния ESTABLISHED TCP предусматривает аналогичные процедуры по устранению неопределенности и вызывается такими же причинами [20].

Состояние Пр - характеризуются также отсутствием передачи информационных данных в результате приема блока остановки передачи. Пр возникает в результате дефицита памяти на удаленной станции звена ПД. [21]

Состояние Пм приемного процесса характеризуется действиями по обработке и выдаче принятого без ошибок из канала связи блока получателю, либо готовности к такой выдаче при отсутствии входного потока на удаленной станции [22]. Одно из подсостояний ESTABLISHED предусматривает такие действия [23].

Состояние Б приемного процесса протокола X.25 характеризуется действиями по инициации повторения информационных блоков, принятых с ошибками. В состоянии Б выдача получателю других правильно принятых блоков не разрешается [22]. В случае односторонней передачи, приемный TCP в состоянии ESTABLISHED также посылает служебный блок передающему TCP, инициирующий повторную передачу [20].

При дефиците памяти на приемной стороне передающий TCP тоже останавливает передачу и повторяет ее периодически через определенное время. Дефицит памяти на передающей стороне полностью блокирует передачу с помощью TCP/IP [23].

Исходя из идентичности состояний для процедур X.25 и TCP/IP, можно сделать вывод о применимости в отношении последнего выражений для эффективности передачи информации протокола X.25.

С целью выявления возможностей осуществления ПД на каналах низкого качества с помощью процедур X.25/2 (далее X.25) канального уровня и TCP/IP (далее TCP/IP) сетевого и транспортного уровня модели OSI проведем оценку эффективности процесса ПД.

Для оценки эффективности передачи информации будем использовать понятие относительной эффективной скорости передачи. Под относительной эффективной скоростью передачи понимается отношение средней скорости выдачи информации потребителю (эффективная скорость) к скорости передачи данных в канале. Относительная эффективная скорость определяет отношение количества бит, принятых от источника данных и переданных получателю данных, к общему количеству бит, потребовавшихся для успешной передачи (включая и повторные передачи).

Вероятность обнаружения ошибки в блоке (кадре) длиной V в канале связи с вероятностью ошибки на бит и коэффициентом группирования α согласно модели Пуртова определяется из выражения.

$$P_{oo} = \begin{cases} P_{оп} V^{1-\alpha}, & P_{оп} V^{1-\alpha} < 1, \\ \rightarrow 1, & P_{оп} V^{1-\alpha} \geq 1. \end{cases} \quad (1)$$

При повторении искаженных блоков увеличивается задержка передачи или, что то же самое, снижается эффективная скорость.

В [21] выведено следующее выражение для относительной эффективной скорости передачи для процедур синхронного протокола, основанное на математической модели процедур протокола X.25:

$$R_K = \frac{K P_{\Pi}(\lambda)}{(K_o + 1)(1 - P_{oo})^{-2} - K_o} + K_{\Pi}(1 - P_{oo})(1 - P_{\Pi})P_{\Pi\text{М}}(\lambda) \quad (2)$$

где $P_{\Pi} = \frac{P_{\text{обс}}}{1 + n_{\Pi} P_{\text{обс}}}$ вероятность передачи новых кадров в состоянии «Передача» (Π) [6];

$$P_{\Pi\text{М}} = \frac{P_{\text{обс}}}{1 + n_{\Pi\text{М}} P_{\text{обс}}} \quad (3)$$

- вероятностью приема кадра без ошибки в состоянии «Приём» ($\Pi\text{М}$);

K_o – количество блоков данных, повторяемых по сигналу запроса (не больше размера окна);

Ки– коэффициент избыточности;

В свою очередь, коэффициенты

$$n_{\Pi} = \frac{P_{oo}e^{-\lambda(T_i-t_m)}}{(1-P_{ook})(1-P_{ook}^K)}, \quad (4)$$

$$n_{\Pi M} = \frac{P_{oo}(1-P_{oo})[1-e^{-\lambda(T_i-t_m)}]}{1-(P_{oo}+P_{ook}-P_{oo}P_{ook})^K}, \quad (5)$$

где λ – интенсивность входного потока пакетов; P_{ook} – вероятность искажения супервизорного блока; t_m – время распространения сигнала по кабелю, в худшем случае около 0,6 сек;

, где $T1$ – тайм-аут ожидания ответа; $T2$ – тайм-аут допустимого перерыва в процессе передачи данных.

Вероятность обслуживания входящего блока:

$$P_{обс} = \frac{(1-p)p^{m+1}}{1-p^{m+2}}, \quad (6)$$

где m – количество мест в очереди ожидания обработки блока [8];

$$p = \frac{\lambda}{\mu}, \quad (7)$$

– интенсивность обслуживания;

$$\mu = \frac{V}{C}, \quad (8)$$

где C – скорость передачи информации по каналу связи, входящему в состав звена передачи данных.

Коэффициент K_v в выражении для R_k определяет степень снижения эффективности передачи за счет избыточности, формируемой в блоке (служебная информация протокола или заголовки блока). Для процедуры Х.25 эта избыточность составляет 64 бита, поэтому.

$$K = 1 - \frac{64}{V}. \quad (9)$$

Для процедуры ТСР/ІР эта избыточность в среднем будет равна 320 бит – длине заголовка ІР плюс заголовки ТСР [4, 9]. Кроме того, избыточность передачи увеличивается в среднем на 112 бит при использовании на канальном уровне протоколов PPP или Ethernet.

Примем следующие допущения:

1) данный канал связи полностью характеризуется величинами P_0 на бит и α ;

2) средняя длина пакета варьируется $V=0\dots 10000$ бит (от 0 до ≈ 1500 байт);

3) количество блоков, повторяемых по сигналу запроса для обоих протоколов $K_0=7$;

4) скорость передачи данных по каналу $C=9600$ бит/с;

5) минимальный размер буфера как у передатчика, так и у приемника $K_3=3$;

6) $K=T_1/T_2=3$;

7) максимальный размер заголовка блока для X.25 составляет 64 бита, для ТСР/ІР – 432 бита;

8) $m=1$.

Выберем такую интенсивность входного потока пакетов λ , при которой вероятность ожидания передачи блоков при отсутствии потока пакетов $P_0 \rightarrow 0$. В этом случае в среднем канал связи будет загружен полностью, тогда $\lambda = C/V$, где V – средняя длина пакета (блока), бит.

Анализ показал, что зависимость относительной эффективной скорости передачи РК от длины блока данных V представляет собой куполообразную форму, имеющую выраженный максимум. Качественно такую форму зависимости РК от V можно пояснить следующим образом. Эффективность передачи определяется двумя основными факторами: наличием в блоке служебной информации и поражением блоков ошибками, приводящим к повторной передаче. В случае первого фактора, чем больше длина блока, тем эффективнее передача, т.к. меньше доля служебной информации в блоке. Для второго фактора – с увеличением длины блока увеличивается вероятность ошибки в нем (и, следовательно, вероятность повторной передачи), что приводит к снижению эффективности передачи. В диапазоне малых длин блока эффективность передачи снижается за счет первого фактора, в диапазоне больших – за счет второго.

Максимум графика определяет некоторую оптимальную длину блока протокола, обеспечивающую наивысшую эффективность и наилучшую достоверность передачи информации в данном канале связи.

В заключении можно сделать утверждения:

- чем ниже качество канала связи, тем меньше максимальная эффективность передачи;
- чем ниже качество канала связи, тем меньше оптимальная длина блока и тем меньше диапазон длин блоков, при которой может быть вообще осуществлена передача какой-либо информации;
- чем больше коэффициент группирования ошибок α при одной и той же вероятности ошибки в канале связи, тем выше эффективность передачи и больше оптимальная длина блока.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
8ТМ61	Киреев Павел Александрович

Школа	ИШИТР	Отделение	ОАР
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Автоматизация технологических процессов и производств

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Экономическая оценка проведенных исследований для расчета показателей ресурсоэффективности и прогнозируемой прибыли проекта.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Оценочная карта конкурентных технических решений
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Иерархическая структура работ Календарный план-график реализации проекта
3. <i>Оценка ресурсной, финансовой, социальной, бюджетной эффективности научного исследования</i>	Определение ресурсоэффективности проекта

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

1. <i>Оценочная карта конкурентных технических решений</i>
2. <i>Иерархическая структура работ</i>
3. <i>Календарный план проекта</i>
4. <i>Бюджет проекта</i>
5. <i>Определение ресурсоэффективности проекта</i>

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Верховская М.В.	К.Э.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ТМ61	Киреев Павел Александрович		

3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В данной выпускной работе затрагивается проблема, что инфраструктура нефтедобывающих предприятий, как правило, является распределенной с территориально отдаленными объектами. Передача данных осуществляется при помощи радиосигнала. При реализации передачи данных со всех удаленных объектов на один диспетчерский пункт могут возникнуть проблемы, связанные, например, с недостаточным быстродействием системы и низкой достоверности передаваемых значений параметров технологического процесса или коллизий в передающих каналах. Предложенное решение, описанное в основной части работы, позволяет решить все эти проблемы. Оно основано на использовании уникального алгоритма, разработанного автором, и оборудовании, позволяющем его реализовать. В связи с чем, востребованность проекта актуальна для узкого сегмента рынка – нефтегазодобывающих предприятий, использующих кустовые площадки добычи нефти. Так же, некоторые идеи повышения скорости передачи данных могут быть интересны для компаний, работающих с радиосигналами.

3.1 Актуальность разработки

Целью работы является принятие и обоснование нужных инженерных решений с целью создания проекта автоматизированной системы управления кустовой площадкой нефтяного месторождения. Основная часть проекта посвящена улучшению системы передачи данных, выбору комплекса технических средств, разработке структурной и функциональной схем, схемы информационных потоков, выбору подходящего оборудования, описанию технологических алгоритмов, разработке экранных форм.

Проблема создания автоматизированных систем управления является наиболее актуальной на данный момент, так как созданная система позволяет

безопасно управлять производством и экономить значительные средства. Повышение пропускной способности сети позволяет быстрее получать данные, которые способствуют своевременному принятию мер при аварийных ситуациях, а значит повысить безопасность персонала на взрывоопасных объектах, избавит от дополнительных финансовых потерь производство.

3.2 SWOT-анализ

Целью данного раздела является определение всех сильных и слабых сторон проекта, которые рассматриваются как внутренние факторы, а также изучение внешних факторов, каковыми являются рыночные возможности и угрозы, для получения четкого представления основных направлений развития разработки. При публичном представлении проекта инвесторам на основе такого исследования следует максимально использовать сильные стороны, указать на слабости и возможные пути решения данных проблем.

Таблица №4. SWOT-анализ

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>S1) Новизна и уникальность проекта;</p> <p>S2) Повышение безопасности персонала;</p> <p>S3) Адаптивность использования метода;</p> <p>S4) Наличие рабочего прототипа;</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>W1) Использование более дорогого оборудования;</p> <p>W2) Отсутствие должной квалификации у персонала;</p> <p>W3) Использование сложного алгоритма управления;</p> <p>W4) Узконаправленный профиль применения;</p>
<p>Возможности:</p> <p>O1) Модернизация действующей работы кустовых площадок;</p>	<p>Т.к. в работе используется развивающийся подход к передаче данных, то его применение может найти новые</p>	<p>В современном обществе все больше стараются повысить безопасность людей, а модернизация</p>

<p>O2) Применение в новых отраслях;</p> <p>O3) Модернизация телемеханики;</p>	<p>и новые направления, не только в нефтегазовой отрасли, но и других. Так же, основываясь на результатах проекта, можно будет переоснастить действующие кустовые площадки, что позволит в будущем подойти к процессу разработки с нового ракурса.</p>	<p>действующих кустовых площадок поможет сделать это.</p>
<p>Угрозы:</p> <p>T1) Возникновение помех при передачи данных;</p> <p>T2) Противоречия в согласовании работы различного оборудования;</p> <p>T3) Не заинтересованность в применении предложенного подхода;</p>	<p>Т.к. разработанное решение позволяет повысить передачу данных и позволяет разгрузить радиосеть, а значит повысить работоспособность и снизить износ оборудования.</p>	<p>Из-за сложного алгоритма и узконаправленного действия проект может не заинтересовать предприятия, которые откажутся от использования его вовсе, основываясь на том, что текущие алгоритмы и так справляются с текущими задачами.</p>

SWOT-анализ объективно показывает, что данный проект интересен для узкого сегмента производств нефтедобывающего комплекса. Из-за сложного алгоритма повышается риск возникновения проблем при дальнейшей эксплуатации разработки. Данные проблемы нивелируются экономической прибылью заказчика за счет сокращения объемов и цены реконструкций. Автоматизация, в свою очередь, предоставит возможность дистанционного обслуживания кустов, что снизит временные и экономические затраты при обслуживании.

3.3 Потенциальные потребители исследования

Потенциальными потребителями исследования являются коммерческие организации в нефтегазовой отрасли занимающиеся добычей нефти скважинным способом или организации обслуживающие кустовые площадки.

В таблице №5 приведены основные сегменты рынка по следующим критериям: размер компании-заказчика, направление деятельности. Буквами обозначены компании: «А» - ООО «РН-Юганскнефть», «Б» - ООО «Славнефть», «В» - ООО «Нефтестройпроект»,.

Таблица №5 – Карта сегментирования рынка по отраслям промышленности

		Направление деятельности			
		Проектирование строительства	Разработка АСУ ТП	Внедрение SCADA-систем	Разработка систем дистанционного контроля
Отрасль компании	Нефтепереработка	А, В	А,В	А, Б	В
	Нефтедобыча	А, Б, В	А, Б, В	А, Б, В	А,Б
	Эксплуатация и ремонт	Б, В	А	Б, В	

Согласно карте сегментирования можно выбрать следующие сегменты рынка: разработка АСУ ТП и внедрения SCADA-систем для компаний нефтедобычи и нефтепереработки.

3.4 Планирование научно-исследовательской работы

Для организации НИР применяются различные методы экономического планирования с целью более эффективного использования времени и рабочей силы, снижения трудозатрат. Планирование НИР заключается в составлении перечня работ, необходимых для достижения поставленной задачи, установлении продолжительности в рабочих днях; построения линейной диаграммы Ганта и его оптимизации.

Система планирования основана на графическом представлении определенного комплекса работ с помощью сетевых и линейных методов, отражающих последовательность, взаимосвязь и длительность конкретных работ. Сетевые методы планирования в основном используются при большой сложности научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, одновременном участии большого числа исполнителей, необходимости параллельного выполнения работ и т.д. Работы, проводимые в коллективе с большими людскими затратами, рассчитываются методом сетевого планирования. Поскольку данная работа имеет малый штат исполнителей (руководитель и студент-инженер) и проводится с малыми затратами, целесообразно применить систему линейного планирования с построением линейного графика.

Успех проведения работы зависит от рационального распределения нагрузки по времени этапов, что позволяет более эффективно распределять и использовать ресурсы ее исполнителей; предварительно определить затраты на проведение НИР.

3.4.1 Поэтапное распределение НИР

Таблица №6. Перечень основных этапов НИР

Этап проведения НИР	Вид работы	Исполнители
1. Подготовительный	1. Получение задания	Руководитель, инженер
	2. Изучение нормативно-технической документации по данной теме	Инженер
2. Основной	1. Проектирование АСУ ТП кустовой площадки нефтяного месторождения	Инженер
	2. Проектирование модели алгоритма в Simulink	Инженер
	3. Проектирование блок-блока КИПиА совместно со шкафами автоматики	Инженер
	4. Разработка алгоритмов управления для ПЛК	Инженер
	5. Выявление недоработок	Руководитель
	6. Исправление недоработок	Инженер
3. Заключительный	1. Анализ результатов	Руководитель, инженер
	2. Составление проектной и	Инженер

	рабочей документации	
	3. Оформление графических приложений к проекту	Инженер

3.5 Расчет трудоемкости этапов распределения НИР

Под трудоемкостью работ понимают максимально допустимые затраты труда в человеко-днях на выполнение НИР с учетом организационно-технических мероприятий, обеспечивающих наиболее рациональное использование выделенных ресурсов.

Для определения средней трудоемкости работы используем (средние) значения $t_{ож}$, которые определяются по формуле :

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot t_{min} + 2 \cdot t_{max}}{5} ; \quad (10)$$

где:

- t_{min} – минимальная трудоемкость работ, чел.-дни;
- t_{max} – максимальная трудоемкость работ чел.-дни.
- Сроки t_{min} и t_{max} устанавливаются методом экспертных оценок.

Для построения линейного и сетевого графиков необходимо продолжительность каждого этапа $T_{рд}$ перевести в календарные дни $T_{кд}$ по формуле :

$$T_{кд} = T_{рд} \cdot K_{к} ; \quad (11)$$

где:

$T_{кд}$ – длительность этапов работ в календарных днях;

$K_{к}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяют по формуле :

$$K_k = \frac{T_k}{T_k - T_{вд} - T_{пд}} \quad (12)$$

где:

T_k – календарные дни, $T_k=365$ дней;

$T_{вд}$ – выходные дни, $T_{вд}=102$ дня;

$T_{пд}$ – праздничные дни, $T_{пд}=16$ дней.

По результатам расчетов коэффициент календарности равен $K_k=1,478$.

Результаты расчетов трудоемкости этапов представленный в таблице 6.

Таблица №7. Временные показатели проведения научного исследования

Содержание этапа		Трудоёмкость работ, человеко-дней			Кол-во исполнителей	Длительность работ	
		tmin	tmax	Тож		Трд	Ткд
1	Получение задания	1	2	1,4	2	0,84	1,2412955
2	Изучение нормативно-технической документации по данной теме	5	7	5,8	1	6,96	10,28502
3	Проектирование АСУ ТП кустовой площадки нефтяного месторождения	4	5	4,8	1	5,78	10,8024291
4	Проектирование модели алгоритма в Simulink	2	3	2,4	1	2,88	4,2558704
5	Проектирование блока КИПиА совместно со шкафами автоматики	5	7	5,8	1	6,96	10,28502
6	Разработка алгоритмов управления для ПЛК	4	6	4,8	1	5,76	8,5117409
7	Выявление недоработок	2	3	2,9	1	3,88	8,2558704

8	Исправление недоработок	1	2	1,4	1	1,68	2,4825911
9	Согласование проекта со смежными отделами предприятия	1	2	1,4	1	1,68	2,4825911
10	Анализ результатов	1	2	1,4	2	0,84	1,2412955
11	Составление проектной и рабочей документации	2	3	2,4	1	2,88	4,2558704
12	Оформление графических приложений к проекту	1	2	4,4	1	7,68	12,4825911
Итого		29	44	35		76,45	80,064777

Линейный график наглядно отражает весь процесс во времени, участников каждого этапа и месяц, в котором должен выполняться тот или иной этап. Применение линейного графика целесообразно тогда, когда не планируется проведение параллельных работ или их немного.

3.6 Составление сметы затрат на разработку проекта

Целью данного раздела является экономически обоснованное определение величины затрат на выполнение проекта.

Затраты, образующие себестоимость разработки группируются по следующим элементам:

- Материальные затраты;
- Затраты на оплату труда;
- Отчисления из заработной платы;
- Амортизация основных фондов;

3.6.1 Материальные затраты

Основными затратами в данной исследовательской работе являются затраты на электроэнергию и приобретение канцелярских товаров. Результаты расчётов по затратам на материалы приведены в таблице 7.

Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле:

$$C = \text{Цэл} \cdot P \cdot T_{\text{об}} = 5,8 \cdot 0,56 \cdot 1115 = 3621,52 \text{ ,} \quad (13)$$

где: Цэл – тариф на промышленную электроэнергию (5,8 руб. за 1 кВт·ч);

- P – мощность оборудования, кВт;
- T_{об} – время использования оборудования, ч.
- Затраты на электроэнергию составили 1286 рублей.

Расчет затрат на приобретение материалов приведен в таблице 8:

Таблица 8 - Затраты на приобретение материалов

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Сумма, руб.
Бумага	Пачка	1	120	150
Ручка	Штук	3	50	300
USB FLASH 1024 Мб	Штук	1	1200	1200
Электроэнергия	-	-	-	3621
Доступ в интернет	Месс.	6	550	3300
ИТОГО				8571

3.6.2 Затраты на оплату труда

В данный элемент включается основная и дополнительная заработная плата исполнителей. Расчёт основной заработной платы выполняется на основе трудоёмкости выполнения каждого этапа в человеко-днях и величины месячного должностного оклада исполнителя.

$$Сзп = Зосн + Здоп, \quad (14)$$

где $Зосн$ – основная заработная плата;

$Здоп$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата ($Зосн$) руководителя рассчитывается по следующей формуле:

$$\text{Зосн} = \text{Здн} \cdot \text{Траб}, \quad (15)$$

где Зосн – основная заработная плата одного работника;

Траб – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.

- Здн – среднедневная заработная плата работника, руб.
- Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле
- $\text{Здн} = (\text{Зм} \cdot \text{М}) / \text{Гд}$,
- где Зм – месячный должностной оклад работника, руб.;
- М – количество месяцев работы без отпуска в течение года:
- при отпуске в 24 раб. дня $\text{М} = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя;
- при отпуске в 48 раб. дней $\text{М} = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

Гд – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (таблица 9).

Таблица 9 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней:		
• выходные дни;	52	104
• праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени:		
• отпуск;	48	24
• невыходы по болезни	–	–
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	223

Оклад инженера 3 категории, равен 9489 руб/месяц. Районный коэффициент по Томску равен 1,3. Месячный должностной оклад инженера составляет:

$$З_m = 9489 \cdot 1,3 = 12335,7 \text{руб.} \quad (16)$$

Среднедневная заработная плата инженера составляет:

$$З_{дн} = (12,336 \cdot 11,2) / 223 = 619,55 \text{руб/день.} \quad (17)$$

С учетом того, что продолжительность работ инженера составляет 126 дней, основной заработок инженера составляет:

$$З_{осн} = 619,55 \cdot 126 = 78063,3 \text{руб.} \quad (18)$$

Основная заработная плата научного руководителя рассчитывается на основании отраслевой оплаты труда. Отраслевая система оплаты труда в ТПУ предполагает следующий состав заработной платы:

оклад – определяется предприятием. В ТПУ оклады распределены в соответствии с занимаемыми должностями, например, ассистент, ст. преподаватель, доцент, профессор.

стимулирующие выплаты – устанавливаются руководителем подразделений за эффективный труд, выполнение дополнительных обязанностей и т.д.

иные выплаты: районный коэффициент.

Руководителем данной научно-исследовательской работы является сотрудник с должностью доцент. Оклад доцента составляет 33664 рубля. Районный коэффициент по Томску равен 1,3.

Месячный должностной оклад научного руководителя составляет:

$$З_m = 33664 \cdot 1,3 = 43763,2 \text{руб/месяц.} \quad (19)$$

Среднедневная заработная плата научного руководителя:

$$З_{дн} = (43763,2 \cdot 10,4) / 251 = 1813,3 \text{ руб/день.} \quad (20)$$

С учетом того, что продолжительность работ научного руководителя составляет 8 дней, основной заработок научного руководителя составляет:

$$З_{осн} = 1813,3 \cdot 8 = 14506,4 \text{ руб.} \quad (21)$$

3.6.3 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций.

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$З_{доп} = к_{доп} \cdot З_{осн}, \quad (22)$$

где:

- $З_{доп}$ – дополнительная заработная плата, руб.;
- $к_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы;
- $З_{осн}$ – основная заработная плата, руб.

Примем коэффициент дополнительной заработной платы равным 0,15 для научного руководителя и 0,1 для инженера. Результаты расчёта основной и дополнительной заработной платы исполнителей научного исследования представлены в таблице 9.

Таблица 10 – Заработная плата исполнителей исследовательской работы

Заработная плата, руб.	Руководитель	Инженер
Основная зарплата	14506,4	78063,3
Дополнительная зарплата	2175,96	7806,33
Зарплата исполнителя	16 682,36	85 869,63
Итого по статье Сзп	102 552	

3.6.4 Отчисления во внебюджетные фонды

Данный элемент затрат включают в себя отчисления в различные фонды (пенсионный, обязательного медицинского страхования и др.), которые составляют 27,1% от суммы основной и дополнительной заработной платы (ЗП).

$$\begin{aligned}
 CH &= 0,27 \cdot (ОЗП + ДЗП) \\
 CH &= 0,27 \cdot (102552) = 27689 \text{ руб}
 \end{aligned}
 \tag{23}$$

3.7 Суммарные затраты на проектирование

Суммарная затраты включаются в смету, которая приведена в таблице 11.

Таблица 11 - Смета затрат на разработку

Элементы затрат	Условное обозначение	Сумма руб.
Материальные затраты	МЗ	8571
Затраты на оплату труда	ФОТ	102552
Отчисления во внебюджетные фонды	СН	27689
Итого:		138812

Таким образом, затраты на реализацию проекта составили 138812 руб.

3.8 Материальные затраты

Материалы необходимые для сборки образца изделия указаны в таблице 12.

Таблица №12 - Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Сумма, руб.
USB FLASH 1024 Мб	Штук	1	1200	1200
MOSCAD-L	Штук	2	37856	75712
PT-112	Штук	1	6916	6916
PT-132	Штук	1	10696	10696
RKA1	Штук	1	2324	2324
RKDI	Штук	1	2324	2324
ET-301	Штук	3	8961	26883
ET-420	Штук	4	7632	30528
Радиостанция GM340	Штук	2	11200	22400
Шкаф-стойка	Штук	2	14000	28000
Блок питания 230VAC 14VDC 8A	Штук	2	27412	54824
Аккумуляторы	Штук	20	3000	60000
Сервер ввода/вывода	Штук	1	25000	25000
Лицензированная SCADA- система	Штук	1	90000	90000
ИТОГО				436807

3.9 Расчет затрат на внедрение

Затраты на внедрение разработки включают в себя затраты на транспортировку оборудования, обучение персонала и оплату командировочных расходов.

Транспортные расходы составляют 50000 рублей (ТР). Затраты на обучение персонала составляют 20000 рублей (ЗОП). Пуско-наладочные работы длятся 4 дня. Командировочные дни оплачиваются по двойной ставке. Суточные расходы составляют 300 рублей в день. Расчет затрат приведен в таблице 18. Таким образом примерная зарплата для инженера за четырехдневный период составит около 8400 рублей при з/п в 1800 рублей в день.

Суммарные затраты на внедрение составляют:

$$I_B = TP + ЗОП + ОК = 50000 + 20000 + 8400 = 78400 \text{ руб.} \quad (24)$$

3.10

Оценка экономической эффективности разработки

Эффективностью – одно из наиболее общих экономических понятий, не имеющих пока, по-видимому, единого общепризнанного определения. Это одна из возможных характеристик качества системы, а именно ее характеристика с точки зрения соотношения затрат и результатов функционирования системы.

В результате ликвидации аварийных ситуаций ввиду постоянного мониторинга состояния скважинного оборудования, а также ввиду снижения износа оборудования, будут сокращены затраты на их восстановление. В среднем ЭЦН (электроцентробежные насосы) изнашиваются в течение 1 года. Период их жизни удастся увеличить как минимум в 2 раза. К примеру, стоимость ЭЦН 50-1300 составляет 1320400 руб, а стоимость ЭЦН - 30-1300 – 18900000 руб. Это значит, что экономия в год будет порядка полу - миллиона на каждый насос (в два года одна замена вместо двух).

Таким образом с учетом того, что на месторождении расположено около десятка ЭЦН, становится очевидным экономический эффект в числовом значении порядка нескольких миллионов рублей в год.

Коэффициент экономической эффективности капитальных вложений показывает величину годового прироста прибыли, образующуюся в результате производства или эксплуатации системы автоматизированного управления, на один рубль единовременных капитальных вложений.

Капитальные вложения на разработку (при количестве 1 шкафа):

$$ИП = 187152,46 \text{ руб}; \quad (25)$$

Капитальные вложения на сборку оборудования (при количестве 1 шкафа):

$$ИС = 679147,35 \text{ руб}; \quad (26)$$

Капитальные вложения при внедрении (при количестве 1 шкафа):

$$I_B = 78400 \text{ руб}; \quad (27)$$

Годовая экономия затрат от внедрения системы автоматизации:

$D \sim 500000$ руб. – годовая экономия на каждый ЭЦН, за счет внедрения постоянного мониторинга состояния скважинного оборудования.

Итого:
$$K = \frac{D}{I_{II} + I_C + I_B} = \frac{500000}{187152,46 + 679147,35 + 78400} = 0,53 \quad (28)$$

Срок окупаемости – показатель эффективности использования капиталовложений – представляет собой период времени, в течение которого произведенные затраты на разработку системы автоматизации кустовой телемеханики полученным эффектом.

$$T = \frac{1}{K} = 1,89 \text{ года} \quad (29)$$

Таким образом, срок окупаемости составляет 23 месяца.

3.11 Заключение экономической части

В данном разделе дипломного проекта было представлено технико-экономическое обоснование (ТЭО) разработки системы автоматизации кустовой телемеханики. В первой части рассчитаны параметры линейного графика работ по созданию системы автоматизации кустовой телемеханики и по этим параметрам построен линейный график работ.

Время необходимое для разработки данного аппаратно-программного продукта составляет 80 дней.

Так же была рассчитана стоимость разработки системы автоматизации кустовой телемеханики с момента получения первого варианта технического задания и заканчивая оформлением документации и сдачей разработки.

Величина затрат на разработку и внедрения системы определена путем составления сметы затрат. Стоимость разработки, сборки образца изделия и внедрения системы составила 944699,81 руб.

4. Социальная ответственность

Кустовая площадка месторождения – Кустовая площадка ограниченная территория месторождения, на которой подготовлена специальная площадка для размещения группы скважин, нефтегазодобывающего оборудования, служебных и бытовых помещений. После этапа разбуривания и первичного освоения скважины наступает этап эксплуатации. Основной особенностью автоматизации кустовой площадки является то, что после установления соответствующего оборудования автоматизации, исполнительных устройств, датчиков и контроллеров, куст функционирует полностью без участия человека. Все технологические параметры передаются на контроллер и транслируются на диспетчерский пункт с помощью радиосигнала. Оператор в диспетчерском пункте следит за процессом эксплуатации, может контролировать часть процесса и предпринимать определенные решения. Непосредственно люди могут находиться на территории кустовой площадки во время капитального, аварийного или обслуживающего ремонта.

В работе исследуются новые алгоритмы передачи технологических данных с кустовой площадки. Основная идея заключается в том, что многие параметры имеют низкую динамику, и их регулярная передача не требуется, т.к. не происходит никаких важных изменений. Это, в свою очередь, загружает трафик передачи сигнала, в следствии чего на производстве диспетчер контролирует технологический процесс с задержкой и не всегда удается вовремя среагировать на возникшие изменения процесса.

Как решение этой проблемы предлагается использовать событийный подход передачи данных, который позволит значительно уменьшить трафик радиосигнала, корректно отражать ситуацию на объекте, понизить количество запросов и ответов, а значит повысить срок службы оборудования. Такие изменения ведут к значительному улучшению качества передачи данных, и всего процесса в целом.

4.1 Техническое оснащение объекта

Кустовые площадки разрабатываются по типовым проектным решениям, которые состоят из комплекса технических средств: ряд добывающих/напорных скважин, агрегат гребенок замерной установки, дренажная емкость, блок местной автоматики (БМА), системы управления электроцентробежными насосами и комплектная трансформаторная подстанция.

Оборудование связи и автоматики сосредоточено в помещении блока БМА. Упрощенная схема расположения шкафом в блоке представлено на рисунке 16.

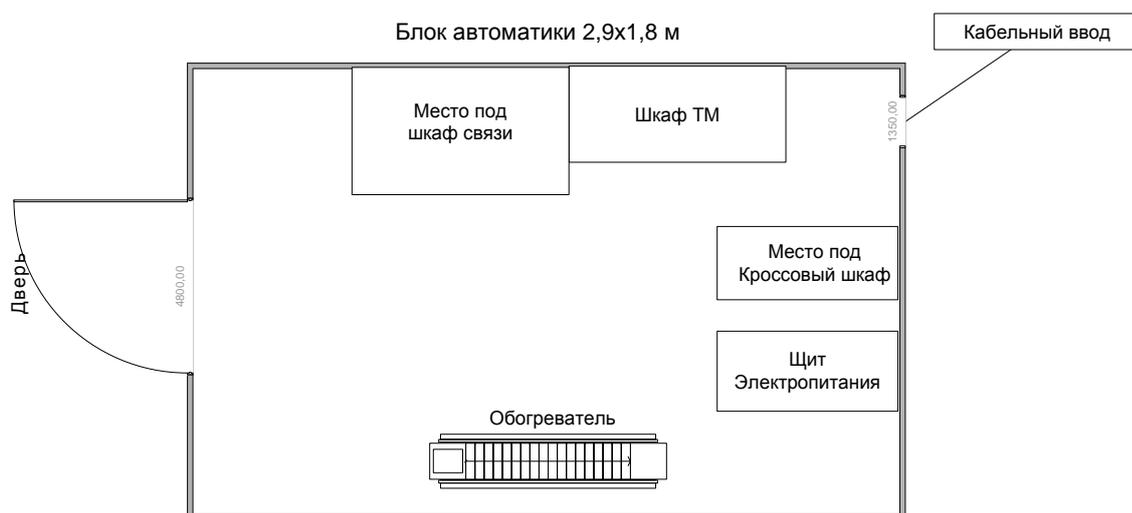


Рисунок 16. Схема блока автоматики

В рамках работы магистерской диссертации предлагается переоснащение и реинжиниринг действующего шкафа телемеханики в котором будет расположено оборудование: контроллер телемеханики ScadaPASC 334 E компании Schneider Electric, дополнительные модули ввода/вывода, кросс панель для соединения с оборудованием связи.

Для оценки надежности работы системы и анализа возможных последствий, вызванных аварией оборудования автоматики, рассмотрим надежность элементов по отдельности, а затем надежность системы в целом.

За качество работы контроллера телемеханики, оборудования связи, коммутационного оборудования ответственность несет завод изготовитель, поэтому для реализации проекта была выбрана международная компания Schneider Electric – одна из ведущих корпораций на рынке автоматики, является законодателем трендов в области автоматизации, оборудование компании востребовано во всем мире, а контроллер ScadaPASC 334 E имеет сертификат Госстандарта России № 16047, разрешение на применение Ростехнадзора № PPS 00-25996.

Немало важным условием надежной работы оборудование являются климатические условия работы. Кустовые площадки многих нефтегазодобывающих компаний России расположены в условиях крайнего севера. Заказчики при формировании технических требований для проектно технического комплекса указывают работу оборудования при температуре до -50 °С. Поэтому в блоке местной автоматики установлена система электрообогрева, обеспечивающая автоматическое включение/выключение по датчику температуры, с системой пусковой аппаратуры, для поддержания температуры в автоматическом режиме в блоке не ниже 5°С. В случае отказа работы нагревателя контроллер имеет все необходимые характеристики для продолжения работы в изменившихся условиях.

Основные характеристики контроллера ScadaPASC 334 E:

- диапазон рабочих температур: от -50°С до +70°С
- малое энергопотребление
- большой объем памяти для хранения данных в течение 2-х лет
- встроенный Ethernet, беспроводный модем, до 4-х портов RS-232/RS-485, до 1152 входов/выходов
- надежные модемы для проводных и радио-соединений
- работа по сотовой связи и с любыми другими видами радиосвязи

– протоколы: Modbus RTU/ASCII, Modbus TCP, Modbus UDP, HART, DNP3; контроллеры E-серии дополнительно поддерживают IEC 60870-5-101, 103 и 104

– программирование: релейная логика RLL, IEC 61131-3(ISaGRAF), языки C/C++.

4.2 Меры по защите данных от разрушений при авариях и сбоях в системе электропитания

Основным источником электропитания всего оборудования кустовой площадки является комплектная трансформаторная подстанция. Текущий уровень технического оснащения КТП обеспечивает требуемые условия эксплуатации оборудования, но не гарантирует отсутствие сбоев на линии электропередачи.

Для защиты от потери (искажений) данных при авариях и сбоях электропитания все носители данных (ПЛК, серверы БД) должны быть обеспечены гарантированным электропитанием посредством оснащения ИБП, обеспечивающими стабилизированное питание и безударный переход на аккумуляторное питание. Время работы при питании от аккумуляторных батарей должно быть не менее 1 часа. Ниже сформированы требования по выбору источника бесперебойного питания.

Конфигурационные данные контроллеров (коэффициенты преобразования, уставки регулирования и сигнализации) должны быть сохранены на гарантированных и независимых от электропитания системы носителях (энергонезависимые носители) для предотвращения их потери при более длительных сбоях электропитания.

4.3 Требования к источникам бесперебойного питания

ИБП должен иметь тип: ИБП с двойным преобразованием энергии (тип – on-line) в соответствии с требованиями МЭК 62040-3.

ИБП должен отвечать нижеследующим или более строгим требованиям:

- выходное напряжение – $220\text{ В} \pm 10\%$ переменного тока;
- выходная частота тока - $50 \pm 0,4$ Гц;
- искажение напряжения - 3% от общего гармонического искажения при линейной нагрузке и 5% при нелинейной нагрузке;
- крест-фактор нагрузки - 3:1;
- перегрузочная способность преобразователя - 120% полной нагрузки в течение 1 секунды;
- реакция на переходные напряжения - максимум $\pm 15\%$ при 100% номинальной мощности ИБП;
- время восстановления переходного напряжения – в пределах 2% от выходного напряжения в установившемся режиме в течение 100 мс;
- низкочастотный шум на расстоянии 1 метра – менее 52 dBA.
- ИБП должен отвечать требованиям электромагнитной совместимости.
- ИБП в части требований к цепям постоянного тока, электрической изоляции гальванически отделенных входных и выходных цепей всех устройств, входящих в его состав, а также этим цепям и корпусам конструкции должен соответствовать ГОСТ 27699.
- ИБП должен обеспечить нормальную работу при следующих условиях (ГОСТ 27699):
 - температурный диапазон рабочий: от $+0^{\circ}\text{C}$ до $+40^{\circ}\text{C}$;
 - влажность - не более 80% при температуре $+25 \pm 5^{\circ}\text{C}$;
 - в воздухе не должно быть токопроводящей пыли и химически активных веществ;
 - синусоидальная вибрация – 20...25 Гц;
 - атмосферное давление – 630...800 мм рт. ст.

Зарядное устройство ИБП должно включаться автоматически при восстановлении подачи питания от системы электроснабжения (если имело место его отключение) и полностью зарядить аккумулятор в течение 8 часов.

Мощность ИБП должна выбираться исходя из надежного питания электроприемников особой группы в рабочих и переходных режимах (например, пусковых).

Элементы аккумулятора не должны выделять газ, чтобы не потребовались система вентиляции, удаления влаги или специальные батарейные отсеки.

ИБП должен соответствовать следующим требованиям по надежности:

средняя наработка на отказ – 10000 ч.;

назначенный срок службы – 10 лет.

Для реализации целей проекта был выбран ИБП DELTA GES102N200035 700 Вт, который полностью удовлетворяет поставленным условиям.

4.4 Безопасность помещений телекоммуникационной инфраструктуры

На объектах нефтегазопромысла реализована тесная взаимосвязь различных служб: ремонтные бригады, обслуживания, компания интегратор оборудования, субподрядчики и т.п. Для обеспечения надежной бесперебойной работы оборудования автоматики и телекоммуникаций необходимо обеспечить следующие меры контроля:

- посещение телекоммуникационной инфраструктуры допускается авторизованным персоналом или в его сопровождении; дата, время, фамилия, имя, отчество работника при входе и выходе регистрируются. Доступ следует предоставлять только для выполнения определенных согласованных авторизованных задач;

- доступ к средствам (оборудованию) телекоммуникационной инфраструктуры должен контролироваться и предоставляться только авторизованному персоналу. Необходимо использовать средства аутентификации для авторизации и предоставления соответствующего доступа;

- Необходимо рассматривать влияние соседних объектов (помещений) и предусматривать следующее:

- объект телекоммуникационной инфраструктуры должен быть расположен в местах с ограничением доступа посторонних лиц;

- помещения телекоммуникационной инфраструктуры не должны выделяться на общем фоне и иметь минимальные признаки назначения – не должны иметь наименований вне или внутри здания, по которым можно сделать вывод о выполняемых ими функциях;

- помещения инфраструктуры связи, не предназначенные для постоянного присутствия персонала не должны иметь оконных проемов. В случае наличия окон в помещениях, они, как и двери, должны быть всегда заперты, также следует предусмотреть дополнительную внешнюю защиту

окон, особенно, низко расположенных или закладку лишних оконных и дверных проемов;

– в помещения инфраструктуры связи необходимо внедрять системы обнаружения вторжений для внешних дверей и доступных для этого окон, которые должны быть профессионально установлены и регулярно тестироваться в помещениях;

– необходимо физически изолировать средства связи и оборудование, используемое третьей стороной в соответствии с ГОСТ Р ИСО/МЭК 27002;

В помещениях инфраструктуры связи должен осуществляться контроль доступа. Беспрепятственный доступ может быть разрешен только авторизованному персоналу. К авторизованному персоналу телекоммуникационной инфраструктуры относятся работник (группа работников) Компании по функциональным обязанностям, представитель(и) подрядной организации, действующей на основании договора на обслуживание инфраструктуры связи, предоставление услуг связи, проектирование, монтаж и модернизацию телекоммуникационной инфраструктуры.

4.5 Корреляционная оценка работы адаптивного алгоритма

На вход алгоритма, реализованного в программной среде Stateflow, подаются ретроспективные данные нефтедобывающего предприятия. Модель программы последовательно для каждого параметра оценивает динамику их изменений и сравнивает эти значения с величинами апертур, соответственно заданных для каждого параметра. Затем, в зависимости от динамики изменений, алгоритм формирует блок данных. В массив данных блока записываются: тэг параметра, текущее значение параметра и метка времени измерения. На этапе обработки результатов для каждого из параметров формируется двухмерный массив. В первом столбце указывается время, когда параметр превысил апертуру, а во втором соответственно сама величина в этот момент времени. Затем по полученным данным с помощью аппроксимации (с периодом 0,001 с) формируется тренд, который будет видеть диспетчер у себя на экране.

Для оценки достоверности передаваемой информации были проанализированы величины относительных и абсолютных погрешностей измерений по формулам:

$$\sigma_{\text{от}} = \frac{\sum_0^n \frac{(x_n - x)}{x}}{n} * 100\%; \quad (30)$$

$$\sigma_{\text{аб}} = \frac{\sum_0^n (x_n - x)}{n}; \quad (31)$$

где: $\sigma_{\text{от}}$ – относительная погрешность, $\sigma_{\text{аб}}$ – абсолютная погрешность, x_n – массив выходных значений параметра, x – массив входных значений параметра, n – количество анализируемых точек.

Для снижения вычислительной нагрузки эксперимента при исследовании погрешности сравнивались значения массивов с периодом 0,01 с, поэтому $n = \frac{m}{100}$, где m – количество элементов интерполированного массива x_n .

Помимо наблюдения за влиянием апертур на значения погрешности передачи данных, также исследовалась зависимость от показателя быстродействия вычислительного устройства – количества операций, выполняемых за модельное время. За модельное время принята стандартная единица времени – 1 секунда.

В исследовании анализировались сигналы различной динамики, физики процесса, влияния на технологический процесс, необходимость передачи данных и его дискретизация. Для сравнения исходных данных на рисунке 17 представлен график высокочастотного сигнала – напряжение на одной из трех фаз двигателя электроцентробежного насоса, а на рисунке 18 приводится график давления воды в нагнетательной скважине поддержания пластовой воды.

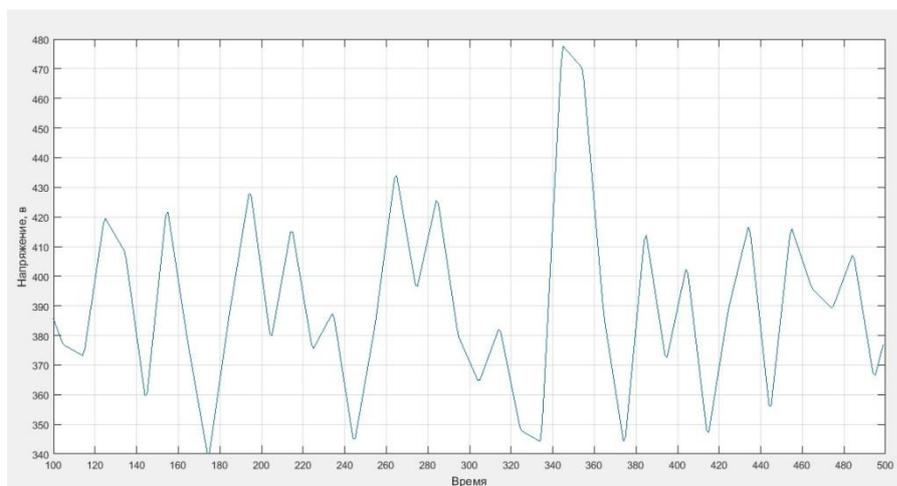


Рисунок 17. График напряжения фазы ЭЦН

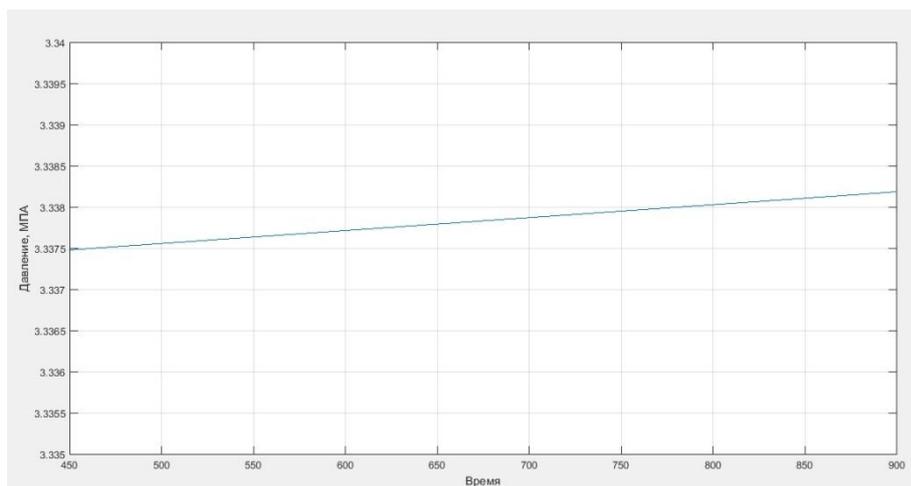


Рисунок 18. График давления воды в линии ППД

Для оценки надежности работы алгоритма интерес представляют высокочастотные сигналы. Основная задача анализа заключается в определении точности передачи сигнала, между действительным значением параметра и передаваемым алгоритмом значением. На рисунке 19 приведены 2 графика сигналов напряжения: исходные данные сигнала и выходные параметры модели.

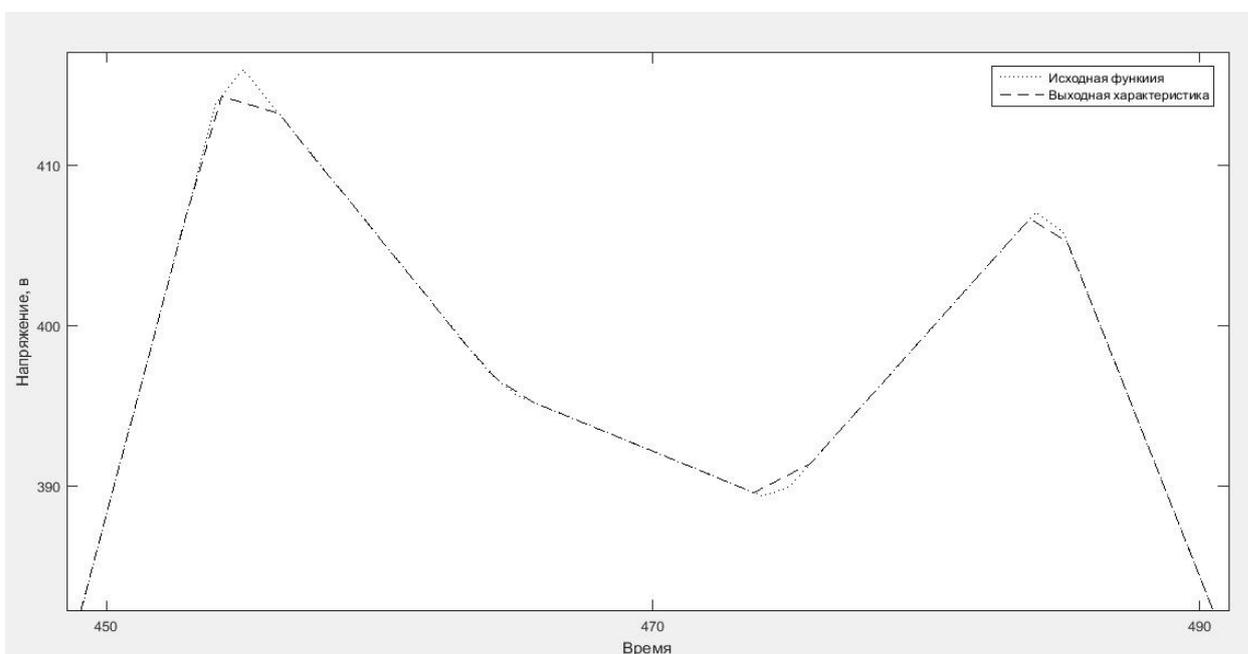


Рисунок 19. Оценка точности анализируемого сигнала

В соответствии с полученными результатами прослеживается корреляция между динамикой сигнала и точностью обработки алгоритма. Для объектов с высокой динамикой алгоритм сглаживает пиковые значения, тем самым инициализируя алгоритмы защиты заранее, что может привести к ложным срабатываниям систем защиты и иных автоматических алгоритмов, связанных с данным параметром. Для более детальной оценки влияния погрешности на технологический процесс был проведен ряд экспериментов с расчетом относительной и абсолютной погрешностей, приведенных в таблице 13.

Таблица №13. Анализ полученных данных

Параметр	Апертур а 1	Апертур а 2	Частота процессора	Абсолютная погрешность	Относительна я погрешность	Количес тво точек
Напряжение	0,5	0,25	0,01	1,99	0,51	697
Напряжение	0,5	0,25	0,004	0,64	0,16	1601
Ток	0,5	0,25	0,01	0,18	0,042	677
Ток	0,5	0,25	0,004	0,11	0,025	1547
Давление	0,005	0,001	0,01	0,000494	0,0039	11
Давление	0,005	0,001	0,0005	0,0000583	0,000458	42
Температур а	0,05	0,025	0,006	0,0118	0,037	69
Температур а	0,05	0,025	0,001	0,011	0,034	105

Анализ полученных результатов показывает, что алгоритм с высокой точностью обрабатывает исходные данные, используя адаптивный алгоритм. Тем самым исследования позволяют внедрить проектное решение в действующие объекты нефтегазодобычи, после этапа коллективной

проработки технического решения с ведущими специалистами технологов, проектировщиков, метрологов, связистов и получения разрешения на эксплуатацию.

Заключение

В процессе прохождения преддипломной практики были разработаны структурная схема взаимодействия объектов кустовой площадки и оборудования связи. В качестве увеличения пропускной способности сети был рассмотрен принцип применения блочной спорадической передачи данных на основе DNP 3 протокола. На основе межгосударственного протокола был разработан уникальный алгоритм, написанный в среде Simulink.. Дальнейшая работа предполагает полностью адаптировать полученную модель к данному контроллеру. Такое улучшение позволит производству обрабатывать большой поток информации, быстрее ее анализировать, принимать верные и безопасные решения, по предотвращению аварийных ситуаций. Весь заметный прогресс увеличит срок службы всего оборудования, повысит качество работы автоматического оборудования, уменьшит срок окупаемости затраченных ресурсов и поможет производству повысить темпы добываемых ресурсов.

Список использованных источников

Громаков Е. И., Проектирование автоматизированных систем. Курсовое проектирование: учебно-методическое пособие: Томский политехнический университет. — Томск, 2009.

ГОСТ 21.408-93 Правила выполнения рабочей документации автоматизации технологических процессов М.: Издательство стандартов, 1995. – 44 с.

А.С. Клюев, Б.В. Глазков, А.Х. Дубровский, А.А. Клюев. Проектирование система автоматизации технологических процессов: справочное пособие. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 464с.

Попович Н.Г., Ковальчук А.В., Красовский Е.П., Автоматизация производственных процессов и установок. – К.: Вища шк. Головное изд-во, 1986. – 311 с.

ГОСТ Р ИСО 50001-2012 Системы энергетического менеджмента. Требования и руководство по применению.

РД 34.09.101-94 Типовая инструкция по учету электроэнергии при ее производстве, передаче и распределении.

Насосное и компрессорное оборудование [Электронный ресурс] // URL: https://neftegaz.ru/tech_library/view/4038-Ustanovki-pogruznyh-elektrotsentrobeznyh-nasosov-UETsN.

Конструкция и технические характеристики модулей УЭЦН [Электронный ресурс] // URL: <http://oilloot.ru/84-oborudovanie-truby-materialy-dlya-nefti-i-gaza/125-konstruktsiya-i-tekhnicheskie-kharakteristiki-modulej-uetsn>.

Энергоэффективность глубинных добывающих скважин [Электронный ресурс] // URL: http://elar.urfu.ru/bitstream/10995/40219/1/eksie_2016_10.pdf.

Методика управления энергоэффективностью и надежностью электротехнического комплекса УЭЦН [Электронный ресурс] // URL: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=16219>.

И.В. Золотарев, С.Н. Пещеренко, Е.В. Пошвин. Прогнозирование энергоэффективности УЭЦН // Бурение и нефть 09/2013.

С.Д. Шевченко, И.Я. Чудийович, М.Н. Каверин, В.П. Тарасов. Реализация проекта энергосбережения при механизированной добычи в ОАО «Самотлорнефтегаз» // Научно-технический вестник ОАО «НК Роснефть» - 2014 г.

Кузьмина Е.А, Кузьмин А.М. Методы поиска новых идей и решений "Методы менеджмента качества" №1 2003 г.

Скворцов Ю.В. Организационно-экономические вопросы в дипломном проектировании: Учебное пособие. – М.: Высшая школа, 2006. – 399 с.

Сущность методики FAST в области ФСА [Электронный ресурс]. – Режим доступа:<http://humeur.ru/page/sushhnost-metodiki-fast-v-oblasti-fsa>.

ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.

ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление.

ГОСТ Р 12.1.019-2009 «Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты».

ГОСТ 17.4.3.04-85 «Охрана природы. Почвы. Общие требования к контролю и охране от загрязнения».

НПБ от 18.06.2003 г. №105-03 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности».

Крепша Н.В., Свиридов Ю.Ф. Безопасность жизнедеятельности: Учеб. - метод. пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2003. - 145 с.

Безопасность жизнедеятельности. Учебник. Под ред. Э.А. Арустамова / 10-е изд., перераб. и доп. — М.: Изд-во «Дашков и К», 2006. — 476 с.

Приложение А

«Главы диссертации на английском»

Студент:

Группа	ФИО
8ТМ61	Киреев Павел Александрович

Школа	ИШИТР	Отделение	ОАР
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств

Исходные данные части «Перевод диссертации на английский»:

<i>Название выпускной квалификационной работы</i>	Исследование адаптивных алгоритмов управления сетевым трафиком передачи данных с нефтегазового производства.
---	--

Название и краткое описание переведенных глав:

4. DNP 3 protocol features	<i>Особенности использования DNP 3 протокола для создания алгоритма управления для контроллера SCADPack 334E.</i>
5. Network communication	<i>Описание особенностей и структуры взаимодействия сетевых протоколов. Настройка сетевого подключения контроллера с ПК.</i>
6. Point configuration	<i>Приведены отдельные части интегрированных настроек параметров работы ПЛК, использующиеся в работе.</i>

Проверил консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель отделения иностранных языков	Шепетовский Денис Владимирович	-		

Выполнил студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ТМ61	Киреев Павел Александрович		

DNP 3 protocol features

The SCADAPack E RTU can support multiple DNP3 masters, whereby each DNP3 master is identified by the RTU with respect to DNP Master address, Master Port and Point Data Class on a per-point basis.

The RTU firmware supports a maximum of 3 DNP masters as indicated on SCADAPack E DNP Masters page. The DNP3 Multi-Master firmware is a licensed feature as indicated on the General / Controller Status page of SCADAPack E Configurator. Only the “Master 1” parameters are applicable if the “Supports Multiple DNP3 Masters” feature is not licensed.

The Point Data Class common point attribute has been extended such that it is now configurable on a per-Master basis as illustrated. This allows the RTU to present a different “view” of its non-local points to different DNP Masters. This may have applications in local HMI situations or for RTUs used for custody transfer.

Some configuration parameters applicable to Multi-master operation, and located on the DNP Masters page of the SCADAPack E Configurator.

DNP Master Address

This parameter configures the DNP3 Node Address of the DNP3 Master (typically the SCADA Master), to which the RTU may report Unsolicited Responses. A value of zero means “No Master” for Master sessions 2 and 3.

DNP Master Port

This parameter configures the port on which the RTU sends Unsolicited Responses to the master station.

Min. Unsol. Event Tx Delay

This parameter sets the minimum time (in seconds) between consecutive Unsolicited Responses sent from the RTU to the SCADA Master. After an

Unsolicited Response has been sent by the RTU, no Unsolicited Response will be generated until this time period has elapsed.

Quiet Time Delay

This parameter is the “offline” Min. Unsol. Event Tx Delay time. This value is applied when the number of timed-out Unsolicited Responses reaches the Unsol. Attempts per burst count. These parameters allow the RTU to implement “burst-mode” where the RTU retries several times, waits for an extended time period, and then begins another burst of Unsolicited retries. This behavior is repeated indefinitely until an Application Layer confirmation is received.

Appl Layer Confirm (Event) Timeout

This parameter sets the time (in seconds) that the RTU expects a DNP Application Layer Confirm message from the master after the RTU has transmitted event data (either in a poll response or unsolicited response). The “Data-Link Layer Confirm Mode” and “Channel Receive Timeout” parameters are used to calculate a minimum value for this timeout. The RTU will automatically apply the minimum timeout if this parameter is set too low.

If an Application Layer Confirm is not received from the master within the timeout period, then the greater of this value and the Min Unsol TX Delay parameter (see above) is used to delay the transmission of new unsolicited event data to the master.

DNP Local Address

This parameter allows the DNP Address of the RTU to be configured. The value for Master 1 is the same setting as that found on the SCADAPack E Configurator Ports page. The values for Masters 2 and 3 allow the RTU to respond to the respective DNP Master address with a different local address. This is required by some Master stations that can not configure different “logical” RTU’s with the same DNP address. Zero is a valid entry for these fields.

Unsol. Allowed

This checkbox controls the Unsolicited Response mode (either on or off). When unsolicited response operation is configured off, the RTU will not send an unsolicited response to the respective Master, but otherwise responds to Master requests.

DNP3/TCP Keep-Alive

This parameter is implemented as described by the DNP User Group's "Transporting DNP3 over Local and Wide Area Networks" standard. It is a configurable Keep-Alive timer is used for each active DNP3 - TCP socket connection. This configuration parameter specifies how often a DNP3 Link Status test message is sent across active TCP sockets for the purpose of verifying an active TCP link. This timer may be set to "0" to de-activate the DNP-TCP Keep-Alive timer.

DNP3 Multi-Master Events

The RTU's IO Processor creates time stamped change events and passes them along to the DNP3 task for storage and later transmission (see the SCADAPack E Data Processing Technical Reference Manual for more details). The DNP3 Multi-Master firmware only stores one copy of each event in non-volatile memory, regardless of how many Master sessions are enabled. An event is only deleted when every enabled Master has confirmed the event (assuming that the point was configured as Event Class 1, 2 or 3 for each Master). For this reason, it is recommended that Master sessions are not enabled where no DNP3 Master station actually exists. Otherwise, non-volatile event storage will continue to grow to the maximum allowed by the RTU.

DNP3 Operation Using TCP/IP

The SCADAPack E RTU's DNP3 protocol operation over TCP/IP conforms with the requirements of the DNP User Group's "Transporting DNP3 over Local and Wide Area Networks" document. Assigned TCP and UDP port number "20000" is used for DNP3 communications.

Both a UDP socket listener and TCP socket listener are installed on the RTU for DNP3 communications. The sockets listened for are set by the "Default DNP3 Port" parameter (see below). Communication on both UDP and TCP sockets may be active simultaneously, and multiple external TCP/IP devices may concurrently request connections to the TCP socket, or send datagrams to the UDP socket.

PPP-TCP/IP processing and communication across local area and wide area networks may introduce additional delays in transporting DNP3 frames. Increasing DNP3 Data Link Layer and Application Layer time-outs in DNP3 devices, particularly across PPP links on WAN networks, may need to be considered.

DNP3 Routing for TCP/IP

The SCADAPack E can behave as standard DNP3 slave devices and respond to DNP3 Master requests on DNP3 serial channels, Ethernet-TCP/IP and PPP-TCP/IP channels.

HINT: In a network consisting of DNP3 nodes separated by IP networks, it is simplest to consider Ethernet-TCP/IP and PPP-TCP/IP channels between RTU devices as transparent.

Where DNP3 frames are routed via TCP/IP on the SCADAPack E RTU, individual routing entries may be added to the DNP3 Route Table which can specifically override the use of TCP transport, or UDP transport including port numbers. These overrides are described further in Section DNP3 TCP/IP Networking (DNP3 Network Forwarding with TCP/IP). Where these overrides are

not applied, the parameters described in Section DNP3 - TCP Keep-Alive Timer are used as the default communication settings.

Network communication

TCP/IP has become a generic acronym referring to a suite of protocols providing communication between devices across a network medium. TCP/IP is generally known as the Internet protocol suite. The TCP and IP components making up the name are just two of the many components that make up the TCP/IP suite.

TCP/IP consists of a large and complex set of industry derived & supported standards. The standards for the protocol suite are described by documents known as RFCs (Request For Comments). These documents are maintained by the international IETF (Internet Engineering Task Force). The following description of TCP/IP will be limited to a small subset of the TCP/IP protocol suite relevant to the SCADAPack E RTUs. For more information, please refer to standard texts on TCP/IP and use of Internet protocols.

The TCP/IP protocol structure is made up of five (5) layers from the OSI protocol communications model:

APPLICATION LAYER	E.g. Telnet, FTP, BOOTP, Modbus/TCP, Modbus RTU in TCP, DNP3, NTP
TRANSPORT LAYER	TCP / UDP
NETWORK LAYER	IP
DATALINK LAYER	E.g. PPP, Ethernet II, IEEE802.3
PHYSICAL LAYER	E.g. RS232, Ethernet, (GPRS, 1xRTT, HSDPA)

Picture 1. Ethernet layers

IP Network Layer

Internet Protocol version 4, (abbreviated to IPv4 or just IP) is the networking layer of the TCP/IP protocol stack. The IP portion of a data packet contains header information including IP source & destination addressing describing the originator and destination of a data packet. Based on this information, communications equipment can determine how to transmit data to get it to the destination.

Unlike other communication protocols that assign a unique address to each node in a network, IP addresses are assigned to each LINK on a device (also known as a Host). For example, a device using three (3) TCP/IP protocol links would be assigned three IP addresses, one for each link.

An IP address is a 32-bit (4-byte) value. Each link in an IP network has a unique IP address. The notation for IP addresses is 4 decimal values (one for each of the 4 bytes in the IP address) each separated by a dot “.”

E.g. ...10.0.1.2 is the IP address notation for a link address with a 32-bit address whose hexadecimal value is 0A000102h.

Not every four-byte combination of IP addresses are possible, with many rules emerging to simplify configurations of large networks and efficiently allocate addresses within networks. Subdivision of IP addressing into Class A, B, C, D is one example of this. For more information, see Section IP Class Addressing.

Sub-networks (commonly known as subnets) are also widely used to subdivide TCP/IP networks and provide sensible access across large networks. When used with Class addressing, sub-networks provide the means of subdividing IP addresses within a TCP/IP network. Both an IP address and a Subnet Mask identify a link on a subnet. For more information, see Section TCP/IP Subnetting.

The IP layer can Broadcast data when the destination IP address is not known. This commonly uses the “all-ones” destination IP address. I.e. 255.255.255.255. BOOTP services typically use the IP broadcast address, and

often utilize broadcast Ethernet MAC addressing (see section Ethernet MAC Layer & Ethernet II, IEEE802.3).

Transport Layer

The purpose of the TCP/IP transport layer is twofold: package user data at the source into a format suitable for transmission by the network, data link & physical layers; and unpack received data at the destination and present it to the user as it was prior to transmission.

Two different transport mechanisms are supported by the TCP/IP protocol suite. They are UDP and TCP.

User Datagram Protocol (UDP) is the simpler of the transport layer protocols. It is a connectionless protocol, requiring no exchanges of data between the source and destination nodes other than the transport of the user data. There is no in-built error recovery & no set order of delivery of user data. UDP is quite efficient and is ideal for applications handling their own error recovery & delivery ordering (for example, internet time synchronization uses NTP protocol over UDP). The SCADAPack E RTUs can use UDP for transport of BOOTP, NTP and DNP3 data link layer frames. DNP3 protocol includes its own error handling and transport layer which subdivides DNP fragments into frames, performs error recovery, and set order of delivery & processing in a non-mesh network.

Transmission Control Protocol (TCP) is a more complex, larger and less efficient transport layer protocol. It is connection-based and data exchanges between nodes using TCP transport occurs to provide the following facilities. Connection of a virtual “stream” between hosts, automatic subdivision of large amounts of data into smaller packets for transmission on the “stream”, error recovery, guaranteed order of delivery in mesh networks, multiple virtual client/server connections, etc. TCP is often used by applications not wishing to handle, or unable to handle any of these issues. For example, TELNET virtual

terminal protocol just wants to transmit terminal traffic (characters) and leaves error handling, delivery and multi-session support to the TCP transport protocol.

A single IP network layer packet can carry either a UDP or TCP transport layer packet. Both UDP and TCP can be carried across the same TCP/IP network.

TCP/IP Subnetting

Subnetting is a mechanism that enables TCP/IP networks to be divided into smaller networks called subnets. In this regime, IP addresses now have two logical parts, the sub-network address, and the individual address. Each of the members of a subnet use a “Subnet Mask” to determine how many bits of the 32-bit IP address represent a common address for nodes in the subnet, and how many bits represent the individual IP address.

Whenever an IP packet is to be transmitted, the source & destination addresses are compared to see if they are on the same sub-network by using the Subnet Mask. A message for an IP address on the same subnet is automatically transmitted. A Gateway device can be used to pass IP packets between different sub-networks.

A subnet mask is constructed as a Binary number, with the most significant bits being assigned binary “1” where the IP address component refers to the common address for nodes on the subnet. The remaining least significant bits are assigned binary “0” where the IP address component refers to the individual IP address. The shorthand notation for this subnet mask is /27, as there are 27 consecutive significant binary ‘1’s in the subnet mask

Two special addresses are reserved in the list of possible IP addresses that belong to a subnet.

The ALL-ZEROS address (i.e. the IP address whose individual portion is all zero bits) represents the IP address referring to the whole subnet. When the all-

zeros address is used, it refers to the subnet, to which every node in the subnet belong.

The ALL-ONES address (i.e. the IP address whose individual portion is all one bits) represents the Broadcast IP address for the whole subnet. The all-ones address is used for transmission of broadcast packets to every node in the subnet.

Application layer

The TCP/IP application layer provides an interface for applications to exchange data that is transported across a network via TCP/IP or UDP/IP.

This interface for an application to send and receive data to and from another application is known as a SOCKET. A socket is a logical channel between remote applications exchanging data.

The logical channel is identified using an IP ADDRESS and a PORT NUMBER. (Port numbers are a TCP/IP software concept and are not related to SCADAPack E RTU's physical port numbers).

Multiple applications can be simultaneously exchanging data via multiple sockets on the same device and same network link.

Port numbers for standard TCP/IP applications are defined in RFC1700 (Assigned Numbers).

The following table shows typical port numbers used by the SCADAPack E RTU for TCP/IP applications.

Table 14: SCADAPack E TCP/IP Applications

SCADAPack E RTU TCP/IP Application Protocol	Transport Protocol	Assigned Port No.
FTP Server	TCP	21
TELNET Server	TCP	23
BOOTP Server	UDP	67
NTP Network Time Synchronization	UDP	123
Modbus/TCP (client & server)	TCP	502
Modbus RTU in TCP (Client)	TCP	49152
ISaGRAF/TCP Comms	TCP	1100
IEC60870-5-104 Slave - Master 1	TCP	2404
- Master 2	TCP	2405
DNP3 over IP (client & server) - default	TCP	20000
	UDP	20000
TCP Service Ports (client & server) - default	TCP	50000-50004

Point Configuration

The section describes the individual point configurations that can be used to “identify” RTU points as IEC 60870-5-101/104 Slave points, and how the different ASDUs correspond to RTU points attributes.

These include descriptions for input point types including double point configurations, control points, analog point scaling, and quality descriptor support.

This section makes reference to the SCADAPack E Configurator interface.

Consult the SCADAPack E Configuration File Format manual for detailed description of the relevant configuration file mnemonics for generation of RTU configuration files.

In general, the configurations for RTU database points for IEC 60870-5-101/104 protocol include the following settings:

Information Object Address (IOA) - this is a separate configuration parameter from the DNP3 point number but has a similar purpose for IEC 60870-5 protocol

Application Service Data Unit (ASDU) Type - this is a separate configuration parameter from the DNP3 static object type but has a similar purpose

Analog points also have an "Enable Cyclic Scan" check-box that makes analog point data available for a cyclic/periodic Station Interrogation.

The IEC 60870-5-101/104 standards define two data classes. Class 1 data is used for time tagged or spontaneously transmitted ASDUs. Class 2 data contains periodic / cyclic data.

The IEC data classes are NOT user selectable, and are not related to the DNP3 point configurations of the same name.

As such, the SCADAPack E configurations for Point Data Class do not apply to IEC 60870-5-101/104 communications.

Point data are included by the RTU in the response to a periodic / cyclic requests, at the rates set by the Background Period and Cyclic Period times. Points with an IEC IOA address are returned in response to the next station interrogation when the Background Period time has elapsed. Analog points set for "Enable

Cyclic Scan" are also returned to the master when the Cyclic Period time has elapsed (usually much more frequently than the Background Period).

Trending view

Current value sampling of point data may occur at the rate of 1 second, however Average, Minimum & Maximum statistics are more meaningful when larger trend periods are configured. Cumulative averaging, minimum and maximum sample detection is performed once per second on points with the appropriate trend statistic type.

Samples are recorded by the Sampler Task when the following criteria are met:

Sampled point is a valid point. The SCADAPack E RTU command line diagnostic display will indicate sampler configuration and configuration errors during the Sampler Task start-up.

The "No trend data gathered" quality flag is OFF. For more information, see [Point Quality Flags](#).

Sample period has elapsed since last sample was taken. Sample timestamps are recorded in increments of the sample interval. The actual clock time calculated from each sample is required to be integer divisible by the sample period. For example, if the sampler is restarted at 1:06:30 PM. a 1-minute trend will record its first sample at 1:07:00 PM.

Trended value has changed by a value in excess of the sample deviation.

The trend sampler synchronizes the trend period at regular intervals of the RTU's real time clock. This is achieved by dividing the sample period (converted to seconds) into linear time from 1st January 1970 00:00. It is recommended that the user chose sample intervals in convenient increments that divide into regular time boundaries. For example, a 20 minute trend synchronises with 3 time clock

boundaries every hour: xx:00:00, xx:20:00, xx:40:00. A 6 hour trend synchronises with 4 time clock boundaries every day: 00:00:00, 06:00:00, 12:00:00, 18:00:00.

Deviation values are specified in the RTU configuration file as an unsigned 32-bit integer number for Analog and Counter types. Deviation values are ignored for Binary point types. The Sampler task will convert integer point trend deviation values from the Point Database into floating point values for those Object/Variation types that require it, using the engineering scaling parameters for that point. A deviation of 0 causes a sample to be stored at each sample interval regardless of whether the sampled point value has changed.

The “No trend data gathered” quality flag is calculated from the “Trend Inhibit attribute” and the Trigger binary point state. If the “No trend data gathered” flag goes ON, sampling for the given sample point is suspended. If the “SAMPwwwwwx_yy” file is open, it will remain open. A new “SAMPwwwwwx_yy” file will not be opened while this flag is ON. For more information, see [Point Quality Flags](#).

The user, via DNP3 communications or via an ISaGRAF application, may selectively enable or disable trending by controlling the Trigger binary point. A Trigger binary point may be applied to an individual trend stream, to a trend stream on multiple points, or multiple trend streams on multiple points in any combination. Changes in the Trigger binary point state affect trend sampling at the next sample interval for the trend streams using the Trigger binary point.

Trend statistics for Minimum, Maximum and Average Trend Types is not updated while the "No Trend data gathered" quality flag is ON (ie sampling suspended). If sampling is re-enabled during the same sample period, the Max, Min or Average statistic is saved at the sample interval time, based on data gathered while the "No Trend data gathered" quality flag is OFF.

For a “Change Trend” type, the sampler will continue to calculate the delta value from the last sample interval even if the "No trend data gathered" quality flag is ON.

Sampling re-commences when the “No trend data gathered” quality flag changes to OFF. If the file does not exist, a new “SAMPwwwwwx_yy”file is created at the next sample interval and a sample recorded at that time. If the “SAMPwwwwwx_yy”file does exist, the trend sampler will force the storage of a sample at the next sample interval.

While the “No trend data gathered” flag is OFF and the value does not exceed the deviation, meaning no new values are recorded, the most sampled number is updated to move the sample value forward in time. This is the trend sampler’s data reduction facility.

A sample file will also be closed prior to a sample time offset wrapping from the 65535th sample number to the 0th sample number.

If the “No trend data gathered” flag is OFF, meaning sampling is enabled, and the sampler detects that one of the other quality flags changed state between sampling intervals, the trend sampler will force the storage of a sample at the next sample interval. For more information, see Point Quality Flags.

Analog Point Configuration

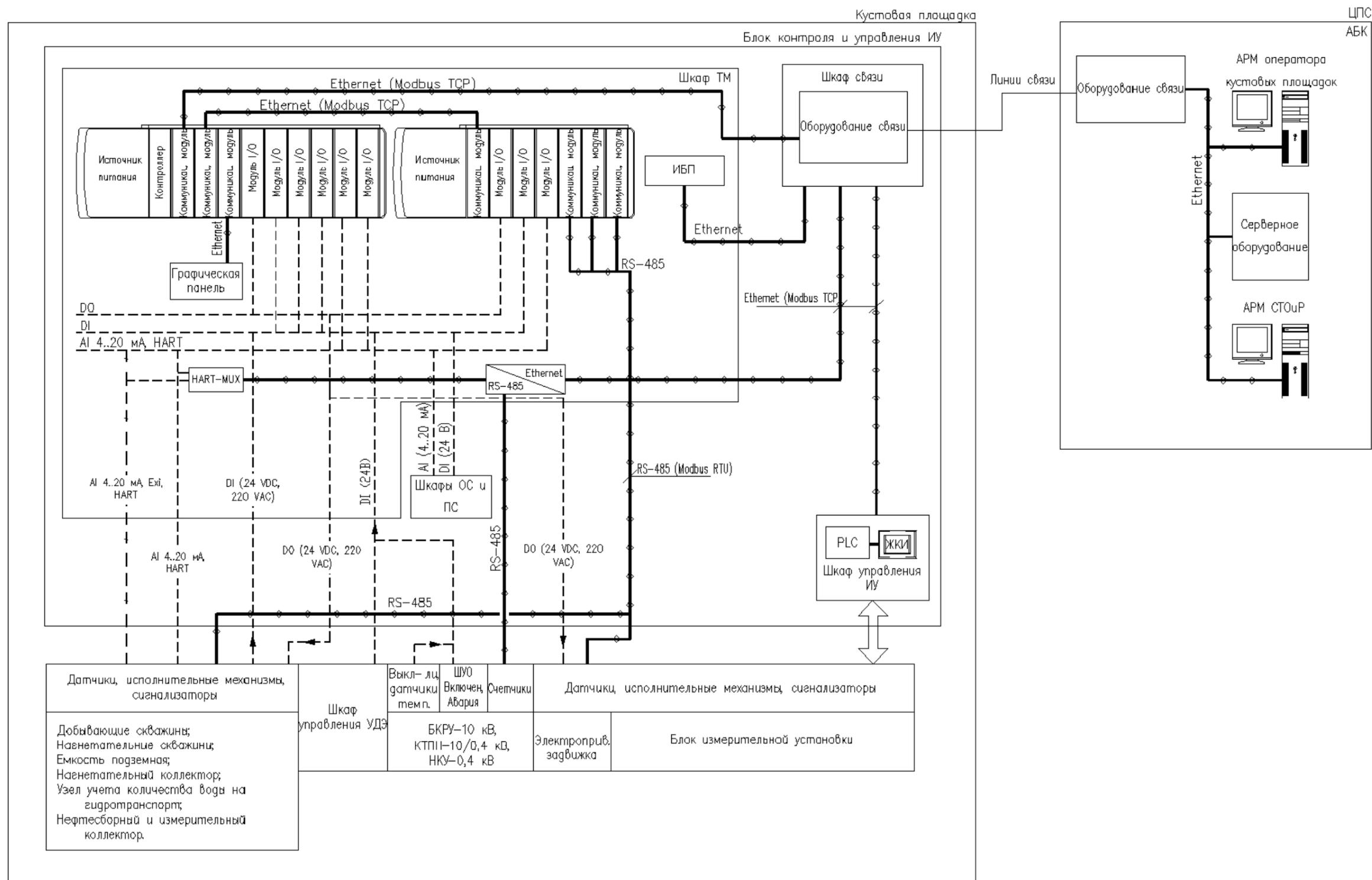
The valid configuration attributes for an analog point are listed as follows

- Information Object Address (IOA). This attribute needs to be a unique non-zero value in the range of 1 – 65535.

- "Enable Cyclic Scan" check-box makes the value of the analog point available for a cyclic Station Interrogation - at the Cyclic Period set in the Master Configuration.

Приложение Б

Структурная схема кустовой площадки



Приложение В

Результаты экспериментов

Параметр	Апертура 1	Апертура 2	Частота процессора	Абсолютная погрешность	Относительная погрешность	Количество точек
Напряжение	0,5	0,25	0,01	1,99	0,51	697
Напряжение	0,4	0,25	0,004	0,64	0,16	1601
Ток	0,5	0,26	0,02	0,18	0,032	677
Ток	0,5	0,25	0,004	0,11	0,025	1547
Давление	0,005	0,002	0,01	0,000494	0,0039	12
Давление	0,005	0,003	0,0005	0,0000583	0,000458	42
Температур а	0,05	0,027	0,006	0,0118	0,037	69
Температур а	0,05	0,025	0,001	0,011	0,034	105

Приложение Г

Основные преобразования цифровой связи

