

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

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

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Системный анализ беспроводных автономных сенсорных сетей для их применения в нефтегазовой отрасли

УДК 681.51.012.004.73-042.65.622.323

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ТМ71	Зеленин Марк Вячеславович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Мамонова Татьяна Егоровна	к.т.н.		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Начальник отдела АСУТП ОАО «ТомскНИПИнефть»	Зебзеев Алексей Григорьевич	к.т.н.		

Нормоконтроль

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Суханов Алексей Викторович	к.х.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Рыжакина Татьяна Гавриловна	к.экон.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД	Исаева Елизавета Сергеевна	—		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Томск – 2019 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 <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
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 <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
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 <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
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 5 АИОР (п.1.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P5	планировать и проводить аналитические, имитационные и экспериментальные исследования для целей проектирования, производства и эксплуатации систем 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.	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 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
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 <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

<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 5АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
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 <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
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 <i>EUR-ACE</i> и <i>FEAN</i>
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 <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
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 <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .

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

(Подпись) _____ (Дата) Суходоев М.С.
(Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
8TM71	Зеленин Марк Вячеславович

Тема работы:

Системный анализ беспроводных автономных сенсорных сетей для их применения в нефтегазовой отрасли	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	12.02.2019 №1099/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

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>	Беспроводные сенсорные сети для использования в нефтегазовой отрасли. Цель работы: проведение системного анализа беспроводных автономных сенсорных сетей для их применения в нефтегазовой отрасли, выявление технологических лидеров и изучение их решений с технической, экономической сторон, разработка дорожной по карты применимости БСС. Проведение патентного поиска, изучение литературы для определения направлений и областей развития БСС.
---	---

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>	1. Изучение научно-технической литературы; 2. Патентный поиск; 3. Определение технологических лидеров в области БСС; 4. Проведение системного анализа, предложенных технологическими лидерами решений; 5. Оценка эффективности применения беспроводных сенсорных сетей; 6. Составление дорожной карты развития беспроводных сенсорных сетей.
--	---

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Рыжакина Татьяна Гавриловна, доцент отделения социально-гуманитарных наук, к.экон.н.
Социальная ответственность	Исаева Елизавета Сергеевна, старший преподаватель отделения общетехнических дисциплин
Раздел на иностранном языке	Пичугова Инна Леонидовна, ст. преподаватель отделения иностранных языков

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

2.2 Основы работы автономной сенсорной сети
2.2.1 Диапазоны частот, используемые для работы сенсорных сетей
2.3 Технологические лидеры в области НГД
2.7 Ограничения применения автономных сенсорных сетей в НГД
2.9 Сфера применения БСС в НГД
2.10 Оценка эффективности применения беспроводных сенсорных сетей

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	Леонов Сергей Владимирович	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ТМ71	Зеленин Марк Вячеславович		

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 2018/2019 учебного года

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

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

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
10.05.18	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	20
20.05.18	Социальная ответственность	20
28.05.18	Основная часть	60

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения автоматизации и робототехники ИШИТР	Леонов Сергей Владимирович	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

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

Глоссарий

Термин	Определение
Интерфейс (RS-232C, RS-422, RS-485, UART, 1-Wire)	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 (Modbus TCP, HART, Profibus DP, Modbus RTU)	Протокол – это набор правил, позволяющий осуществлять соединение и обмен данными между двумя и более включенными в соединение программируемыми устройствами
Технологический процесс (ТП)	Технологический процесс – последовательность технологических операций, необходимых для выполнения определенного вида работ. Технологический процесс состоит из рабочих операций, которые в свою очередь складываются из рабочих движений (приемов)
Беспроводная сенсорная сеть (БСС)	Беспроводная сенсорная сеть – распределённая, самоорганизующаяся сеть множества датчиков и исполнительных устройств, объединённых между собой посредством радиоканала

РЕФЕРАТ

Пояснительная записка содержит 180 страниц машинописного текста, 49 таблиц, 19 рисунков, 1 список использованных источников из 40 наименований, 5 приложений.

Цель работы – изучение беспроводных сенсорных сетей и проведение анализа текущего состояния рынка автономных беспроводных сенсорных сетей в нефтегазовой области.

В ходе данной работы был проведен анализ научно-технической литературы (общедоступные источники информации, нормативные документы, периодические издания), выполнен анализ российских патентов, определена актуальность исследования данной области. Проведен анализ беспроводных сенсорных сетей в нефтегазовой области. В рамках анализа определены технологические лидеры, используемые для работы БСС стандарты и технологии, протоколы, определены ограничения применения, рассмотрены практики применения автономных сенсорных сетей выявленными технологическими лидерами. Проведена оценка эффективности применения беспроводных сенсорных сетей в НГД. Предложен проект дорожной карты применимости беспроводных сенсорных сетей в области НГД.

Ниже представлен перечень ключевых слов:

АВТОНОМНЫЕ СЕНСОРНЫЕ СЕТИ, БЕСПРОВОДНЫЕ СЕНСОРНЫЕ СЕТИ, САМООРГАНИЗУЮЩИЕСЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ.

Оглавление

Введение.....	12
1. Определение БСС. Обзор литературы.....	15
1.1. Определение БСС	15
1.2. Анализ научно-технической литературы (отечественной и зарубежной)	16
1.2.1. Общедоступные источники информации	16
1.2.2. Нормативные документы	22
1.2.3. Периодические издания.....	25
1.3 Анализ патентов.....	25
1.4 Выводы по главе 1	27
2. Беспроводные сенсорные в сети в области НГД.....	27
2.1 Цели внедрения беспроводных сенсорных сетей в НГД.....	27
2.2 Основы работы автономной сенсорной сети.....	29
2.2.1. Диапазоны частот, используемые для работы сенсорных сетей... 32	
2.3 Технологические лидеры в области НГД.....	34
2.4 Методика системного анализа решений, представленных технологическими лидерами	35
2.5 Технические характеристики оборудования выделенных лидеров 38	
2.6 Используемые стандарты, технологии и их совместимость. Статическая и динамическая топологии	45
2.6. Степень локализации компонентов самоорганизующихся систем измерения в России	48
2.7. Ограничения применения автономных беспроводных сенсорных сетей в НГД.....	56
2.8. Практики применения автономных беспроводных сенсорных сетей на объектах НГД	58
2.9. Сфера применения беспроводных сенсорных сетей в НГД.....	67
2.10. Оценка эффективности применения беспроводных сенсорных сетей 68	
2.10.1. Оценка энергопотребления системы.....	68
2.10.2. Определение выделяемого оборудованием тепла	72
2.10.3. Оценка занимаемого места в шкафу автоматизации.....	74

2.10.4. Оценка экономии веса оборудования и материалов	75
2.10.5. Экономия времени на разработке, производстве, СМР и ПНР системы	75
2.10.6. Экономия денежных средств на операционных затратах.....	78
2.10.7. Экономия денежных средств на первоначальной стоимости оборудования.....	80
2.10.8. Выводы по оценке эффективности применения БСС	82
2.11. Проект дорожной карты применимости технологии беспроводных сенсорных сетей в нефтегазовой отрасли.....	82
2.12. Выводы по главе 2.....	89
3. Социальная ответственность	94
3.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности...	94
3.2. Производственная безопасность	95
3.2.1. Микроклимат производственных помещений	96
3.2.2. Производственный шум	97
3.2.3. Электромагнитные и электрические поля	98
3.2.4. Ионизирующее излучение.....	99
3.2.5. Электробезопасность	101
3.2.6. Отсутствие или недостаток естественного света.....	102
3.3. Экологическая безопасность	103
3.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	104
3.5. Выводы по разделу.....	106
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 109	
Анализ конкурентных технических решений.....	110
SWOT-анализ.....	113
Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	127
Расчет материальных затрат НТИ.....	127
Основная заработная плата исполнителей темы	128
Дополнительная заработная плата	130
Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	132
Определение ресурсной, финансовой и экономической эффективности исследования	133

Расчет чистой текущей стоимости	136
Дисконтированный срок окупаемости.....	137
Заключение	141
Список литературы	143
ПРИЛОЖЕНИЕ А	148
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	153
ПРИЛОЖЕНИЕ В	156
ПРИЛОЖЕНИЕ Г.....	160
ПРИЛОЖЕНИЕ Д	166

Введение

Мир продолжает меняться, и скорость изменений увеличивается, поэтому игнорировать концепцию общей цифровизации не имеет смысла. Зачем нужна цифровизация? Для компаний – увеличить свою эффективность, остаться «на плаву» в рамках жесткой конкуренции.

В деловом контексте организация, которая хочет стать «цифровой», должна фокусироваться на автоматизации процессов, с целью сделать их более эффективными.

Компания, фокусирующаяся на цифровизации, должна нацеливаться на то, чтобы более эффективно получать отдачу от этих процессов, через более высокую вовлеченность заказчиков, либо за счет сокращения расходов и издержек на всех этапах работы.

Например, цифровизация более широко позволит моделировать процессы – часто невозможно поставить эксперимент над объектом реального мира, это слишком дорого и сложно, а цифровые двойники позволяют создать виртуальную копию реального мира, ставить эксперименты недорого и безопасно, а в реальную среду переносить уже наработанный результат.

Нефтегазовая индустрия исторически устроена так, чтобы минимизировать вероятность неудачи. Это оправдано для крупных проектов, где цена ошибки огромная, цифровизация же позволяет предусмотреть и предсказать такие ошибки, таким образом сохраняя ресурсы, а значит, повышая эффективность компании.

Не только коммерческие организации заинтересованы в цифровизации, это явление приобрело общий характер, и его активно начинают изучать и внедрять во всех возможных областях. Так, для развития в направлении цифровизации Правительством РФ была разработана программа «Цифровая экономика РФ».

И на фоне развития цифровизации, остальные технологии, так или иначе связанные с ней, также получают большее внимание и привлекают большее число инвестиций.

Технологии беспроводной связи переживают в данный момент активный период развития. Особенно заметно это на примере смартфонов, планшетов, носимых гаджетов и прочей электроники, плотно входящей в нашу повседневную жизнь.

Кроме того, в различных отраслях промышленности, сельском хозяйстве, в военной сфере назревает необходимость в организации надежных систем управления и мониторинга распределенных объектов и объединение их в глобальную сеть. Подобные тенденции наблюдаются во всем мире и ведут к неминусемому развитию беспроводных технологий связи.

Беспроводные технологии плотно входят в нашу жизнь, но вместе с тем остро встает вопрос автономности устройства, поскольку использование данной технологии зачастую предполагает отказ от всех имеющихся проводов и кабелей.

Беспроводные технологии затронули и область АСУ ТП, так начали появляться решения от различных вендоров, появились автономные беспроводные датчики (сенсоры), рассмотрение и изучение которых и будет представлено в данной работе.

Базовая идея данной работы сформулирована следующим образом: в настоящее время для измерения параметров технологических процессов на опасных производственных объектах нефтегазодобычи, нефти – и газопереработки широко используются контрольно-измерительные приборы (КИПиА). Электропитание таких приборов и съём измерений осуществляется «классически» кабельной продукцией, которая прокладывается непосредственно от датчика до контроллера, включая сопутствующие материалы – полки эстакады, лотки, кабельные вводы, трубы, металлорукава, клеммные коробки и прочее. Предполагается, что с распространением автономных сенсоров, работающих от встроенного элемента питания и не требующих подвода кабельной продукции, настало время пересмотреть «классические» подходы к построению АСУТП, что в конечном итоге может сократить стоимость капитальных затрат на строительство объектов (за счёт

экономии на кабельной продукции и материалах), снизить сроки СМР и ПНР, сократить энергопотребление и занимаемое место, а также снизить операционные затраты.

1. Определение БСС. Обзор литературы

1.1. Определение БСС

«Беспроводная сенсорная сеть или беспроводная датчиковая сеть — распределённая, самоорганизующаяся сеть множества датчиков и исполнительных устройств, объединённых между собой посредством радиоканала. Область покрытия подобной сети может составлять от нескольких метров до нескольких километров за счёт способности ретрансляции сообщений от одного узла к другому» (рисунок 1) [1].

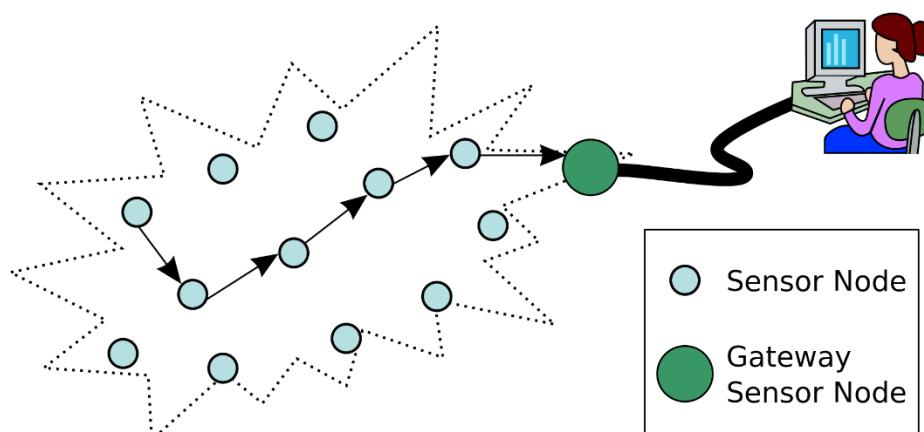


Рисунок 1 – Архитектура типичной беспроводной сенсорной сети

Беспроводные сенсорные сети в данный момент получают широкое развитие во многих отраслях. Подобные сети могут решать стать удобным решением, поскольку сеть состоит из большого количества узлов, связанных между собой, и позволяющих автоматизировать процесс сбора важных технологических данных.

Сама концепция таких сетей сейчас активно развивается и привлекает большое внимание со стороны исследовательских институтов и ученых, а также коммерческих организаций, это подтверждается увеличением количества работ по данной тематике. Повышение интереса обуславливается широкими возможностями, а область применения автономных сенсорных сетей достаточно широка — от автоматизации зданий и производств до автоматизации в аэрокосмических системах/военной сфере. Но наибольшее

распространение беспроводные сенсорные сети получили в области мониторинга окружающей среды и живых существ.

Для определения областей применения автономных сенсорных сетей проведено изучение литературы, представленное в следующих разделах.

1.2. Анализ научно-технической литературы (отечественной и зарубежной)

Для анализа уровня развития перспективных технологических направлений в области автоматизации были проанализированы интернет источники подходящей информации.

Были рассмотрены различные публикации, учебные пособия, монографии и книги отечественных и зарубежных авторов, периодические издания, а также нормативные документы.

Полный перечень рассмотренной литературы представлен в приложении А.

1.2.1. Общедоступные источники информации

«Аналитическая компания Gartner выпустила свой ежегодный отчет Hype Cycle for Emerging Technologies (Цикл зрелости технологий). Подобный отчет — попытка предсказать, какие из новых технологий будут массово использоваться в ближайшие 2-5-10 лет. По версии Gartner, технологии проходят несколько циклов зрелости - технологический триггер, пик чрезмерных ожиданий, избавление от иллюзий, преодоление недостатков, плато продуктивности. Не факт, что все технологии из первых двух категорий избавятся от недостатков и дойдут до плато продуктивности, т.е. повсеместного использования» [2].

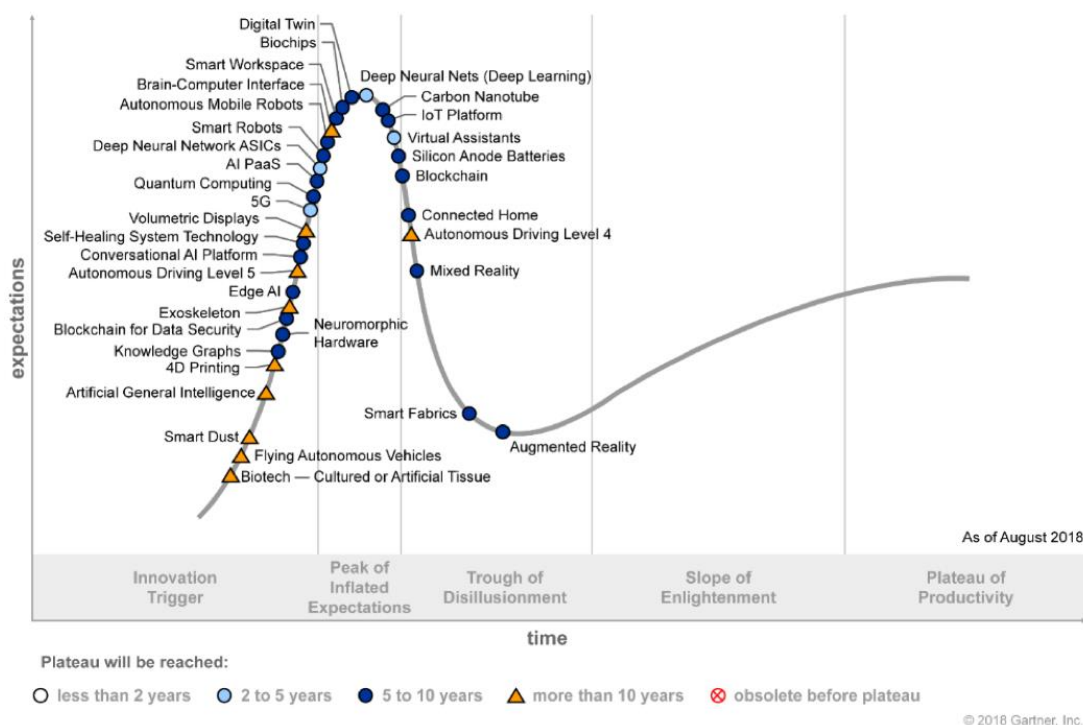


Рисунок 2 – Цикл зрелости технологий

Представленные на рисунке 2 технологии привязаны к ряду технологических трендов, влияние которых бизнес испытывает уже сегодня. В частности, искусственный интеллект в течение следующих 5 лет станет повсеместным и доступным для широких масс, этот тренд будет сопровождать развитие таких технологий, как Platform as a Service (PaaS), автономные мобильные роботы, глубокие нейронные сети, умные роботы, виртуальные помощники. Ожидается переход от разрозненной технической инфраструктуры к экосистемно-ориентированным цифровым платформам; эта тенденция обеспечивается следующими технологиями: цифровой двойник, платформа IoT, блокчейн для защиты данных. Еще одним трендом является массовое распространение и использование облачных вычислений, что позволит создать доступную в любое время и любом месте вычислительную среду; этот тренд сопровождается развитием таких технологий, как 5G, интегральные микросхемы глубоких нейронных сетей, нейроморфное аппаратное обеспечение, квантовые вычисления [3].

На рисунке 3 представлен прогноз развития рынков передовых производственных технологий. Самый большой по объему, но наименее

динамичный рынок промышленного интернета вещей к 2023 г. вырастет в 2 раза и составит 1560 млрд. \$. Ключевыми игроками здесь являются компании PTC, Amazon, Microsoft, Google, Davra Networks, Cisco Systems, Inc., SAP SE, General Electric, Huawei Technologies Co. Ltd., IBM.

Рынок больших данных, который является неотъемлемой составляющей передовых производственных технологий, к 2023 г. составит 77,6 млрд.\$, увеличившись почти в 4 раза. Ключевыми поставщиками решений в области Big Data являются Hexagon, SAS, IBM, BlueCielo.

Самый стремительный рост ожидает рынок робототехники: к 2023 г. он вырастет в 11 раз. Основную долю рынка робототехники занимают компании ABB Ltd. Kawasaki Heavy

Industries Ltd., Yaskawa Electric Corp. Fanuc Corp. KUKA AG. Рынок аддитивного производства увеличится в 3 раза и достигнет 51 млрд.\$ к 2023 г. Основными игроками рынка являются MCor Technologies Ltd., Materialise NV, 3D Systems, Inc., ExOne, EOS, Stratasys Ltd.

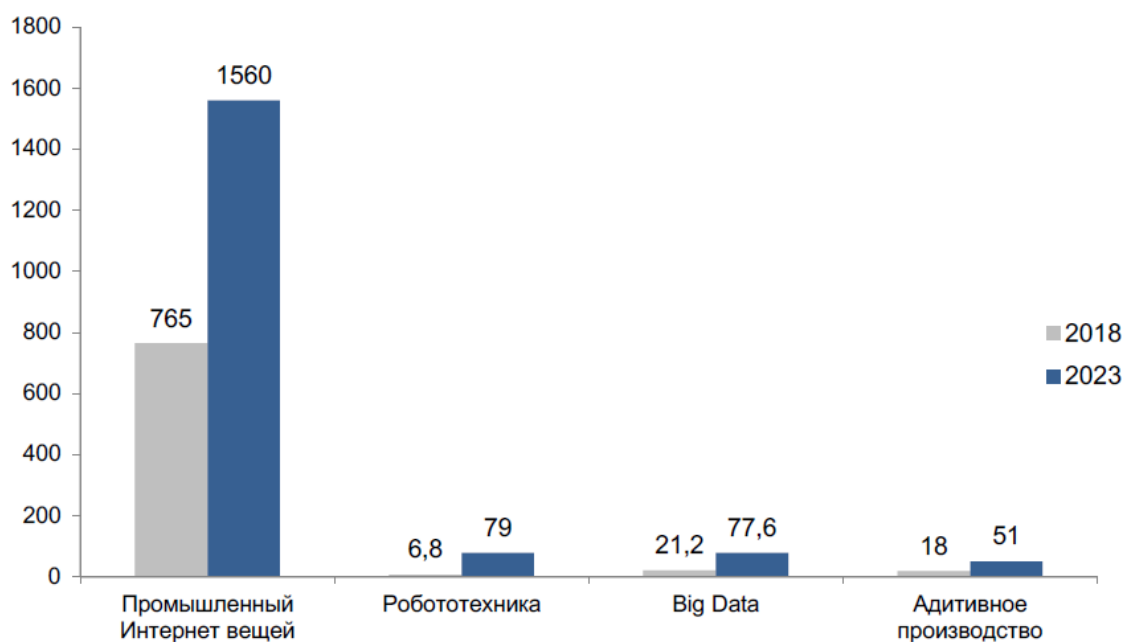


Рисунок 3 – Прогноз рынков передовых производственных технологий 2018-2023 гг., млрд. \$

В качестве развития технологий компании-вендоры, являющиеся лидерами технологических рынков, основной стратегической целью видят возможность «дособрать» комплексные продукты за счет инвестирования в

приобретение других компаний. Второй тренд – корпоративные партнерства и альянсы, в рамках которых компании совместно разрабатывают и внедряют новые продукты, в т.ч. инвестируя в развитие перспективных технологий [3].

Согласно государственной программе «Национальная технологическая инициатива» по поддержке развития в России перспективных отраслей выделены следующие приоритетные группы технологий [4]:

- Большие данные;
- Искусственный интеллект;
- Системы распределенного реестра;
- Квантовые технологии;
- Новые и портативные источники энергии;
- Новые производственные технологии;
- Сенсорика и компоненты робототехники;
- Технологии беспроводной связи;
- Технологии управления свойствами биологических объектов;
- Нейротехнологии, технологии виртуальной и дополненной реальностей.

«Формирование в России научно-технологического задела по данным группам позволит создать глобально конкурентоспособные высокотехнологичные продукты и сервисы. Одновременно фокус исследовательской деятельности отечественных университетов и научных институтов на технологических направлениях Национальной технологической инициативы позволит им быть востребованными на горизонте ближайших 20 лет со стороны высокотехнологичных отраслей отечественной экономики» [4].

В качестве развития технологии на основе автономных сенсоров и самоорганизующихся сетей будет ее активное применение в общем процессе цифровизации производства и автоматизированных системах.

Развитием технологий на основе применения автономных сенсоров и самоорганизующихся сетей как в России, так и за рубежом будет их широкое использование при построении систем автоматизации. Как следствие их широкого применения будет расширение предлагаемых технических решений, способов и методов интеграции в другие системы, а также увеличение поставщиков и интеграторов данных технологий. На фоне растущей цифровизации будет расширяться интеллектуализация компонентов технологии: увеличение формирования и передачи диагностической информации приборов, увеличение функциональных возможностей средств сбора и обработки данных (обработка, хранение и анализ полученных данных на уровне шлюзов). Одним из перспективных направлений развития технологий автоматизации на основе применения автономных сенсоров может стать создание единого стандарта (протокола) беспроводной передачи данных, позволяющий объединять компоненты технологий различных производителей.

Исходя из составленного перечня литературы (приложение А), отметим, что большое количество работ имеют актуальную дату (2016-2019 год), что подтверждает заинтересованность сообщества в развитии технологии автономных беспроводных сетей. Это же подтверждается уже готовыми разработками, которые представлены для широких масс – из общедоступных источников информации были найдены следующие решения, которые применяются в таких сферах как учет электроэнергии/воды/газа/тепла (таблица 1).

Таблица 1 – Компании, имеющие автономные беспроводные решения

№	Фирма	Решения	Описание
1	«СТРИЖ»	Беспроводной учет электроэнергии, воды, газа, тепла. Система контроля протечки воды.	СТРИЖ – IoT-платформа на базе беспроводных LPWAN-сетей. Комплексная система для учета ресурсов ЖКХ, сбора телеметрии в промышленности и других отраслях. Выходной сигнал – радиоканал на частоте 868,8 МГц.

Продолжение таблицы 1 – Компании, имеющие автономные
беспроводные решения

№	Фирма	Решения	Описание
2	«С-sensor»	Система беспроводных автономных емкостных датчиков и выключателей, Система мониторинга инженерных конструкций.	Компанией создана система мониторинга на основе бесконтактных емкостных датчиков, позволяющая решать большой спектр задач, а также разработаны датчики и система сбора информации для построения систем мониторинга инженерных конструкций строительных объектов.
3	«СИАМ»	Манометр-термометр устьевой УМТ-02.	Существуют различные конфигурации сенсоров, в том числе с питанием от аккумулятора (а также есть конфигурация с внешней солнечной панелью), однако номенклатура датчиков невелика. Выходной сигнал – GSM
4	«Сенсорика»	Измерительный преобразователь ИП 232.3, Роутер RZ 232, Шлюз (маршрутизатор сети) SZ 232.	ИП имеет универсальные измерительные входы. Типы подключаемых датчиков ограничены термопреобразователями сопротивления и термоэлектрическими преобразователями (термопара). Выходной сигнал – радиосигнал (протокол ZigBee).

В ходе работы также была выявлена группа компаний «ЭРИС», которая разрабатывает решения в области контроля загазованности. «ЭРИС» разработан датчик-газоанализатор с модулем автономного питания «ДГС ЭРИС-210» [5, 6]. Подобные решения можно применять на опасных технологических производствах, где есть вероятность появления пожара.

Из рассмотренных общедоступных источников информации, наблюдаем, что помимо изучения области автономных сенсорных сетей со стороны институтов, ученых, существуют и уже готовые коммерческие

решения для различных областей, что показывает интерес рынка к подобной продукции.

1.2.2. Нормативные документы

2 февраля 2019 года был введен стандарт, определяющий общие требования в области сенсорных сетей – ГОСТ Р ИСО/МЭК 29182-1-2018 «Информационные технологии. Эталонная архитектура для сенсорных сетей (SNRA). Часть 1. Общий обзор и требования».

В 2018 году был утвержден «перспективный план стандартизации в области передовых производственных технологий на 2018 – 2025 гг., предложенный рабочей группой по совершенствованию законодательства и устранению административных барьеров Национальной технологической инициативы «Технет» совместно с техническим комитетом «Кибер-физические системы» [7]. Данный план подтверждает активное развитие области автономных сенсорных сетей.

Согласно данному плану, предлагается ввести следующие нормативные документы (таблица 2):

Таблица 2 – Перспективный план введения нормативных документов

№	Наименование нормативного документа	Вид работы	Срок
1	Информационные технологии. Сенсорные сети. Службы и интерфейсы поддерживающие совместную обработку данных в интеллектуальных сенсорных сетях	Разработка ГОСТ Р (ПНСТ), Прямое применение МС ISO/IEC 20005:2013 – IDT	2020- 2021
2	Информационные технологии. Интегрированная среда тестирования сенсорных сетей	Разработка ГОСТ Р (ПНСТ), Прямое применение МС ISO/IEC 19637:2016 – IDT	2019- 2020

Продолжение таблицы 2 – Перспективный план введения
нормативных документов

№	Наименование нормативного документа	Вид работы	Срок
3	Информационные технологии. Сенсорные сети. Типовые примеры для авиационной промышленности: Активное управление воздушным потоком	Разработка ГОСТ Р (ПНСТ), Модификация МС ISO/IEC TR 22560:2017– MOD	2019- 2020
4	Информационные технологии. Сенсорные сети. Эталонная архитектура сенсорных сетей. Часть 2 Термины и определения	Разработка ГОСТ Р (ПНСТ), Модификация МС ISO/IEC 29182-2:2013 – MOD	2019- 2020
5	Информационные технологии. Сенсорные сети. Эталонная архитектура сенсорных сетей. Часть 3. Представления эталонной архитектуры	Разработка ГОСТ Р (ПНСТ), Прямое применение МС ISO/IEC 29182-3:2014 – IDT	2019- 2020
6	Информационные технологии. Сенсорные сети. Эталонная архитектура сенсорных сетей. Часть 4. Модели сущностей (объектов)	Разработка ГОСТ Р (ПНСТ), Прямое применение МС ISO /IEC 29182-4:2013 – IDT	2020- 2021
7	Информационные технологии. Сенсорные сети. Эталонная архитектура сенсорных сетей. Часть 5. Описание интерфейса	Разработка ГОСТ Р (ПНСТ), Прямое применение МС ISO /IEC 29182-5:2013 – IDT	2020- 2021
8	Информационные технологии. Сенсорные сети. Эталонная архитектура сенсорных сетей. Часть 6. Области применения	Разработка ГОСТ Р (ПНСТ), Прямое применение МС ISO/IEC 29182-6:2014 – IDT	2020- 2021
9	Информационные технологии. Сенсорные сети. Эталонная архитектура сенсорных сетей. Часть 7. Функциональная совместимость	Разработка ГОСТ Р (ПНСТ), Прямое применение МС ISO/IEC 29182-7:2014 – IDT	2020- 2021
10	Информационные технологии. Сенсорные сети. Сетевой интерфейс прикладного программирования датчика	Разработка ГОСТ Р (ПНСТ), Прямое применение МС ISO/IEC 30128:2014 – IDT	2020- 2021

Продолжение таблицы 2 – Перспективный план введения
нормативных документов

№	Наименование нормативного документа	Вид работы	Срок
11	Информационные технологии. Подводная акустическая сенсорная сеть. Общие требования к системе управления сетью	Разработка ГОСТ Р (ПНСТ), Прямое применение МС ISO/IEC NP 30142 – IDT	2021- 2022
12	Информационные технологии. Подводная акустическая сенсорная сеть. Профили приложения	Разработка ГОСТ Р (ПНСТ), Прямое применение МС ISO/IEC NP 30143 – IDT	2021- 2022
13	Информационные технологии. Интернет вещей. Протокол обмена для интернета вещей в узкополосном спектре (NB-Fi)	Разработка ГОСТ Р (ПНСТ)	2018- 2019
14	Информационные технологии. Интернет вещей. Протокол LoRaWAN	Разработка ГОСТ Р (ПНСТ)	2020- 2021

Стоит отметить также решение, предложенное компанией ВАВИОТ, стандарт беспроводной передачи данных которой был утвержден Росстандартом и вступил в силу 1 апреля 2019 года. «Данный стандарт NB-Fi позволяет обеспечить устойчивую дальность передачи данных до 10 км в условиях плотной городской застройки и до 30 км в сельской местности. Перспективные области использования стандарта NB-Fi – сферы ЖКХ, электроэнергетика, логистика, транспорт» [8]. «NB-Fi – это закрытый лицензируемый протокол беспроводной передачи данных, относящийся к технологии LPWAN (энергоэффективная сеть дальнего радиуса действия)» [9].

Также стоит отметить, что беспроводные сенсорные сети имеют непосредственное отношение к интернету вещей, можно сказать, что такие сети являются составляющей интернета вещей.

В результате обзора нормативно-технической документации в работе были рассмотрены международные стандарты в количестве более 20 ед.,

национальные стандарты и нормативно правовые документы в количестве 10 ед., регламентирующие в той или иной мере развитие и применение сенсорных сетей.

Перечень рассмотренных документов приведен в приложении А (раздел 2).

1.2.3. Периодические издания

Поиск проводится в научной электронной библиотеке eLIBRARY.RU

В рамках анализа литературы была выполнена выгрузка статей и публикаций в различных отечественных и зарубежных журналах: таких как журнал «Новые информационные технологии в автоматизированных системах», «Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований», «Проблемы информатики», «Инфокоммуникационные технологии», «беспроводные технологии», «Автоматизация в промышленности», «Современные информационные и электронные технологии», «Современные технологии автоматизации».

В ходе поиска изданий за 2016-2019 гг. было отобрано более 450 статей и публикаций. Затрагиваются самые различные аспекты изучения области автономных беспроводных сенсорных сетей – рассматриваются сферы применения, алгоритмы, обеспечение информационной безопасности, изучение путей увеличения автономности и т.д.

В целом, количество статей и публикаций, позволяет говорить о достаточной заинтересованности научного сообщества.

1.3 Анализ патентов

Патенты являются исключительными правами, и являются решением конкретной проблемы в исследуемой области. Когда несколько таких исключительных прав принадлежат одному объекту, он становится патентным портфелем, который дает монополию на холдинговую организацию над продуктом, процессом или технологией и создает возможности для получения доходов от лицензирования и перекрестного лицензирования, предлагает преимущества первопроходца и поощряет инвестиции.

В данном разделе выполняется патентный поиск перспективных технологических направлений в области интеллектуализации технологических процессов на основе автономных сенсорных сетей.

В патентном поиске предусматривается поиск и оценка патентов, датированных с 1 января 2016 года по 1 мая 2019 года. Область поиска и оценки ограничивается патентами, опубликованными в России, и включает в себя патенты на изобретения и полезные модели. Поиск патентов производился с помощью информационно-поисковой системы ФИПС [10]. Приоритетность в поиске ограничивается выданными патентами, так как они имеют большую значимость при их последующем использовании, чем заявки на патент (заявки на патенты находятся на рассмотрении, опубликованы в интернете, но официально не зарегистрированы в качестве патентов).

Поиск осуществлялся по условию содержания ключевых слов следующего содержания: «автономные сенсорные системы», «сеть беспроводных устройств», «полевые беспроводные сети», «самоорганизующиеся сенсорные сети».

Перечень отобранных и проанализированных патентов приведен в приложении В.

1.4 Выводы по главе 1

Исходя из рассмотренных источников информации, можно сделать вывод, что автономные сенсоры располагают к себе большое внимание, а также активно изучаются. Более того, уже имеются готовые решения, которые возможно применять, например, в области ЖКХ.

В области патентов также наблюдается большая активность, как показал анализ патентов, область изучения автономных сенсорных сетей очень широка.

Активно поддерживается развитие области сенсорных сетей и со стороны государства, вводятся и разрабатываются стандарты, определяющие требования к сенсорным сетям.

Большое развитие получили сенсорные сети в области -нефте и -газо добычи, уже сейчас существует большое количество решений от различных производителей, предлагающих широкую номенклатуру устройств.

2. Беспроводные сенсорные в сети в области НГД

2.1 Цели внедрения беспроводных сенсорных сетей в НГД

Характерной чертой современного развития цифровых и интеллектуальных месторождений углеводородов (УВ) является внедрение информационно-коммуникационных технологий по всей цепочке производственного процесса.

Нефтегазовый комплекс РФ хорошо подготовлен для внедрения современных цифровых систем управления. Реализация цифровых и интеллектуальных нефтегазовых технологий характеризуется масштабным, быстрым и эффективным возвратом вложенных в него финансовых ресурсов. В России есть все необходимые условия для интеллектуального технологического прорыва в цифровизации нефтегазовой отрасли путем внедрения интеллектуальных систем поиска, разведки, разработки месторождений, добычи, транспорта и переработки нефти и газа; создания инновационных энергосберегающих систем добычи и транспортных систем нефти и газа; использования естественной энергии пластов для

преобразования добычных технологий в технологии высоких переделов; ресурсосберегающего и энергоэффективного транспорта и переработки; внедрения информационных, управляющих, навигационных сенсорных систем мониторинга и управления в режиме реального времени, энергоэффективных производств, предусматривающих развитие технологий высоких переделов, реализацию безлюдных нефтегазовых технологий, создание подводных и подледных заводов, скважинных заводов.

Сенсорные сети позволяют осуществлять высокорентабельное внедрение этих технологий и тем самым: активизировать освоение трудноизвлекаемых запасов и нетрадиционных ресурсов нефти и газа, восстанавливать эффективную добычу нефти, продлевать жизнь крупных и гигантских месторождений, возродить старые регионы нефтегазодобычи; и ускорить создание новых центров нефтегазодобычи; реализовать технологии высоких переделов уникальных месторождений, в частности, Восточной и Западной Сибири.

Количество цифровых скважин в мире, где используются в той или иной мере сенсорные сети на 01.01.2016 превысило 15 000, из них в России – более 2 000.

В РФ на 01.01.2016 количество цифровых месторождений достигло 26, что составляет около 12 % от общего их количества в мире [11]:

ПАО «Газпром» – 7 (1 морское безлюдное);

ОАО «Лукойл» – 4;

ОАО «Нова тэк» – 2 (1 безлюдное);

ПАО «Татнефть» – 1;

ОАО «Ритэк» – 1;

ОАО «Зарубежнефть» – 1.

Внедрение автономных сенсорных сетей, в которой датчики работают от встроенного элемента питания (то есть не требуется подведение питания кабелем) позволит сократить финансовые и временные затраты на строительно-монтажные работы, пусконаладочные работы, сократить

энергопотребление, а также с развитием технологии в будущем, вероятно, и капитальные затраты.

2.2 Основы работы автономной сенсорной сети

На данный момент технологические лидеры предлагают два варианта реализации «беспроводности»:

- автономный сенсор с интегральным блоком передачи;
- автономный сенсор с отдельным блоком электроники передачи (используется специальный беспроводной адаптер для приборов, работающих по протоколу HART, рисунок 5).

Анализ технических решений технологических лидеров показал, что все элементы автономных сенсоров с интегральным блоком передачи категорируются на следующие группы (рисунок 4):

- корпус.
- дисплей (не показан на рисунке).
- блок электроники датчика:
 - печатная плата;
 - активные радиоэлементы;
 - пассивные радиоэлементы.
- батарея;
- антенна.

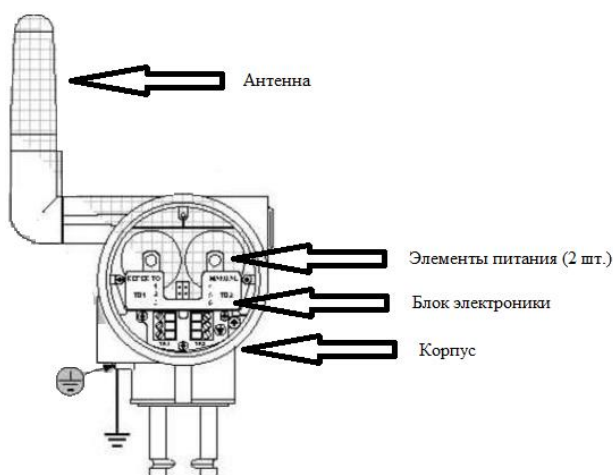


Рисунок 4 – Датчик с интегральным блоком передачи

В свою очередь, элементы автономных сенсоров с отдельным блоком электроники передачи (совмещенным с батареей в едином корпусе) категорируются на следующие группы (рисунок 5):

- корпус;
- дисплей;
- блок электроники датчика:
 - печатная плата;
 - активные радиоэлементы;
 - пассивные радиоэлементы.
- антенна с блоком электроники передачи (совмещенная с батареей в едином корпусе).



Рисунок 5 – Датчик с отдельным блоком передачи и электроники (с батареей)

Категории элементов для автономных сенсоров сформированы исходя из предложений производителей, изложенных в каталогах [12–18].

Однако общий принцип работы одинаков и для датчика с отдельным блоком передачи, и с интегральным.

Элементами для средств сбора и обработки выступают:

- оборудование связи с беспроводными полевыми приборами (шлюз);
- специализированное ПО для конфигурации сети и сбора данных.

Оборудование связи обеспечивает сбор технологических параметров с беспроводных сенсоров (преобразователей сигналов) и преобразование их в

требуемый формат для передачи на верхний уровень, смежные системы. Данные средства обеспечивают стабильную работу сети, ее безопасность за счет смены каналов и кодирования данных, а также формируют диагностическую информацию об устройствах сети (КИП, шлюзы).

Опишем общий принцип работы автономной сенсорной сети: КИП осуществляют измерение параметра и передачу значения на устройство сбора с дискретизацией от 1 сек (0,5 сек у Honeywell) (рисунок 6). Во время, отличное от измерения и передачи данных, прибор находится в режиме «сна» для снижения энергопотребления. Данные собираются на шлюз (маршрут определяется топологией), а затем направляются в ПЛК, например по интерфейсу RS-485 (рисунок 7).

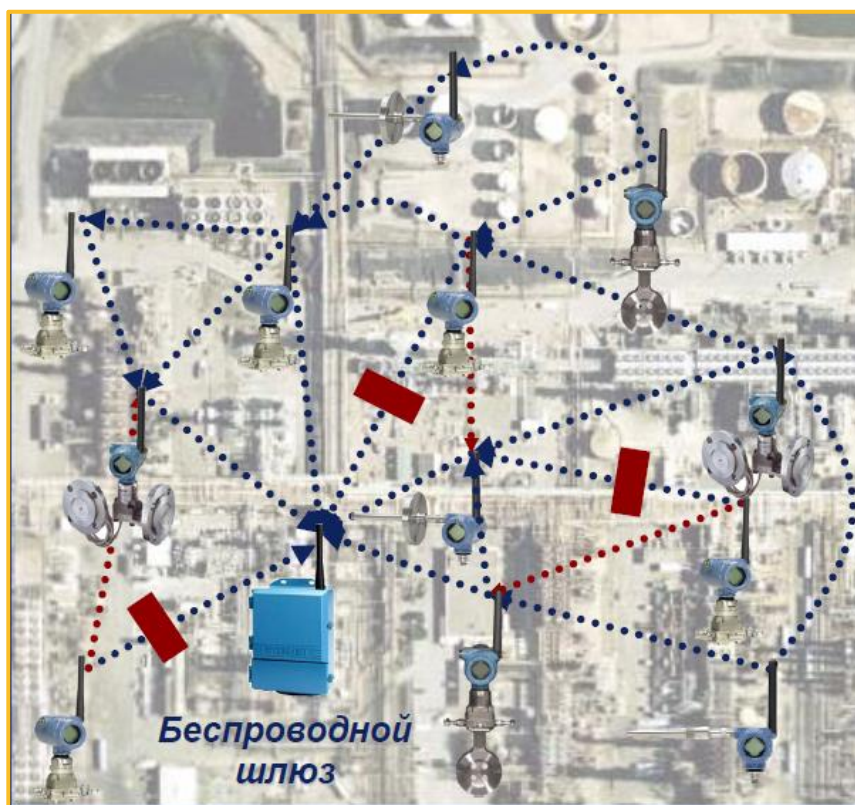


Рисунок 6 – Построение беспроводной сенсорной сети

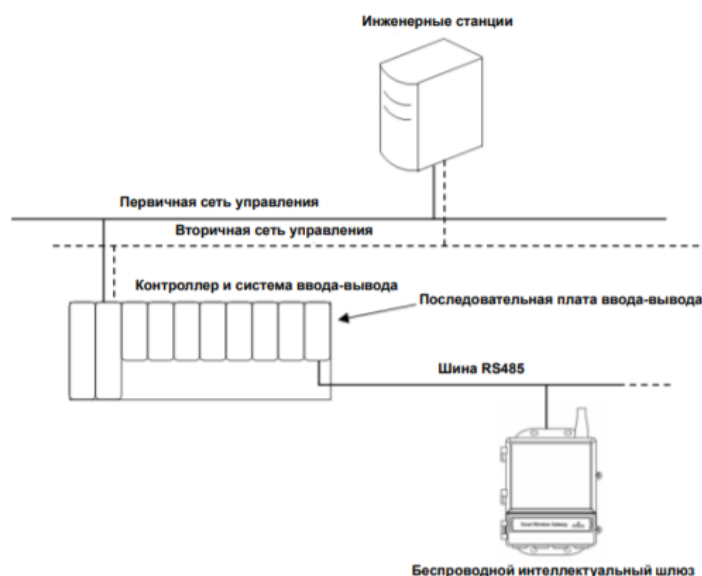


Рисунок 7 – Передача данных с беспроводного шлюза на ПЛК

2.2.1. Диапазоны частот, используемые для работы сенсорных сетей

Поскольку в работе автономных сенсорных сетей используется беспроводная передача данных, необходимо определить, на каких частотах работает рассмотренное оборудование. Большинство предлагаемых технических решений на основе применения автономных сенсоров базируется на использовании следующих радиочастот: 2,4 ГГц/ 434 МГц/ 868 МГц.

В Российской Федерации к нелицензируемым диапазонам частот, которые могут быть использованы без оформления разрешения ГКРЧ при условии соблюдения требований по ширине полосы, излучаемой мощности и назначению готового изделия, относят [19]:

- диапазон частот 433,075 – 434,750 МГц;
- диапазон частот 868,0 – 868,2 МГц;
- диапазон частот 868,7 – 869,2 МГц;
- диапазон частот 2400,0 – 2483,5 МГц.

Для 434 МГц мощность передатчика должна составлять не более 10 мВт, для 868,0 - 868,2 МГц — до 10 мВт, для 868,7 - 869,2 МГц — до 25 мВт, для 2,4 ГГц — не более 100 мВт.

Основное различие между данными ISM-диапазонами определяется частотой излучения и как следствие, свойствами радиоволн. Применительно к задаче — сбора данных, систем беспроводного управления и контроля, наиболее оптимальным решением является использование диапазона 868 МГц. По сравнению с диапазоном 2,4 ГГц, более длинные волны 868 МГц имеют меньшую интенсивность затухания, соответственно большая проникаемость сквозь преграды и дальность передачи сигнала гораздо выше.

Рассмотрим зависимость ослабления сигнала в свободном пространстве от расстояния (рисунок 8):

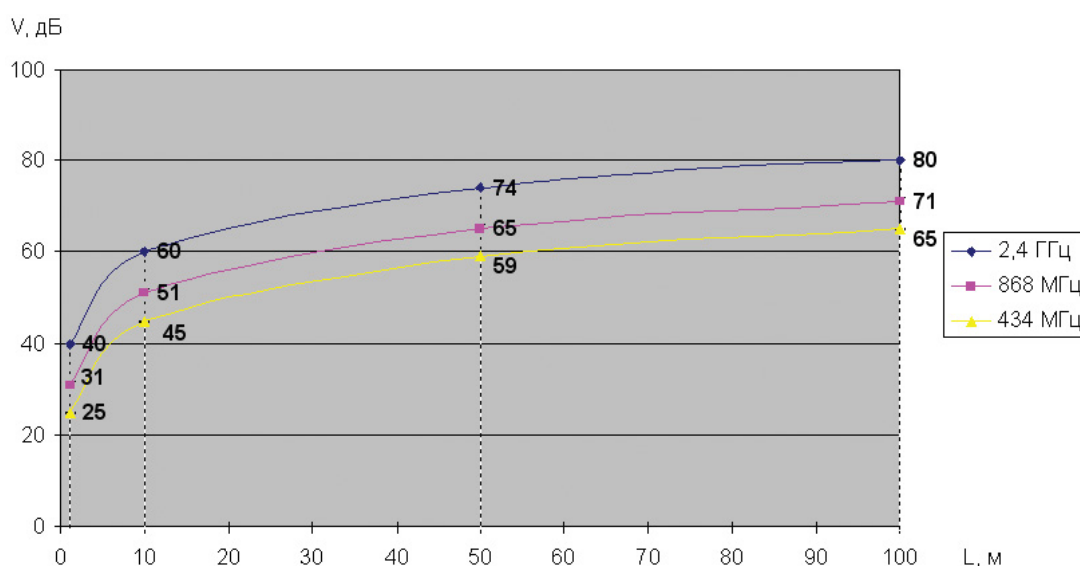


Рисунок 8 – Зависимость ослабления сигнала в свободном пространстве от расстояния

Ослабление сигнала в свободном пространстве определяется рабочей частотой системы — соответственно, наибольшее ослабление имеет радиочастота 2,4 ГГц [20, 21].

Рассмотрим предельную толщину стены из различных материалов, через которую может пройти радиосигнал (таблица Таблица 3):

Таблица 3 – Предельная толщина стены, через которую может пройти радиосигнал

Материал стены	Частотный диапазон, МГц	Предельная толщина, м
Кирпич	433	4,3
	868	2,18
	2,4	0,78
Бетон	433	0,47
	868	0,24
	2,4	0,09

Наиболее «спокойным» относительно количества помех на текущий момент представляется диапазон 868 МГц, потому что безлицензионным в РФ он стал относительно недавно по решению ГКРЧ № 18-46-03-1 от 11 сентября 2018 года [22].

Таким образом, можно заключить, что в совокупности таких параметров как — высокая проницаемость, меньшая загруженность частотного диапазона, радиоволны 868 МГц являются наиболее оптимальным решением данного рода задач по сравнению с остальным ISM-диапазоном. Несмотря на технические преимущества по передачи данных частоты радиоволн 868 МГц многие производители применяют в своих решениях частоту 2,4 ГГц, которая позволяет использовать более компактные и менее энергоемкие передатчики [23].

2.3 Технологические лидеры в области НГД

В рамках изучения рынка автономных беспроводных сенсорных сетей были определены следующие производители, имеющие законченные решения в области автономных сенсорных сетей для практического применения:

- Emerson;
- Endress+Hauser;
- Yokogawa;

– Honeywell.

По результатам углубленного изучения рынка, перечень был дополнен компаниями Schneider Electric и Siemens, чьи решения широко представлены на мировом рынке в сегменте АСУТП. Также был выполнен анализ информации из открытых источников на предмет наличия у российских производителей решений в области автономных сенсоров и самоорганизующихся измерительных систем. По результатам была выявлена такая компания, как ООО «Объединение БИНАР», имеющая готовые решения применения технологии в области нефте- и газодобычи.

2.4 Методика системного анализа решений, представленных технологическими лидерами

Системный анализ проводится в соответствии с методом комплексной оценки, метод основан на вычислении обобщенной оценки (с учетом оценок по всем критериям) [24].

Рассмотрим применение данного метода на примере, требуется сравнить несколько объектов:

- 1) Выбираются объекты оценки (О1-О4) по заданной тематике;
- 2) Определяются общие критерии, характеризующие объекты. Важность критериев (К1-К4) определяется экспертами. В соответствии с этим расставляются веса критериев, представляющие собой числовые оценки их важности.

Если имеются достаточно надежные экспертные оценки важности критериев, то вместо обобщенных весов критериев можно использовать только веса, полученные на основе экспертных оценок.

Таким образом составляется таблица 4:

Таблица 4 – Пример таблицы, составленной для комплексной оценки

	Вес критерия (0..1)	O1	O2	O3	O4
K1	1	300	500	400	250
K2	0,7	отлично	отлично	удовл.	хорошо
K3	0,5	есть	нет	есть	есть
K4	1	2	4	2	3

3) Оценки объектов по критериям приводятся к безразмерному виду. Это преобразование выполняется по-разному в зависимости от вида и направленности критерия:

- Для критериев, подлежащих максимизации, все оценки объектов по данному критерию делятся на максимальную оценку.
- Для критериев, подлежащих минимизации, из оценок по данному критерию выбирается минимальная, и она делится на все оценки объектов по данному критерию.
- Для содержательных (словесных) критериев, выполняется переход к числовым оценкам.

Выполним переход к безразмерным оценкам для данного примера.

Критерий K1 подлежит минимизации (чем меньше, тем лучше). Минимальная оценка по данному критерию равна 250. Эта оценка делится на все оценки по данному критерию:

$$P_{11} = \frac{250}{300} = 0,83; P_{12} = \frac{250}{500} = 0,5; P_{13} = \frac{250}{400} = 0,625; P_{14} = \frac{250}{250} = 1$$

Здесь через P_{ij} обозначены безразмерные оценки (i – номер критерия, j – номер объекта).

Критерий K2 – содержательный. Выполняется переход к числовым оценкам. Пусть экспертом указаны следующие оценки: для O1 и O2 (оценка «отлично») – 1, для O3 (оценка «удовлетворительно») – 0.5, для O4 (оценка «хорошо») – 0.8.

Тогда,

$$P_{21} = P_{22} = 1; P_{23} = 0.5; P_{24} = 0,8$$

Критерий К3 принимает значения «есть/нет» – имеются у объекта те или иные свойства, или отсутствуют, ставится 0 или 1, соответственно.

Критерий К4 рассчитывается по методике схожей с К1.

Все оценки сводятся в таблицу 5:

Таблица 5 – Сведение посчитанных оценок в таблицу

	O1	O2	O3	O4
K1	0,83	0,5	0,625	1
K2	1	1	0,5	0,8
K3	1	0	1	1
K4	0,5	1	0,5	0,75

4) Находятся взвешенные оценки объектов (безразмерные оценки умножаются на веса соответствующих критериев) по формуле 1:

$$E_{ij} = P_{ij} \cdot W_i \quad (1)$$

где E_{ij} – взвешенная оценка объекта,

W_i – вес i-го критерия.

Затем находятся комплексные оценки объектов (суммы взвешенных оценок).

Тогда, результирующая таблица:

Таблица 6 – Комплексные оценки объектов

	Вес критерия (0..1)	O1	O2	O3	O4
K1	1	0,83	0,5	0,625	1
K2	0,7	0,7	0,7	0,35	0,56
K3	1	1	0	1	1
K4	0,5	0,25	0,5	0,5	0,375
Сумма:		2,78	1,7	2,475	2,935

Сравниваются комплексные оценки объектов – в данном, случае наибольшую оценку набрал О4, значит он является приоритетным для рассмотрения.

Воспользовавшись вышеприведенной методикой, проведем оценку предложенных технологическими лидерами решений по следующим критериям:

- технические характеристики;
- локализация;
- опыт применения;
- стоимость.

Результаты системного анализа приведены в приложении Б, а также в рамках работы в соответствующих вышеприведенным критериям пунктах приведены результаты анализа.

2.5 Технические характеристики оборудования выделенных лидеров

Для рассмотрения технических решений, предлагаемых технологическими лидерами, был выполнен анализ технических данных по автономным сенсорам. Для этого были использованы технические каталоги продукции, информация с официальных сайтов, референс-листы, презентации с конференций и семинаров [12–18]. Результаты обработки технических данных сведены в таблицу 7 для наглядного отображения ключевых технических характеристик.

Таблица 7 – Характеристики технологий на основе автономных сенсоров и самоорганизующихся измерительных систем

Сравнение характеристик	Emerson Rosemount	Endress+Hauser	Honeywell	Yokogawa	Schneider Electric	Объединение БИНАР	Siemens	Примечание
Протокол, топология								
Параметры беспроводной сети	Технология(стандарт) WirelessHART, Динамическая топология (mesh), 2.4 ГГц	Технология(стандарт) WirelessHART, Динамическая топология(mesh), 2.4 ГГц	Стандарт ISA100.11a, статическая топология (преимущественно звезда), 2.4 ГГц	Стандарт ISA100.11a, статическая топология (преимущественно звезда), 2.4 ГГц	Стандарт ISA100.11a, статическая топология (преимущественно звезда), 2.4 ГГц	Собственный протокол на базе стандарта IEEE 802.15.4, статическая топология (преимущественно звезда), 868 МГц/ 433 МГц	Технология(стандарт) WirelessHART, Динамическая топология (mesh), 2.4 ГГц	Динамическая топология сети (mesh) значительно упрощает процесс планирования сети, повышает надежность сети, т.к. каждый узел сети может выполнять функции ретранслятора.
Поддерживаемые протоколы, интерфейсы								
Modbus RTU, RS485	да	да	да	нет	да	да	Нет	Использование большого количества стандартных протоколов увеличивает выбор методов интеграции в АСУТП. Использование открытого протокола WirelessHART позволяет использовать имеющиеся датчики, работающие по протоколу HART. А также для настройки сети используются стандартные инструменты HART и ПО (коммуникатор, модем, AMS).
OPC	да	да	да	да, заказывается отдельно	да	нет	Нет	
HART IP	да	да	нет	нет	да	нет	Нет	
Modbus TCP/IP	да	да	да	да	да	нет	Нет	
EtherNet-IP	да	да	нет	нет	да	нет	да (Industrial Ethernet)	
Шлюз								
Количество приборов на 1 шлюз	100 (25 для модели 1410)	100	не более 60 на одну точку доступа (при этом без станции управления сеть не функционирует)	50	100 (возможность создание сети из 256)	8 приборов на каждый модуль сбора и связи	Ограничения не указываются. Рекомендовано до 100	Большее количество полевых приборов на один шлюз позволяет масштабировать уже имеющуюся систему в менее короткие сроки.
Полевые датчики								
Способ питания	Модуль питания Emerson	Две батареи стандартных типоразмеров	Две батареи стандартных типоразмеров	Две батареи стандартных типоразмеров	Литиевый аккумулятор	Батарея 3,6 В ёмкость 2,4 А/ч	Батарея 3,6 В	Батареи стандартных типоразмеров НЕ ВЗРЫВОБЕЗОПАСНЫ, для безопасной замены требуется дополнительно кассета-держатель. При этом отсутствует гарантия качества батареи широкого потребления.
Срок службы батареи (зависит от частоты опроса)	До 10 лет	До 10 лет	До 6 лет	До 10 лет	До 10 лет	До 10 лет	До 5 лет	
Тип исполнения датчиков	Ex ia	Ex ia	Ex ia	Ex ia	Ex ia	Ex ia	Ex ia	Применение оборудования в опасных зонах (от зоны 0)
Дальность передачи данных по прямой видимости	200 м стандартное исполнение, 800м приборы увеличенного радиуса	200м / 30м в помещении	150м датчик-датчик; 300м шлюз-датчик,	600м Датчик-Датчик, 300м Шлюз - Датчик	1000 м (при использовании стандартных встроенных антенн)	Удаленность датчика от модуля сбора и связи не более 100 м, Удаленность от базовой станции до 1000 м	250м / 50м в помещении	Возможно увеличение расстояния с помощью применения выносных антенн.

Продолжение таблицы 7 – Характеристики технологий на основе автономных сенсоров и самоорганизующихся измерительных систем

Сравнение характеристик	Emerson Rosemount	Endress+Hauser	Honeywell	Yokogawa	Schneider Electric	Объединение БИНАР	Siemens	Примечание
Встроенный радиомодуль (КИП)	да	нет*	да**	да	да	да	да	* - применяются преобразователи выходного сигнала датчика HART в беспроводной сигнал для передачи его на шлюз, возможно преобразование выходного сигнала датчика 4-20мА. ** - используется не весь спектр приборов КИП, для непредставленного КИП применяются преобразователи выходного сигнала датчика HART в беспроводной сигнал для передачи его на шлюз.
Требуется дополнительная настройка маршрутов связи	нет	нет	да	да	да	да	нет	протокол WirelessHART предполагает невмешательство пользователя в топологию, сеть полностью самоорганизующаяся и самовосстанавливающаяся. ISA100 предполагает ручную настройку
Температура окружающей среды шлюза	-40 до +70	-20 до +60	-10 до 65 для станции управления -40 до +75 для точки доступа	-40 до +60	-40 до +85	-50 до +50	-40 до +60	
Температура окружающей среды КИП	-60 до +85	-40 до +80	-40 до +85	-40 до +85	-40 до +85	-50 до +50	-40 до +60	низкотемпературное исполнение в линейке Emerson позволяет использовать беспроводные приборы без дополнительного обогрева, в большинстве случаев достаточно необогреваемого чехла
Стандартная гарантия в среднем на КИП	1 год (12 лет для 3051S Ultra)	1 год	1 год	1 год	36 месяцев. Срок службы - 30 лет	1 год, срок службы не менее 10 лет	1 год	
Настройка/Установка								
Подготовительные работы на местности	нет	нет	да	да	да	да	нет	Самоорганизующиеся сети не требуют проектирования и предварительных работ на местности, что значительно сокращает время ввода в эксплуатацию и стоимость проекта.
ПО и оборудование для настройки КИП	ПО AMS Wireless Configurator бесплатно в комплекте со шлюзом, неограниченная лицензия. Либо имеющиеся на предприятии средства настройки HART	платное ПО FieldCare - как опция, имеющиеся на предприятии средства настройки HART	ПО Wireless Builder, ИК-адаптер и карманный компьютер на базе WindowsMobile	ПО Field Wireless configurator, 1 лицензия. ИК-адаптер для подключения к датчикам	ПО Accutech Manager	ПО поставляется комплектно с разрабатываемыми системами	ПО TIA PORTAL / S7	

Продолжение таблицы 7 – Характеристики технологий на основе автономных сенсоров и самоорганизующихся измерительных систем

Сравнение характеристик	Emerson Rosemount	Endress+Hauser	Honeywell	Yokogawa	Schneider Electric	Объединение БИНАР	Siemens	Примечание
ПО и оборудование для настройки беспроводной сети	веб-интерфейс шлюза, бесплатное ПО AMS Wireless Configurator	веб-интерфейс шлюза, платное ПО FieldCare - как опция	Wireless Builder, для работы беспроводной сети требуется приобретение станции управления и точек доступа, требующих внешнее питание и прокладку сетевого кабеля	Field Wireless Management Tool, 1 лицензия	ПО Accutech Manager	ПО поставляется комплектно с разрабатываемыми системами. Для осуществления взаимодействия со сторонними системами необходимо наличие Базовой станции	ПО TIA PORTAL / S7	
Безопасность								
IP адресация полевых приборов	нет	нет	да	да	да	да	нет	IP адресация полевых приборов повышает риск несанкционированного доступа к техпроцессу
Поддержка								
Русскоязычная документация	На всю линейку и всю документацию	На всю линейку и всю документацию	По запросу на всю линейку	да	По запросу на всю линейку	На всю линейку и всю документацию	По запросу на всю линейку	
Перечень поддерживаемых технологических параметров								
Давление	Да	Да *	Да	Да	Да	Да	Да	* - с использованием преобразователей сигнала HART или 4-20мА в беспроводной сигнал для передачи его на шлюз. ** - с использованием преобразователей только сигнала HART в беспроводной сигнал для передачи его на шлюз
Температура	Да	Да *	Да	Да	Да	Да	Да	
Положение (штока, клапана)	Да	Нет	Да	Нет	Да	Нет	Нет	
Уровень	Да	Да *	Да **	Нет	Да *	Да	Нет	
Дополнительные параметры	Датчики давления, Датчики температуры, Уровня, Измерение расхода, Сигнализаторы уровня, Акустический датчик, Датчик измерения стенки трубы, Ретранслятор дискретных сигналов, Датчик положения (штока), Газоанализатор, Датчик вибрации, Аналоговый позиционер	Любой прибор *	Любой прибор **	Нет	Акустический датчик, Измерение расхода	Регистрация выноса твердых веществ, Ретранслятор дискретных сигналов	Любой прибор **	

Приведенные выше характеристики позволяют сделать вывод о высокой степени готовности решений, предлагаемых технологическими лидерами. Технические решения включают в себя не только поставку отдельных устройств (КИПиА, преобразователи), но и предлагают программные решения для мониторинга, анализа и конфигурирования беспроводных устройств, то есть представляют собой законченные решения для применения в АСУ ТП.

На данный момент, основные измеряемые параметры с помощью беспроводных сенсоров – это давление и температура. Датчики уровня появились относительно недавно. Также не все производители, указанные выше, предлагают датчики расхода, загазованности и т.д. Вызвано это тем, что такие датчики имеют высокое энергопотребление, так как с них постоянно необходимо снимать измерения, что в значительной степени скажется на длительности работы батареи.

Решение по измерению расхода от компании Emerson выполнено в виде счетчика импульсов, устанавливаемого на турбинный счетчик. В настоящее время беспроводные датчики уровня от компании Emerson используют волноводный принцип действия, который основан на технологии рефлектометрии, так как данный метод является наименее энергозатратным. Волноводные уровнемеры позволяют проводить одновременные измерения уровня и уровня границы раздела двух жидкостей.

Беспроводные датчики уровня от компании БИНАР являются поплавковыми датчиками, принцип действия которых основан на магнитострикционных импульсах, позволяющие измерять не только верхний уровень, но и уровень раздела сред.

Большое различие наблюдается и в климатических исполнениях сенсоров и средств сбора данных. Самые низкие температурные показатели (сертифицирована работа при температурах окружающей среды до -60 °С для датчика давления Rosemount 3051S, (-55 °С для датчика температуры Rosemount 648; -40 °С для датчика уровня Rosemount 3308) имеет оборудование КИПиА в

линейке компании Emerson, которые позволяют использовать беспроводные приборы без дополнительного обогрева в районах с суровым климатом.

«Объединение БИНАР» сертифицировало свои решения для работы автономных сенсоров при температурах окружающей среды до $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ (сенсорные модули давления и температуры). Остальные производители, из рассматриваемых, заявляют о работе автономных сенсоров при температурах окружающей среды до $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Как для КИП, так для средств сбора и обработки, компоненты от разных компаний имеют различное исполнение и компоновку. Так, например, компания Yokogawa предлагает последовательное соединение полевого беспроводного медиаконвертора и полевой беспроводной станции. Последняя выполняет функции связи полевых беспроводных приборов в один узел.

Объединение БИНАР предлагает решение из 2 устройств: «Модуль сбора и связи» и «Базовая станция».

Модуль сбора и связи предназначен для автоматического сбора данных с сенсорных измерительных модулей, обработки полученной информации и передачи её на базовую станцию и может объединять максимально 8 беспроводных сенсоров.

Базовая станция предназначена для приема данных от отдельных территориально распределенных модулей связи, а также беспроводных датчиков (максимально 8 на одну станцию) [25].

Отдельным элементом средств сбора и обработки данных является программное обеспечение. Всеми рассмотренными компаниями (таблица 8) предлагаются решения по сбору, анализу и конфигурированию элементов беспроводной сети.

Описание элементов и характеристик средств сбора и обработки, а также прочих компонентов, участвующих в работе автономных сенсорных сетей, представленных ведущими зарубежными и российскими компаниями, приведено в таблице 8.

Таблица 8 – Описание элементов средств сбора и обработки (и прочих компонентов) и их характеристики

Элементы	Emerson Rosemount	Endress+Hauser	Honeywell	Yokogawa	Schneider Electric	Объединение БИНАР	Siemens
Беспроводные полевые контрольно-измерительные приборы							
КИП	Датчики давления, Датчики температуры, Уровня, Измерение расхода, Сигнализаторы уровня, Акустический датчик, Датчик измерения стенки трубы, Ретранслятор дискретных сигналов, Датчик положения (штока), Газоанализатор, Датчики вибрации, Аналоговый позиционер	Нет	Датчики давления, Датчики температуры, Датчик положения (штока)	Датчики давления, Датчики температуры	Датчики давления, Датчики температуры, Уровня, Измерение расхода, Счетчики импульсов, Акустический датчик, Ретранслятор дискретных сигналов	Датчики давления, Датчики температуры, Уровня, Регистрация выноса твердых веществ, Ретранслятор дискретных сигналов	Датчики давления, Датчики температуры
Преобразователи	Выходного сигнала датчика с HART-протоколом (питание от датчика) в беспроводной сигнал	Выходного сигнала датчика с HART-протоколом и 4-20 мА в беспроводной сигнал	Выходного сигнала датчика с HART-протоколом (питание от датчика или батарея) в беспроводной сигнал	Нет	Нет	Нет	Выходного сигнала датчика с HART-протоколом (питание от датчика или батарея) в беспроводной сигнал
Средства сбора и обработки							
Устройства сбора данных с полевых КИП	Беспроводные шлюзы 1410 и 1420	Шлюз SWG70	Точка доступа с функцией шлюза и ретранслятора, Менеджер беспроводной сети	Полевой беспроводный медиаконвертор, полевая беспроводная станция	Базовый радиомодуль BR20	Модуль сбора и связи (максимальное количество сенсорных датчиков - 8 шт.), Базовая станция.	Точки доступа серии SCALANCE W
Наличие специализированного ПО для конфигурации и сбора данных	Да	Да	Да	Да, Дополнительно: Беспроводной полевой OPC сервер для связи с главной системой Centrium VP	Да	ПО поставляется совместно с системой (АСОИ «СКВАЖИНА»)	Да
Прочие компоненты							
Средства расширения беспроводных сетей	Удлиненные антенны, использование комплексов коммуникационного оборудования (до 5 ретрансляторов достигая максимального удаления 25 км)	Собственные решения не декларируются	Использование всенаправленных и остронаправленных внешних антенн, совместимость с производителями коммуникационного оборудования с поддержкой протокола ISA100.11a	Полевая беспроводная точка доступа, решения повышенной мощности сигнала	Собственные решения по телеметрии	Радиомодем (Выполнение функций телемеханики и увеличение дальности до 10000 м)	Решения с применением технологий WiMAX (расширение до 40 км)

Анализ компонентного состава позволяет сделать вывод о наличии у компаний различных решений при реализации технологии на основе применения автономных сенсоров, что делает решения более гибкими и масштабируемыми.

Компанией Endress+Hauser в качестве решений предлагается только преобразователи, позволяющие из проводного датчика получить беспроводной сигнал с дальнейшей передачей его на шлюз.

В таблице 9 проведён сравнительный анализ технических характеристик и составлен ранжированный перечень технологических лидеров (в приложении Б приведен полный вариант ранжирования):

Таблица 9 – Ранжированный перечень технологических лидеров по техническим характеристикам

Ранг	Наименование производителя
1	Emerson
2	Honeywell
3	Siemens
4	Schneider Electric
5	Yokogawa
6	БИНАР
7	Endress+Hauser

2.6 Используемые стандарты, технологии и их совместимость.

Статическая и динамическая топологии

Согласно ГОСТ Р ИСО/МЭК 29182-1-2018 сенсорные сети могут иметь статическую топологию или динамически адаптироваться к добавлению или удалению сенсорных узлов и, при необходимости, переконфигурироваться.

Таким образом, может поддерживаться динамическая топология сенсорной сети. Самоорганизация и самовосстановление являются атрибутами беспроводных сенсорных сетей и тесно связаны с динамической сетевой топологией. Самоорганизация это способность сенсорной сети образовывать сетевой граф без необходимости вмешательства человека. Сетевой граф

показывает, с какими сенсорными узлами связывается данный сенсорный узел. С другой стороны, самовосстановление это способность сети восстанавливаться после сбоя сенсорных узлов или каналов связи. После того как сеть самоорганизуется или восстановится, могут быть налажены необходимые связи, и сенсорная сеть может выполнять свою функцию на приемлемом уровне.

Самой базовой сетевой топологией является «звезда» с одним центральным или маршрутизирующим узлом, отправляющим и получающим информацию от всех конечных узлов. У всех конечных узлов, таким образом, только одна функция – передача данных центральному узлу. Благодаря этому, они потребляют очень мало энергии: после отправки данных они возвращаются в спящий режим. Помимо высокой энергоэффективности, топология «звезда» не позволяет отказу какого-либо конечного устройства повлиять на всю остальную сеть: каждое конечное устройство изолировано от остальной сети единственным каналом связи с центральным устройством.

Ячеистая топология состоит из узлов, каждый из которых может служить коммутатором для соседних узлов. Ячеистая топология обеспечивает надежную и безопасную передачу данных, а также, отлично масштабируется. Если маршрут через один или несколько узлов не работает, узел может маршрутизировать данные соседнему узлу, и они, в конечном итоге, достигнут точки назначения альтернативным путем.

Такие компании, как Emerson, Endress+Hauser, Siemens используют в своих решениях динамическую топологию, что позволяет сети самоорганизоваться [26]. Данная организация позволяет любому узлу сети выполнять функции транзитной передачи пакетов (маршрутизации) для других участников сети, что в ряде применений улучшает стабильность передачи данных.

Также необходимо отметить, что у компании Yokogawa самоорганизация сети обеспечена на уровне связи устройств сбора данных [1].

Рассмотренными технологическими лидерами используется 2 стандарта (технологии): WirelessHART и ISA100.11a.

За основу беспроводных решений, построенных на базе открытого протокола WirelessHART, взяты технологии самоорганизующихся сетей, то есть настройка параметров передачи происходит автоматически с минимальным участием пользователя.

В устройствах, построенных на базе стандарта ISA100.11a, используется статическая топология «звезда» с IP-адресацией полевых приборов. Предполагаются дополнительное планирование радиосети и обследование местности на объекте пользователя, поскольку принцип самоорганизации сети не используется. Как правило, для проведения подобных работ требуется сертифицированный специалист» [28].

«Благодаря описанию прикладного уровня (программный, седьмой уровень по модели OSI) в стандарте WirelessHART все поддерживающие его устройства взаимно совместимы: калибровка, настройка и диагностика осуществляется по единому алгоритму, аналогично проводному HART. Миллионы устройств по всему миру работают с использованием протокола HART. Существующую базу проводных приборов HART можно оснастить беспроводными адаптерами, позволяющими интегрировать проводные HART-устройства в беспроводную сеть WirelessHART. Таким образом, обеспечивается единый доступ к проводным и беспроводным приборам через беспроводный шлюз в системе верхнего уровня. В стандарте ISA100 также декларируется мульти-протокольность, то есть устройства ISA100.11a могут быть интегрированы в систему, говорящую на языке HART, Foundation Fieldbus, Profibus, DeviceNet или любом другом промышленном коммуникационном протоколе. Это не совсем так, не смотря на то, что данные проводные протоколы существуют уже многие годы, они до сих пор взаимно несовместимы. Так называемое «туннелирование» (вложение сообщения проводного протокола вместе с беспроводным для передачи информации от полевых устройств) не решает проблему взаимной совместимости протоколов. Устройства с разными протоколами не могут просто так «общаться» на одном языке без дополнительного аппаратного комплекса, ПО, определения команд и проведения

дополнительных исследований с участием всех представителей стандартов» [28].

Единственным путем для обеспечения взаимной совместимости является наличие единого прикладного уровня, но разработчики ISA100 прямо заявляют, что они не планируют его определять, оставляя эту задачу за производителями КИП [28].

Преимуществами стандарта ISA100.11a является то, что в стандарте временные интервалы являются гибкими и имеют возможность конфигурирования, что в свою очередь позволяет поддерживать три основных режима работы: скачкообразное изменение частоты между каналами, медленное изменение частоты от канала к каналу и гибридное. Благодаря такой гибкости ISA100.11a может обслуживать различные наборы устройств, начиная с тех, которые передают данные периодически и требуют синхронизации по времени, до тех, которые передают данные спорадически и основное время неактивны, соответственно, не требуют синхронизации по времени. Такая маршрутизация позволяет обеспечивать высокую надежность коммуникации без дополнительных затрат энергии батареи [1].

Несмотря на то, что функция самоорганизации реализована только у компаний, применяющих протокол передачи данных WirelessHART с динамической топологией сети, стандарт ISA100.11a продолжает применяться при реализации решений технологий на основе автономных сенсоров.

2.6. Степень локализации компонентов самоорганизующихся систем измерения в России

В данном разделе приводится описание текущей степени локализации компонентов беспроводных сенсорных сетей в России. Приводится описание рисков применения нелокализованных измерительных систем.

В широком смысле под степенью локализации [30] понимается коэффициент, представляющий собой процентное соотношение затрат на сырьё и материалы, комплектующие, компоненты, произведённые на территории Российской Федерации, входящих в состав продукции, и затрат на её

производство к отпускной цене продукции. Данный принцип оценки степени локализации приведен в нормативной документации Российской системы качества: «Правила определения страны происхождения товаров, сертифицируемых в Системе добровольной сертификации «Система подтверждения качества российской продукции».

Согласно установленным правилам [31], цена конечной продукции определяется на условиях франко-завод (на условиях поставки партии товара, согласно которым поставщик передает товар в распоряжение покупателя в месте изготовления или со склада, без учета расходов на транспортировку, хранение и т.д.) и включает в себя:

- стоимость сырья и материалов (в т.ч. упаковки);
- расходы на производство (переработку), в том числе на оплату труда;
- амортизацию;
- прибыль.

Определение указанных расходов осуществляется в порядке, установленном законодательством Российской Федерации.

Степень локализации определяется отдельно для продукции, сертифицированной в системе, а также ее товарной упаковки.

Степень локализации рассчитывается по формуле 2:

$$L_{т.} = \frac{P_{ц.т} - P_{ст.имп.т}}{P_{ц.т}} \cdot 100\% \quad (2)$$

где:

- $L_{т.}$ – уровень локализации конечной продукции;
- $P_{ц.т}$ – цена конечной продукции на условиях франко-завод изготовителя с учетом прибыли предприятия;
- $P_{ст.имп.т}$ – стоимость иностранных товаров, использованных для изготовления (получения) товаров.

В связи с тем, что приведенное соотношение рассчитано на широкий спектр товаров, в рамках настоящей работы степень локализации интерпретируется как доля элементов российского производства в компоненте

самоорганизующейся системы, а также степень локализации программного кода, обеспечивающего функционирование компонента в составе самоорганизующейся системы и программного обеспечения для конфигурирования компонентов, для российских разработчиков/производителей компонента.

Учет степени локализация программного обеспечения компонента и системы в целом продиктован наличием программируемых элементов (микроконтроллеров, процессоров) в каждом компоненте самоорганизующейся измерительной системы. Локализация программного обеспечения (далее ПО) подразумевает наличие у российской компании исходных кодов всех видов ПО (прикладного, системного), либо бессрочных лицензий на запуск прикладного ПО, позволяющего производить загрузку системного ПО в компоненты самоорганизующейся системы.

В таблице 10 приведена степень локализации компонентов для приборов одного из определенных ранее технологических лидеров – Emerson Process, а также российского производителя беспроводных измерительных систем – Объединения Бинар.

Таблица 10 – Степень локализации производства компонентов беспроводных измерительных систем на территории Российской Федерации

Тип компонента беспроводной системы	Тип элемента	Степень локализации элементов беспроводной системы	
		Emerson	Бинар
Беспроводной датчик	Корпус	0 %	100 %
	Дисплей	0 %	Отсутствует
	Блок электроники	0 %	75 %

Продолжение таблицы 10 – Степень локализации производства компонентов беспроводных измерительных систем на территории Российской Федерации

Тип компонента беспроводной системы	Тип элемента	Степень локализации элементов беспроводной системы	
		Emerson	Бинар
	Элемент питания	0 %	0 %
	Сенсор	100 % для датчиков температуры и давления, 0 % для остальных датчиков	100 %
	Антенна	0 %	100 %
	Сборка датчика из элементов	100 %	100 %
Шлюз приема и передачи данных	Корпус	0 %	100 %
	Блок электроники	0 %	75 %
	Антенна	0 %	0 %
	Сборка шлюза из элементов	0 %	100 %

Компоненты систем на основе автономных сенсоров Endress+Houser, Yokogawa, Siemens, Schneider Electric, Honeywell не были включены в таблицу 10, так как компоненты данных производителей импортируются в Россию в собранном виде.

Причиной низкой степени локализации отдельных компонентов и их элементов может являться их высокая технологичность и, как следствие, отсутствие рентабельности производства компонентов на территории России. Дополнительными сдерживающими факторами считаются:

- низкий спрос на беспроводные измерительные системы в России;
- риск перехода относительно свежих технологий к третьим лицам в случае глубокой локализации оборудования и программного обеспечения.

При анализе российского рынка [32, 33] приборостроения были выявлены следующие проблемы и тенденции локализации элементов:

- Корпус.

Производство корпусных изделий довольно широко развито на территории РФ. В связи с относительной простотой технологического процесса, Российскими предприятиями освоены необходимые ключевые технологий производства металлических корпусов для нужд приборостроения, включая взрывозащищенные исполнения корпусов. Так, компания-производитель металлических взрывонепроницаемых оболочек ООО «Горэлтех» предлагает изготовление нестандартного взрывонепроницаемого корпуса по техническому заданию Заказчика. Локализация производства корпусов может достичь 100 % при условии сохранения конкурентоспособной стоимости изделия.

- Дисплей.

В современных промышленных измерительных приборах применяются монохромные жидкокристаллические дисплеи, аналоги которых производятся российскими компаниями, например, ООО «МЭЛТ» по полному циклу. Локализация производства дисплеев может достичь 100 % при условии изготовления дисплея под заказ.

- Блок электроники

Электронный блок является комплексным элементов, состоящим из следующих подэлементов:

- печатная плата/подложка.

Производство однослойных и многослойных печатных плат в России развито в достаточной мере для того, чтобы считать возможность локализации данного элемента на уровне 100%.

- активные радиоэлементы.

Значительное отставание промышленности РФ по производству активных радиоэлементов (интегральных микросхем, сигнальных процессоров и т.д.) не позволяет говорить даже о частичном импортозамещении в современных беспроводных устройствах, требовательных к характеристикам быстродействия и низкому энергопотреблению микросхем. Тем не менее, прослеживаются тенденции российских компаний по выращиванию кремниевых кристаллов с применением импортного оборудования. В связи со значительной сложностью технологического процесса, процент брака достигает 40 %, что в настоящий момент не позволяет говорить о конкурентоспособности российских чипов даже для производства приборов внутри страны, за исключением оборонной промышленности.

– пассивные радиоэлементы.

Российские производители освоили выпуск как DIP, так и SMD радиоэлементов, но, в связи с ограниченностью номенклатурного ряда, доля российских радиоэлементов на рынке приборостроения не превышает 10%. Прогнозировать скорость количественного приращения данного показателя затруднительно, но, при разработке электронного блока «с нуля» с учетом номенклатуры пассивных элементов российского производства вероятность приближения к 100 % локализации данного параметра оценивается как высокая.

– Элементы питания.

В России функционирует предприятие по производству элементов питания – ООО «Литэко» (бренд «Лиотех»). Самой современной из применяемых в промышленности технологий является литий-ионная технология и элементы, построенные на её основе. Таким образом, при условии разработки компактных батарей определенного форм-фактора, локализация в 100% достижима, но литий-ионные батареи имеют ограниченный температурный диапазон разряда (от -40 °C до +50 °C), что вносит ограничение на климатический район применения БСС. Подавляющее большинство компонентов беспроводных измерительных систем использует

стандартизированные литий-полимерные элементы питания, производимые серийно в нескольких странах.

– Сенсоры датчиков (чувствительные элементы).

Производство чувствительных элементов датчиков стандартной номенклатуры (датчики температуры, давления, уровнемеры, расходомеры и т.д.) по полному локализовано практически на всех Российских предприятиях, занимающихся приборостроением. То есть 100 % локализации по данному параметру достижимо на существующих мощностях Российских заводов.

В условиях современного промышленного производства защита авторских прав на программное обеспечение играет важную роль. С целью сохранения авторских прав и недопущения тиражирования технологии современный производственный процесс зачастую построен таким образом, что компания-производитель оборудования не имеет доступа к электрическим схемам производимого оборудования, а также к исходным кодам загружаемого в оборудование программного обеспечения.

Таким образом, даже при 100 % локализации аппаратной части компонента системы может возникнуть ситуация, продиктованная в первую очередь политическими факторами, когда иностранный производитель – держатель технологии производства и лицензий ПО, в одностороннем порядке прекратит предоставление лицензий на ПО в необходимом объеме и компоненты систем останутся без управляющего ими программного обеспечения.

Это сделает производство компонентов бессмысленным, поэтому при рассмотрении степени локализации любого современного технически сложного устройства необходимо рассматривать и локализацию ПО в том числе.

Степень локализации программного обеспечения компонентов беспроводных систем в России представлена в таблице 11.

Таблица 11 – Степень локализации программного обеспечения компонентов беспроводных систем в России

Тип компонента беспроводной системы	Степень локализации	
	Emerson	Бинар
Беспроводной датчик	0 %	100 %
Шлюз приема и передачи данных	0 %	100 %

Программное обеспечение Endress+Houser, Yokogawa, Honeywell, Siemens, Schneider Electric не локализовано в России.

На основании представленной в таблицах 10 и 11 информации, а также информации, полученной из открытых источников, о наличии/планах развития производства в РФ, сформирован перечень производителей беспроводных измерительных систем, ранжированный согласно степени локализации производства беспроводного оборудования на территории РФ – таблица 12.

Таблица 12 – Перечень производителей беспроводных измерительных систем, ранжированный по степени локализации производства беспроводных измерительных систем в России

Ранг	Наименование производителя
1	БИНАР
2	Emerson
3	Yokogawa
4	Schneider Electric
5	Siemens
6	Honeywell
7	Endress+Hauser

2.7. Ограничения применения автономных беспроводных сенсорных сетей в НГД

На основе проведенного анализа документации от производителей беспроводных сенсоров, выделим аспекты, ограничивающие/затрудняющие применение автономных сенсорных сетей:

- *Экономическая выгода;*

На текущий момент стоимость беспроводных датчиков может быть в 2-3 раза выше, чем их проводной аналог, однако применение беспроводных сенсоров дает некоторые преимущества, например, для кустов скважин, переход от проводных систем к беспроводным исключает необходимость прокладки кабелей к датчикам, но помимо кабелей КИП по магистральной эстакаде и её ответвлениям, прокладываются силовые кабели к скважинным электроприводным центробежным насосам (ЭЦН). Существуют практики, при которых силовые кабели к ЭЦН прокладывались в грунте с целью экономии капитальных затрат, что позволяет значительно снизить капитальные затраты, так, что беспроводные решения не окажутся значительно дороже «классического» метода.

Также применение беспроводных сенсоров обосновано на объектах, где планируется использовать *возобновляемые источники энергии*.

Поскольку задачи применения ВИЭ – максимальное сокращение потребителей и общего потребления электроэнергии, то применение автономных сенсоров, не требующих подведения питания от внешнего источника, будет оптимальным решением, в том числе экономически оправдано.

Однако необходимо учитывать, что почти все представленные, выявленными технологическими лидерами, решения по средствам сбора данных и связи не имеют встроенного источника питания, а значит требуют подведения питания от внешнего источника.

- *Скоротечность процессов и применение в ПАЗ;*

Так как беспроводные сенсоры опрашиваются в определенный момент (раз в n секунд), применение беспроводных сенсорных сетей не является

разумным решением для систем, требующих моментальных реакций на изменения, таких как СПАЗ.

- *Время СМР;*

Согласно проанализированным данным от производителей, применение беспроводных автономных сенсоров позволяет сократить время и трудовые ресурсы, необходимые на строительные-монтажные работы (рисунок 9).



Рисунок 9 – Временные затраты на реализацию проекта

В связи с уменьшением времени СМР возможно применение автономных беспроводных сенсоров в мобильных установках и переносных комплектах. То есть там, где существует необходимость быстрого свертывания и развертывания мобильной установки (УПС, буровые, и т.д.).

- *Наличие контуров управления;*

На данный момент беспроводные сенсоры не являются «актюаторами» их применение в контурах управления невозможно, то есть они служат только в целях мониторинга технологического процесса.

- *Климатические условия;*

Развертывание беспроводной сенсорной сети требует меньших трудовых и временных затрат, что может стать важным фактором в условиях низких температур («при температуре менее -20 °С прокладка кабеля имеет ограничения

и допускается только после предварительного прогрева» [34]), особенно, где необходимо на большие расстояния прокладывать кабель или строить эстакаду.

Однако, необходимо обращать внимание на то, что не все представленные решения могут длительное время работать в условиях низких температур, в целом, датчики зарекомендовали себя как надежное средство сбора данных до -40 °С, время работы датчиков от встроенного элемента питания при температурах ниже -40 °С может значительно снизиться.

– *Наличие препятствий и дальность передачи данных;*

Необходимо учитывать особенности рельефа (особенно если объект протяженный) – радиус работы устройств связи и оборудования могут значительно снизиться. Дальность передачи данных также зависит от используемой частоты, в п 2.2.1 подробно отражено, каким образом выбор частоты влияет на силу затухания сигнала в зависимости от различных препятствий.

Частично решить проблему передачи сигнала при наличии препятствий помогает топология сети. Чтобы передать сигнал с труднодоступного места можно выполнить маршрутизацию через любой другой сенсор, который выступит «ретранслятором». Однако если выбрана «жесткая» топология, все связи в сети между датчиками и устройством сбора данных, задаются вручную, что может быть достаточно трудозатратно при большом количестве точек автоматизации. Опция самоорганизации, которая возможна при ячеистой топологии, в данном смысле будет являться более гибким решением, так как не требует ручной настройки.

2.8. Практики применения автономных беспроводных сенсорных сетей на объектах НГД

При определении лучших практик был учтен опыт использования беспроводных измерительных систем в российских компаниях и зарубежных. Были проанализированы открытые источники информации, содержащие опыт применения беспроводных измерительных систем в российских компаниях, проведен анализ данных, предоставленных технологическими лидерами.

Беспроводные датчики Emerson Rosemount в количестве приблизительно 400 шт. эксплуатируются в ОГ ПАО «Оренбургнефть» на протяжении продолжительного времени. Первый беспроводной датчик был введен в эксплуатацию в 2006 году в рамках проекта по телемеханизации скважин. С помощью беспроводных датчиков измерялись линейное, затрубное и буферное давления. Также было установлено 130 шт. шлюзов (модель неизвестна).

Периодичность опроса составляла 1 раз в 10 секунд, в таком режиме первую замену аккумулятора осуществили через 5,5 лет. На текущий момент характеристика выпускаемой продукции по этому показателю, согласно данным, улучшилась - в среднем 7 лет.

Дальность передачи была также испытана, на дальности 150 метров сбоя нет.

Согласно комментарию, временные и трудовые затраты на ПНР и СМР сокращаются как при первичном запуске в эксплуатацию, так и в процессе эксплуатации – при постановке ремонтных бригад на скважину отсутствует необходимость демонтажа/монтажа кабельной продукции.

Монтаж производится легче - после установки в посадочное место на технологическом трубопроводе прибор готов к работе. Однако, для настройки требуется более квалифицированный специалист чем при настройке проводного датчика.

ООО «Таас-Юрях Нефтегазодобыча» в период с февраля 2015 г. по 30 апреля 2015 г. проводилась опытная эксплуатация беспроводного оборудования Emerson.

Было применено следующее беспроводное оборудование:

- Преобразователь давления 3051S – 2шт.;
- Преобразователь дискретного сигнала – 1 шт.;
- Шлюз 1420 – 1 шт.

Датчики давления и беспроводной шлюз были установлены на открытом воздухе, в период эксплуатации колебание температур составило от -40 до +10 °С. Один преобразователь давления был установлен на входе фильтров грубой

очистки, другой преобразователь давления был установлен на линии давления на входе регуляторов давления №1. Оба преобразователя давления были установлены на одной измерительной линии в непосредственной близости от штатных преобразователей с унифицированным токовым входом для возможности сравнения показаний приборов.

В обоих случаях, за время эксплуатации беспроводное оборудование проявило себя как высоконадежное средство автоматизации.

Также следует отметить систему российской разработки Объединения Бинар – систему измерения параметров трубного водоотделителя. Система успешно эксплуатируется в ОГ АО «Самаранефтегаз» с 2014 года.

В число контролируемых параметров объекта входят давление жидкости на входе и выходе ТВО, давление жидкости на выходе из шурфного и горизонтального насосов, а также расход жидкости сброса и энергетические параметры работы ЭЦН. Во всех точках измерения давления установлены сенсорные модули давления (СМД). Для ретрансляции данных со всех сенсорных модулей давления и передачи их в БСС на объекте ТВО установлен модуль сбора и связи (МСиС). Расход жидкости контролируется с помощью расходомера UFM3030 фирмы KROHNE, подключенного через конвертор HART-Modbus к радиомодему МИБ для передачи данных в БСС.

Для приема данных от МИБ и МСиС на здании операторной была установлена базовая станция БС и вторичный модуль МИБ. Эти устройства подключены на вход контроллера ARK-3360F, входящего в состав аппаратно-программного комплекса (АПК). Конечным узлом АПК служит АРМ оператора, предназначенное для выполнения оперативных телеизмерений, сбора и обработки информации.

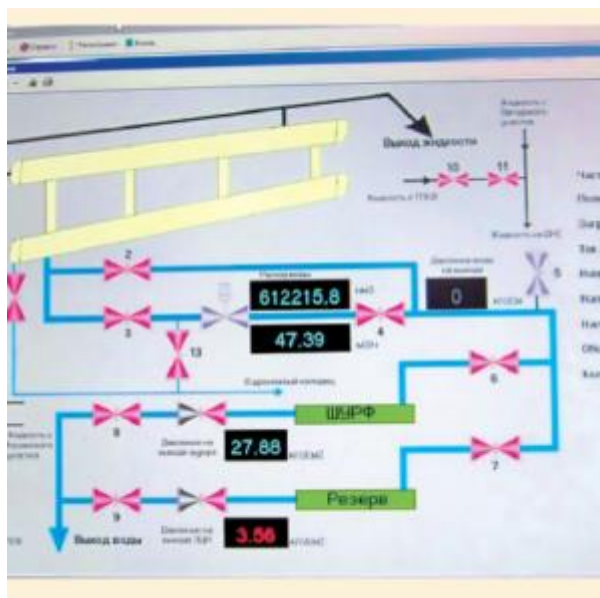


Рисунок 10 – Экранная форма отображения технологического процесса
ТВО ДНС «Казанская»

Следует отметить вспомогательные функции системы – это возможность проведения дистанционной калибровки сенсорных датчиков по радиоканалу, параметрирование измерительных каналов сенсорных датчиков, конфигурирование радиосети и управление режимами ее работы, регистрация внутренней температуры сенсорных модулей, диагностика состояния программно-технических средств системы. Контроль состояния элементов питания.

Применение элементов беспроводной системы телеметрии позволило без капитальных затрат и практически без проведения СМР и при небольшом объеме ПНР установить на всех контролируемых точках объекта сенсорные модули с радиоинтерфейсом и модули сбора информации по радиоканалу, а также обеспечить дистанционный автоматизированный контроль технологических параметров работы ТВО и ДНС.

Для приема данных в систему диспетчерского контроля на здании операторной были установлен радиомодем и базовая станция. Автоматизированное рабочее место, входящее в состав системы, установлено в операторной и позволяет осуществлять непрерывный контроль работы оборудования и формировать архив данных ДНС «Казанская».

Рассмотрим лучшие практики ОАО «Томскгазпром», ОАО «Лукойл-Коми» и АО «Транснефть»:

ОАО «Томскгазпром» было принято решение об использовании БСС для автоматизации новых газовых и нефтяных скважин в 2012 году.

Было применено следующее оборудование:

- датчики давления 3051S – 368 шт.;
- датчики температуры 648 – 36 шт.;
- шлюз 1420 – 12 шт.

Беспроводные датчики давления использовались для измерения параметров нефтяных и газовых скважин: линейного давления, затрубного давления, буферного давления.

Беспроводные датчики температуры используются для измерения температуры после штуцера газовых скважин.

Датчики были установлены непосредственно на оборудовании устья скважины через вентильные блоки или защитные гильзы. Датчики оборудованы термочехлами без обогрева.

Данное оборудование было установлено на месторождениях Мыльдзинское, Северо-Васюганское, Болтное, Казанское, Северо-Останинское. Минимальная температура за две зимы эксплуатации составила -43 °С.

Согласно отзывам ОАО «Томскгазпром», беспроводные датчики зарекомендовали себя как высоконадежные средства автоматизации. Сбоев не наблюдалось, влияния температурных пиков замечено не было. Отмечается легкость и удобство монтажа и эксплуатации беспроводных датчиков.

В 2010 году ОАО «Лукойл-Коми» проводилась модернизация скважин.

Решение было следующим: беспроводные датчики температуры и давления на фонтанной арматуре, шлюзы расположены в боксах телемеханики:

- датчики давления – 487 шт.;
- датчиков температуры – количество неизвестно;
- шлюз – 10 шт.

Беспроводные решения позволили уменьшить капитальные затраты при реализации проекта за счет экономии на материалах (кабельная продукция, коробка, клеммные шкафы) и на строительно-монтажных работах, т.к. нет необходимости строить эстакады. Также существенно сократился срок ввода в эксплуатацию проекта по сравнению с проводным вариантом.

АО «Транснефть» решено было использовать беспроводные сенсоры для контроля загазованности:

Газовый анализатор ИГМ-10 (применяется для обнаружения и измерения концентрации углеводородов, сероводорода, диоксида углерода)

Дискретный преобразователь Rosemount 702:

- два дискретных входа или выхода;
- скорость срабатывания 10 мс.;
- подсчет импульсов.

Решение представлено на рисунках 11-13:



Рисунок 11 – Датчик загазованности ИГМ-10



Рисунок 12 – Дискретный преобразователь Emerson Rosemount 702



Рисунок 13 – Реализация датчика загазованности и дискретного преобразователя на объекте

Проанализировав представленные выше практики, можно сделать вывод, что нефте- и газодобывающие компании достаточно успешно применяют автономные беспроводные сенсоры и согласно отзывам, подтверждают оправданность применения данного решения.

Заметим, что почти все лучшие практики проводились на кустовых площадках, либо в резервуарных парках.

Перейдем к зарубежным практикам:

Нефтеперерабатывающее предприятие в Западной Европе. Заказчику необходимо получать больше информации об уровне жидкости в резервуарах для контроля объема среды. Кроме того, перед заказчиком встала задача выполнения требования Евросоюза по защите от переполнения. Ранее использовались механические уровнемеры, которые необходимо было заменять через небольшие интервалы времени из-за недолговечности механических приборов.

Для решения данной задачи без необходимости прокладывать дорогостоящий кабель было предложено установить беспроводные волноводные радарные уровнемеры Rosemount 3308 вместе с вибрационными сигнализаторами Rosemount 2160. В совокупности эти приборы позволяют:

- Защищать резервуары от переполнения;
- Предупреждать о низком и высоком уровне;
- Регистрировать предельные показания/управлять насосами;
- Защищать насосы от холостого хода.

Отсутствие движущихся механических деталей в решении также избавило от необходимости частого обслуживания. Дополнительным преимуществом стало получение точных данных в контуре защиты от переполнения каждую секунду, что было невозможно раньше. Кроме того, более точные и стабильные данные об измерениях позволили достичь эффективного контроля в части охраны труда и защиты окружающей среды (рисунок 14).

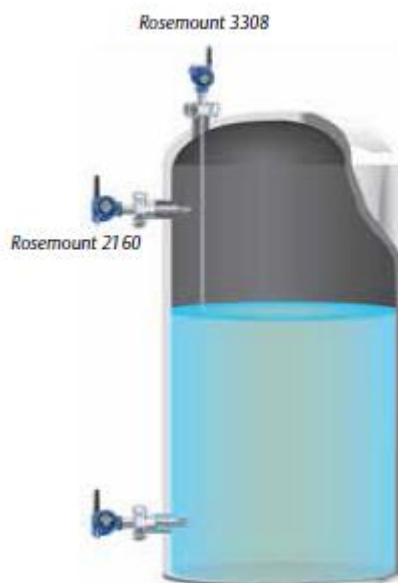


Рисунок 14 – Измерение уровня и защита от переполнения резервуаров с помощью Rosemount 3308 и Rosemount 2160

Pacific Rubiales Energy, Колумбия.

«Когда компания Pacific Rubiales Energy искала более гибкое решение для мониторинга производительности на устьях нефтяных скважин, их выбор пал на беспроводную технологию WirelessHART. По сравнению с традиционными

методами, данная технология позволяет значительно снизить затраты на прокладку кабелей, а также исключает необходимость использовать разнесенное исполнение сенсора и преобразователя» [1].

Комплект поставки:

- Полевые измерительные приборы, сетевой шлюз и адаптеры WirelessHART;
- Предоставление доступа в W@M-портал от Endress+Hauser;
- Поддержка в подборе и системной интеграции полевых контрольно-измерительных приборов;
- Консультации по оптимальной организации беспроводных сетей;
- Обучение по беспроводным технологиям в Боготе.



Рисунок 15 – Оборудование устья скважины на нефтяном месторождении Пирири в Колумбии

Референс-листы технологических лидеров представлены в приложении Г. В таблице 13 отражается ранжирование производителей по опыту применения автономных беспроводных сенсорных сетей (учитывающее наличие референс-листов):

Таблица 13 – Ранжированный перечень производителей беспроводных измерительных систем по практикам применения

Ранг	Наименование производителя
1	Emerson
2	БИНАР
3	Honeywell
3	Yokogawa
*	Siemens
*	Endress+Hauser
*	Schneider Electric

* – сумма баллов равна 0, так как нет информации (приравнивается 4-му месту).

2.9. Сфера применения беспроводных сенсорных сетей в НГД

Исходя из сформированных выше критериев, а также рассмотренного опыта применения определим для каких областей и объектов наиболее выгодно использование автономных беспроводных сенсорных сетей:

- существует необходимость быстрого монтажа или демонтажа оборудования;
- использование мобильного измерительного комплекса (например, для мониторинга температуры и давления при пропарке резервуаров или давления и загазованности при работе на магистральных трубопроводах);
- необходимость оперативного увеличения количества точек измерения в сжатые сроки;
- в случае аварийной ситуации, когда необходимо в срочном порядке восстановить технологический процесс (например, после пожара);
- объект является «протяженным» и прокладка кабелей, установка кабельных лотков, строительство эстакад требуют значительных затрат денежных средств;
- морские нефтяные платформы.

Исходя из рассмотренного опыта, обратим внимание, что автономные беспроводные сенсорные сети используют в больших объемах на кустах скважин и резервуарных парках.

2.10. Оценка эффективности применения беспроводных сенсорных сетей

Целью данного пункта является проведения оценки технико-экономической эффективности (далее ТЭЭ) применения беспроводных сенсорных сетей.

ТЭЭ позволяет получить количественную оценку эффективности использования беспроводных сенсорных сетей в составе системы управления объекта по сравнению с проводными системами измерения. Результатом оценки является сравнение беспроводной и проводной систем (АСУ ТП, АСУ ПТ и прочих) по следующим критериям:

- энергопотребление системы;
- выделяемое оборудованием тепло;
- занимаемое в аппаратном помещении место (объем шкафов автоматизации);
- вес оборудования и материалов;
- экономия времени на разработке, производстве, СМР и ПНР системы;
- экономия денежных средств на операционных затратах;
- экономия денежных средств на первоначальной стоимости оборудования.

2.10.1. Оценка энергопотребления системы

Беспроводная измерительная система отличается от своего проводного аналога оборудованием, входящим в состав измерительного канала. Для получения количественной оценки необходимо сравнить энергопотребление данного оборудования.

Основными устройствами - потребителями электроэнергии в усредненном измерительном канале, являются:

- датчик;
- барьер искрозащиты (применяются только с датчиками, имеющими вид взрывозащиты «искробезопасная измерительная цепь»);
- модуль ввода сигналов ПЛК.

Методика расчета энергопотребления заключается в суммировании мощностей элементов измерительного канала и переводе мощности (Вт) в энергопотребление (Вт*ч) (формула 3). При расчете энергопотребления необходимо учитывать коэффициенты полезного действия всех промежуточных преобразователей напряжения (блоков питания). Коэффициент полезного действия блока питания необходимо принимать согласно руководству по эксплуатации, либо использовать ориентировочное значение, равное 0,95 (95%).

$$W = \frac{(P_d \cdot n_d + P_b \cdot n_b + P_m \cdot n_m)}{n_{бп}} \quad (3)$$

где:

- W – суммарная мощность всех элементов измерительного канала,
- P_d – мощность датчика;
- n_d – количество датчиков;
- P_b – мощность искробезопасного барьера;
- n_b – количество искробезопасных барьеров;
- P_m – мощность модуля ввода сигналов ПЛК;
- n_m – количество модулей ввода сигналов ПЛК;
- $\eta_{бп}$ – коэффициент полезного действия блока питания.

Перевод мощности (Вт) в энергопотребление (например, Вт*час) осуществляется следующим образом (формула 4):

$$P = W \cdot K_{исп} \cdot t \quad (4)$$

где

- P – энергопотребление оборудования измерительного канала;
- W – суммарная мощность всех элементов измерительного канала;

– Кисп – коэффициент использования оборудования (в долях от максимально возможного времени использования, например, если оборудование половину времени было отключено от сети электропитания, то Кисп = 0,5);

– t – период времени, за который необходимо определить энергопотребление (например, t = 1 если необходимо определить энергопотребление за час, либо t = 1/3600, если необходимо определить потребление за 1 секунду).

Наиболее точные результаты могут быть получены при использовании паспортных данных энергопотребления элементов измерительного канала. В случае, когда это невозможно, рекомендуется использовать усредненные значения энергопотребления из следующей таблицы 14:

Таблица 14 – Таблица усредненных мощностей компонентов измерительного канала

Наименование компонента	Ориентировочная мощность элемента, Вт	Применимость элемента в проводной системе	Применимость элемента в беспроводной системе
Датчик проводной + модуль ввода сигналов ПЛК	0,3 (в пересчете на 1 измерительный канал)	+	-
Искробезопасный измерительный преобразователь	2	+/- (*)	-
Датчик беспроводной	0,001 (питание от батареи)	-	+
Проводной шлюз беспроводной измерительной системы	10	-	+
Беспроводной шлюз измерительной системы	0,01 (питание от батареи)	-	+
* - барьеры искрозащиты применяются только с датчиками, имеющими вид взрывозащиты «искробезопасная измерительная цепь».			

Оценка энергопотребления компонентов измерительных систем приведена в таблице 15.

Оценка приведена для куста скважин (24 скважины). Каждая скважина оборудуется тремя датчиками (3 давления и 1 температуры). Для беспроводных измерительных систем оценка энергопотребления строится из двух составляющих:

– прямая оценка энергопотребления проводных шлюзов;

– косвенная оценка энергопотребления беспроводных датчиков и беспроводных (автономных) шлюзов на основании емкости элементов электропитания и частоте опроса датчиков 1 раз в 10 секунд.

Таблица 15 – Таблица оценки энергопотребления измерительных систем

Параметр оценки	Пров. с-ма	Emerson	Endress + Hauser	Yokogawa	Honeywell	Schneider Electric	Siemens	Бинар
Энергопотребление проводных датчиков и модулей аналогового ввода/вывода ПЛК, Вт×ч	21,6	-	-	-	-	-	-	-
Энергопотребление измерительных преобразователей проводной системы, Вт×ч	114	-	-	-	-	-	-	-
Энергопотребление беспроводных датчиков (96 шт.), Вт×ч	-	0,024	0,026	0,026	0,025	0,024	0,027	0,04
Энергопотребление проводных шлюзов, Вт×ч	-	6	10 (2 проводных шлюза по 5 ватт)	10	30	0,5	1 (2 проводных шлюза по 0,5 ватт)	2
Энергопотребление беспроводных шлюзов с подводом электропитания, Вт×ч	-	3,6	-	3,5	2	0,4	-	-
Энергопотребление беспроводных шлюзов от батареи, Вт×ч	-	-	-	-	-	-	-	0,011 (1 шлюз) 0,099 (9 шлюзов – по 1 на 8 датчиков)
Результирующее энергопотребление, Вт×ч	135,6	9,62	10,026	13,52	32,025	0,924	1,027	2,139
Результирующее энергопотребление, % относительно проводной системы	100 %	-93 %	-93 %	-90 %	-76 %	-99 %	-99 %	- 98 %

Расчет экономии энергопотребления измерительной системы показал, что беспроводные системы потребляют в среднем на 95 % меньше энергии, чем проводные, что положительно сказывается на времени автономии системы

управления в условиях работы от источника бесперебойного питания. Отдельно следует остановиться на способе подвода электропитания к беспроводным уличным шлюзам. Из всех рассматриваемых производителей только Бинар предлагает решение, в рамках которого шлюз питается от аккумуляторной батареи. Остальные производители питают шлюзы посредством кабеля. Решение, реализованное Бинар, более гибкое с точки зрения монтажа, но существенно проигрывает рассматриваемым конкурентам в плане операционных затрат на замену элементов питания.

2.10.2. Определение выделяемого оборудованием тепла

В связи с тем, что оборудование, входящее в измерительный канал, не производит механической работы, практически не генерирует звук и свет, его тепловыделение следует принять равным энергопотреблению за вычетом энергии, которая тратится на передачу радиосигнала.

Анализ технической документации компонентов беспроводных измерительных систем показал, что до 70% энергии беспроводных датчиков уходит на передачу радиосигнала. Мощность радиопередатчика беспроводного шлюза, требующего питания извне, может достигать 100 мВт. Мощность беспроводного передатчика Бинар (МСиС) составляет 10 мВт. На основании вышеперечисленных данных составлена сравнительная таблица тепловыделения систем – таблица 16.

Таблица 16 – Оценка тепловыделения измерительных систем

Параметр оценки	Пров. с-ма	Emerson	Endress + Hauser	Yokogawa	Honeywell	Schneider Electric	Siemens	Бинар
Тепловыделение проводных датчиков и модулей аналогового ввода/вывода ПЛК, Вт	21,6	-	-	-	-	-	-	-
Тепловыделение измерительных преобразователей проводной системы, Вт	114	-	-	-	-	-	-	-

Продолжение таблицы 16 – Оценка тепловыделения измерительных систем

Параметр оценки	Пров. с-ма	Emerson	Endress + Hauser	Yokogawa	Honeywell	Schneider Electric	Siemens	Бинар
Тепловыделение беспроводных датчиков (92 шт.), Вт	-	0,0072	0,0078	0,0078	0,0075	0,0072	0,0081	0,012
Тепловыделение проводных шлюзов, Вт	-	5,9	9,8	9,9	29,9	0,4	0,8	1,9
Тепловыделение беспроводных шлюзов с подводом электропитания, Вт	-	3,5	-	3,4	1,9	0,3	-	-
Тепловыделение беспроводных шлюзов от батареи, Вт	-	-	-	-	-	-	-	0,01
Результирующее тепловыделение, Вт	135,6	9,4	9,8	13,3	31,8	0,7	0,8	2,0
Результирующее тепловыделение, % относительно проводной системы	100 %	-95,9 %	-95,8 %	-94,3 %	-86,5 %	-99,61 %	-99,57 %	- 99,1%

Выигрыш от сниженного тепловыделения беспроводных систем снижает требования к охлаждению шкафов автоматизации, так как основной процент выделения тепла оборудованием проводного измерительного канала приходится на искробезопасные измерительные преобразователи. В случае отказа от измерительных преобразователей в шкафу автоматизации (например, применение датчиков с видом взрывозащиты «взрывонепроницаемая оболочка» - Exd), беспроводные и проводные измерительные системы могут демонстрировать схожие показатели тепловыделения и энергопотребления.

2.10.3. Оценка занимаемого места в шкафу автоматизации

Экономия места при применении беспроводной измерительной системы достигается за счет исключения из шкафа автоматизации модулей ввода сигналов ПЛК, искробезопасных измерительных преобразователей, устройств защиты от импульсных перенапряжений и клемм подключения датчика. Также место экономится за счет уменьшения объема кабельных каналов для ввода сигнальных кабелей. С другой стороны, использование беспроводных датчиков требует установки в аппаратном помещении (на стене, либо в шкафу автоматизации), блока приемника беспроводного сигнала (рисунок 16).

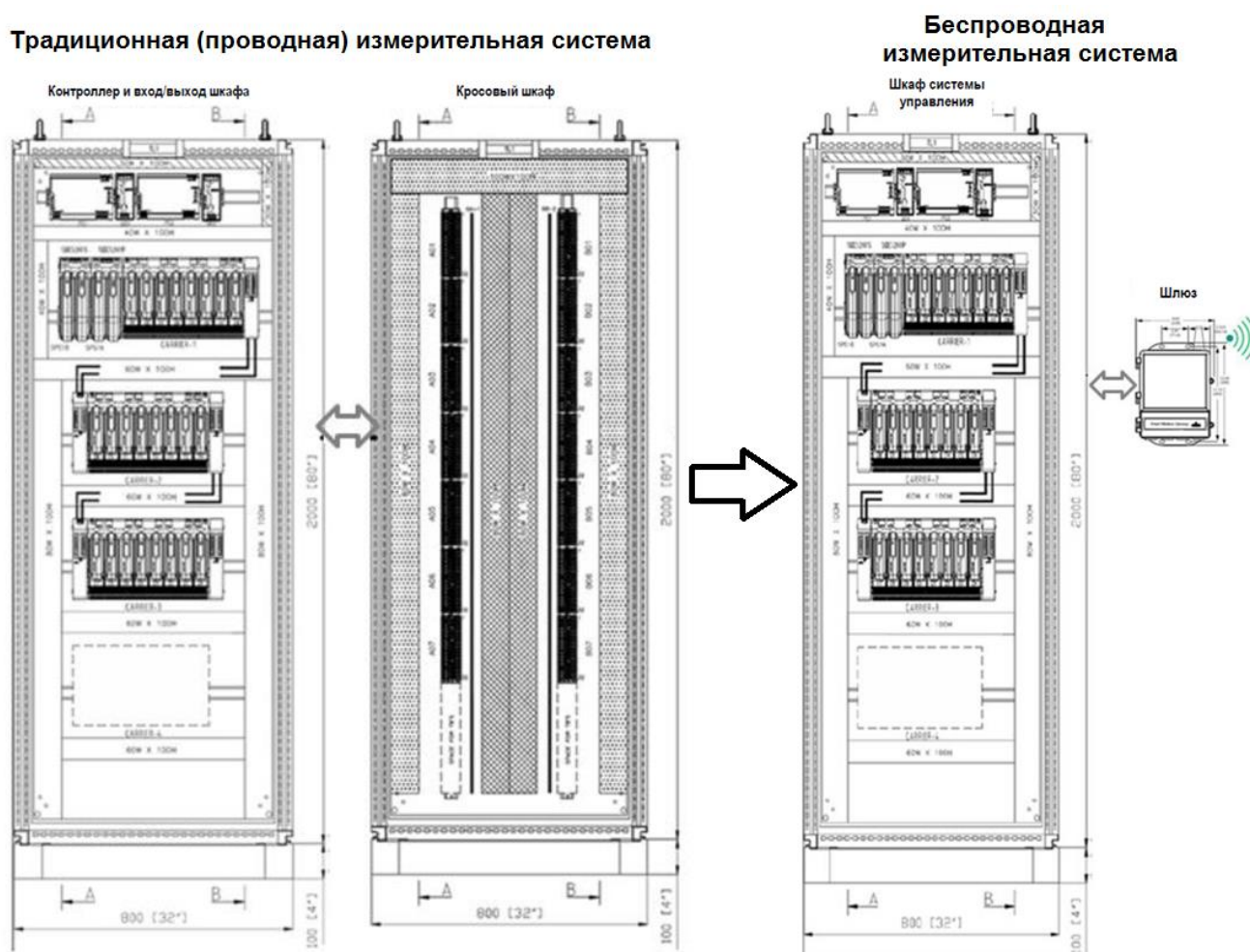


Рисунок 16 – Наглядное сравнение объема средств автоматизации, применяемых в проводных и беспроводных измерительных системах (датчики условно не показаны)

2.10.4. Оценка экономии веса оборудования и материалов

Для оценки экономии веса оборудования и материалов необходимо рассмотреть три основных пути достижения экономии:

- экономия за счет уменьшения количества оборудования в шкафах автоматизации и габаритных размеров самих шкафов;

В связи с отсутствием возможности определения веса уже готовых компонентов системы, применяется поэлементное суммирование веса каждого компонента системы на основании паспортных данных элементов.

- экономия за счет исключения монтажных коробок;

Для получения данных об экономии веса на монтажных коробках необходимо суммировать вес всех монтажных коробок, применяемых в проекте, которые будут исключены при переходе с проводной измерительной системы на беспроводную.

- экономия за счет исключения кабельной продукции;

Для получения данных об экономии веса на кабельной продукции необходимо суммировать вес проводов и кабелей, применяемых в проекте, которые будут исключены при переходе с проводной измерительной системы на беспроводную. Необходимо учесть вес кабеля питания беспроводных шлюзов.

В целом, можно сказать, что за счет исключения кабельной продукции, также монтажных коробок, даже при наличии необходимости учета веса беспроводных шлюзов, в целом, вес необходимого оборудования значительно сокращается, при чем, чем больше точек автоматизации – тем больше экономия на весе и, соответственно, транспортных расходах.

2.10.5. Экономия времени на разработке, производстве, СМР и ПНР системы

Экономия времени достигается за счет сокращения длительности следующих видов работ:

- разработка проектной документации;

В условиях обезличивания оборудования экономия при разработке проектной документации достигается по большей части за счет исключения

работ по проектированию и раскладке кабеля в кабельных каналах. Экспертная оценка данной экономии: сокращение трудозатрат на 10 % при применении беспроводных измерительных систем относительно проводных аналогов.

- разработка конструкторской документации;

Экономия времени на разработке КД системы автоматизации при применении беспроводных измерительных систем достигается за счет упрощения процесса разработки КД на шкафы системы в связи с уменьшением общего количества элементов (клемм, искробезопасных барьеров, модулей ПЛК) в шкафу, а также упрощению работ по трассировке электрических проводников в шкафу. Таким образом, в первом приближении экономию можно оценить по следующей зависимости (формула 5):

$$\tau_{\text{кд}} = \left(\frac{n_{\text{п}}}{n_{\text{бп}}} - 1 \right) \cdot 100\% \quad (5)$$

где:

- $\tau_{\text{кд}}$ – процент экономии времени разработки КД на шкафы автоматизации с беспроводной измерительной системой относительно проводной системы;

- $n_{\text{п}}$ – количество электротехнических изделий в шкафу автоматизации, выполненному на базе проводной измерительной системы (клемм, барьеров искрозащиты, модулей ПЛК, УЗИП, автоматических выключателей и т.п.);

- $n_{\text{бп}}$ – количество электротехнических изделий в шкафу автоматизации, выполненному на базе беспроводной измерительной системы.

В случае если для размещения приемо-передающего оборудования беспроводной измерительной системы разрабатывается дополнительный шкаф автоматизации, экономию времени следует определять эмпирическим путем.

При невозможности оценки экономии времени по вышеприведенной методике, экономию рекомендуется принимать на уровне 10 %.

- Производство оборудования системы автоматизации

Наибольшая экономия времени при производстве оборудования системы автоматизации (шкафов автоматизации) достигается за счет упрощения электромонтажа шкафов и может быть оценена по следующему соотношению (формула 6):

$$\tau_{\text{эм}} = \frac{\left(\frac{n_{\text{п}}}{n_{\text{бп}}} - 1 \right) \cdot 100 + \tau_{\text{кд}}}{2} \quad (6)$$

где:

- $\tau_{\text{эм}}$ – процент экономии времени производства шкафа автоматизации на базе беспроводной измерительной системы относительно проводной системы;
- $n_{\text{п}}$ – количество концевых заделок электрических проводников оборудования автоматизации (силовое оборудование не учитывается) в шкафу автоматизации, выполненному на базе проводной измерительной системы;
- $n_{\text{бп}}$ – количество концевых заделок электрических проводников оборудования автоматизации (силовое оборудование не учитывается) в шкафу автоматизации, выполненному на базе беспроводной измерительной системы;
- $\tau_{\text{кд}}$ – процент экономии времени разработки КД на шкафы автоматизации с беспроводной измерительной системой относительно проводной системы (был определен ранее; позволяет учесть экономию времени на расстановку оборудования на монтажной плате шкафа).

В случае если для размещения приемо-передающего оборудования беспроводной измерительной системы разрабатывается дополнительный шкаф автоматизации, экономию времени следует определять эмпирическим путем.

- строительно-монтажные работы;

Основная доля экономии времени строительно-монтажных работ связана с прокладкой и разделкой кабеля, а также с монтажом кабельных лотков на эстакадах. Рекомендуется применять следующие документы для расчета:

- расчет трудоёмкости работ по прокладке кабеля по эстакадам и монтажу кабельных лотков вести в соответствии с методикой, приведенной в документе «Государственные элементные сметные нормы на монтаж оборудования ГЭСНм 81-03-08-2017 Сборник 8»;

– расчет трудоемкости разделки жил кабеля вести и прозвонки жил в соответствии с методикой, приведенной в документе «Общемашиностроительные нормативы времени на электромонтажные работы».

При этом необходимо учесть монтаж кабеля от беспроводных шлюзов, а также их установку на площадке объекта в соответствии с ГЭСНм 81-03-08-2017.

– пуско-наладочные работы.

При проведении пуско-наладочных работ беспроводной измерительной системы необходимо выполнить настройку беспроводной сети (как датчиков, так и шлюзов). Данный вид работ не выполняется для проводных систем, но при использовании проводных интеллектуальных датчиков в рамках ПНР необходимо провести конфигурирование данных датчиков.

Помимо настройки измерительных каналов в рамках ПНР необходимо провести проверку корректности функционирования каналов. Данная операция для беспроводных и проводных измерительных систем имеет схожую трудоемкость.

Таким образом, трудозатраты на ПНР беспроводных измерительных систем, а также проводных измерительных систем, оснащенных интеллектуальными датчиками, равны.

2.10.6. Экономия денежных средств на операционных затратах

Операционные затраты представляют собой затраты, связанные с управлением предприятием и продажей готовой продукции.

Беспроводные измерительные системы по операционным затратам отличаются от проводных необходимостью плановой замены элементов питания в беспроводных датчиках. Операционные затраты на содержание беспроводной измерительной системы (для одного беспроводного датчика на примере датчика давления) представлены в таблице 17.

Таблица 17 – Таблица операционных затрат на содержание беспроводной измерительной системы (для одного беспроводного датчика на примере датчика давления)

Наименование параметра	Emerson	Endress+Hauser	Yokogawa	Honeywell	Schneider Electric	Siemens	Бинар
Тип элемента питания	Модуль питания Emerson	Две батареи 3.6V	Две батареи и 3.6V	Две батареи 3.6V	Батарея 3.6V	Батарея 3.6V	Батарея 3.6V 2.4 Ah
Частота замены элемента питания (обновление информации 1 раз в 10 с)	7 лет	4 года	4 года	6 лет	3 года	5 лет	1 год
Стоимость элемента питания (комплект), руб	13850	3520	3520	3520	2200	6700	1200
Операционные затраты на 1 датчик за 1 год, руб	1980	880	880	590	740	1340	1200
Информация для справки:							
Стоимость одного датчика давления, руб. без НДС	166432	164463	200116	93608	113148	115971	85100
Доля стоимости элемента питания в стоимости датчика, %	8,3 %	2,1 %	1,8 %	3,8 %	1,9 %	5,8 %	1,4 %
Приведенная доля стоимости элемента питания в стоимости датчика с учетом срока службы элемента, %	11,9 %	5,3 %	4,5 %	6,3 %	6,3 %	11,6 %	14 %

Согласно таблице 17, затраты на приобретение элементов питания беспроводных датчиков за весь срок службы датчика (10 лет) в среднем составляют 8,5 % от первоначальной стоимости датчика. Для всех рассматриваемых иностранных производителей замену элементов питания возможно проводить параллельно с процедурой калибровки и поверки датчика (в среднем раз в 3 года), однако датчики Бинар потребуют более частой замены элементов питания, которую можно производить во взрывоопасных зонах без демонтажа датчика.

2.10.7. Экономия денежных средств на первоначальной стоимости оборудования

В части компонентного состава система автоматизации, построенная с применением беспроводных измерительных датчиков, отличается от проводной системы следующими модулями (таблица 18):

Таблица 18 – Таблица сравнения компонентного состава измерительных каналов проводной и беспроводной измерительных систем

Наименование компонента системы автоматизации	Измерительный канал беспроводной измерительной системы	Измерительный канал проводной измерительной системы
Модуль аналогового ввода ПЛК	Отсутствует	Присутствует (модуль с поддержкой HART-протокола)
Модуль коммуникационный ПЛК	Присутствует (в случае использования отдельного модуля)	Отсутствует
Искробезопасный измерительный преобразователь	Отсутствует	Присутствует (в случае использования датчиков с видом взрывозащиты «искробезопасная измерительная цепь»)
Клеммы проходные для подключения датчиков	Отсутствуют	Присутствуют
Датчик	Присутствует (беспроводной)	Присутствует (проводной интеллектуальный)
Шлюз беспроводной сети (с кабелями питания и связи)	Присутствует	Отсутствует
Кабель питания/связи от датчиков	Отсутствует	Присутствует

В таблице 19 отразим стоимости датчика давления, температуры, и датчика уровня, а также сравним их со стоимостями датчиков проводной системы.

Таблица 19 – Стоимости датчиков БСС и сравнение со стоимостью проводной системы

Производитель	Датчик давления	Датчик температуры	Датчик уровня	Сумма
Emerson	375 659	296 021	593472	1 265 152
Honeywell	90048	80802	178466	349316
Schneider Electric	134251	239425	215677	589353

Продолжение таблицы 19 – Стоимости датчиков БСС и сравнение со стоимостью проводной системы

Производитель	Датчик давления	Датчик температуры	Датчик уровня	Сумма
Yokogawa	200062	185322	126636	512020
Endress+Hauser	158178	140009	247771	545958
БИНАР	85100	76300	117261	278661
Siemens	195522	182797	246541	624860
Средняя	176 974	171 525	246 546	595 046
Сравнение стоимости с проводной системой				
Проводная система	29471	11032	119064	159567
Разница от средней (в %)	-83,35%	-93,57%	-51,71%	-73,18%

Исходя из результатов таблицы 19, наблюдаем, что стоимость капитальных затрат на датчики в «классическом» подходе значительно ниже, то есть капитальные затраты при построении беспроводной сенсорной сети потребуют значительно больших финансовых ресурсов (в расчете от средней суммы, на 73%).

Составим ранжированный перечень по стоимости капитальных затрат для выявленных технологических лидеров (таблица 20).

Таблица 20 – Ранжированный перечень технологических лидеров по капитальным затратам

Ранг	Наименование производителя
1	БИНАР
2	Honeywell
3	Schneider Electric
4	Yokogawa
5	Endress+Hauser
6	Siemens
7	Emerson

2.10.8. Выводы по оценке эффективности применения БСС

На основании описанной выше приведенных пунктов была проведена оценка технико-экономического потенциала автономных сенсорных сетей.

Наблюдаем, что беспроводные сенсорные сети значительно проигрывают проводным «классическим» системам по капитальным затратам, но присутствует выигрыш по таким пунктам как, экономия веса оборудования, энергопотребление системы, выделяемое тепло, место в шкафу автоматизации, а также длительность разработки системы автоматизации, СМР и ПНР.

В перспективе, со временем, возможно снижение капитальных затрат с ростом спроса на компоненты беспроводных сенсорных сетей, что в итоге выведет применение БСС в выигрыш по всем приведенным выше показателям.

2.11. Проект дорожной карты применимости технологии беспроводных сенсорных сетей в нефтегазовой отрасли

Для составления дорожной карты выделим блоки производств НГО, автоматизация которых в настоящее время имеет устоявшийся уровень развития.

Блок 1. Современная автоматизация технологических процессов добычи и подготовки нефти и газа и их транспортировки (*Блок Рид*). Основными являются следующие задачи:

- Сведение к минимуму остановки добычи нефти и газа и отправки продукции с промысла. Эта цель предполагает сокращение простоев нефтяных (газовых) скважин и другого оборудования и достигается путем использования систем автоматизации базового исполнения, SCADA на основе типового набора датчиков: давления, уровня, расхода, температуры, контроля качества и датчиков, обеспечивающих защиту: газоанализа, пожара, вибрации, электрических параметров и других.

- Исключение необходимости постоянного присутствия обслуживающего персонала на удалённых объектах, что достигается использованием систем автоматического регулирования, телеконтролем, телемеханизацией объектов. Эта цель направлена на сокращение обслуживающего персонала.

Блок 2. Современная автоматизация технологических процессов переработки нефти и газа и нефтехимических производств (Блок НПП и НГХ). Основными являются следующие задачи:

- Достижение заданной точности разделения в сепараторах, крекинга исходного углеводородного сырья в реакторах, печах. Эта цель предполагает контроль и поддержание содержания процентного состава продукции и полуфабрикатов при максимально возможной интенсивности и экономичности процесса переработки исходного сырья и достигается путем использования систем автоматизации на основе *PID*, *APC* алгоритмов управления, *SCADA* и типового набора датчиков давления, уровня, расхода, температуры, контроля качества, потоковых и виртуальных анализаторов и датчиков, обеспечивающих защиту: газоопасности, пожара, вибрации, электрических параметров и др.

- Обеспечение необходимых показателей эффективности процесса производства. Эта цель достигается за счет точного поддержания параметров, равных заданным по всему технологическому регламенту и использования систем автоматизации путем применения модельных вычислений в реальном масштабе времени, принятия решений на основе расчетов *KPI*, применения систем оптимизации в реальном масштабе времени, экспертных систем поддержки решений.

- Снижение материально-энергетических затрат в технологических процессах. Это цель достигается учетом расходов с использованием датчиков потребления электрической, тепловой энергии, виртуальных измерителей материальных потоков и использованием информационных систем управления производством.

Для производств НГО можно выделить следующие основные уровни автоматизации.

Для блока *РиД*.

1. Простейшие автоматизированные производства с релейной автоматизацией и телемеханикой с телесигнализацией. Этот уровень можно пометить как (*УI*).

2. Производства с базовой (классической) автоматизацией (с автоматическими регуляторами до ПИД типа, SCADA автоматизированным управлением) *У2*.

Для блока *НПП и НГХ*.

1. Производства с интегрированной автоматизацией – уровень *У3* (с комплексной автоматизацией *SCADA-MES* и использованием модельной среды поддержки принимаемых решений различного уровня).

2. Производства с развитой автоматизацией – уровень *У4* (с *APC* регуляторами, виртуальными анализаторами ключевых показателей эффективности (*KPI*)).

Следует заметить, что такое разделение не имеет четкой границы и имеет смысл рассматривать указанные уровни развития как исходные возможности стратегий эволюционного совершенства автоматизации и цифровизации производства.

В настоящее время на нефтеперерабатывающих и нефтехимических производствах исходными для эволюционного развития цифровизации производств являются компьютерные системы автоматизации, которые решают следующие задачи:

– Повышение эффективности использования персонала, направляемого на обслуживание удалённого оборудования, что можно достичь дистанционным автоматическим контролем персонала в реальном масштабе времени с использованием интеллектуальных касок, бейджиков, *RFID*, алгоритмической обработкой слабоструктурированной большого объёма информации о причинах аварийной остановки, подбором и отправкой на аварийные участки тех специалистов, которые могут сразу устранить причину остановки.

– Повышение безопасности работы обслуживающего персонала путём обнаружения отклонений режимных параметров оборудования и его отключения с использованием многослойных систем автоматической и автоматизированной

защиты на основе датчиков сертифицированных по интегрированному уровню безопасности (*SIL*, ГОСТ Р МЭК 61508, 61511).

– Уменьшение числа и тяжести аварий, связанных с выходом из строя технологического оборудования, путём автоматического моделирования последствий, диагностики, прогноза и «нежным» переводом оборудования в безопасное состояние. Эта цель направлена на сокращение расходов при выводе полуфабрикатной продукции для дальнейшего использования, сокращений по ремонту, по энергопотерям и достигается путем статистического контроля трендов аварийных параметров с использованием датчиков вибрации, давления, температуры, электрических параметров и др.

– Уменьшение потери нефти, газа и воды путём их достоверного (*SEVA*) автоматического контроля в реальном масштабе времени, уменьшения удельного расхода реагентов, воды и электроэнергии на единицу продукции.

Эти цели могут быть достигнуты с использованием современных аппаратно-программных средств автоматизации.

Новые стандарты для сенсорных сетей задают следующий ***потенциал развития цифровизации НГО***:

1. Автоматический контроль достоверности измерения (*SEVA*), обеспечивающий возможности самотестирования, автокалибровки измерительных каналов и коррекцию погрешности датчиков.

2. Развитая интеллектуальность, обеспечивающая возможность автоматизации обучаться и подстраиваться к новым условиям, изменять поведение, способность объявления датчиком по запросу его возможностей, оптимизацию совместной обработки данных и расширенного прогнозирования контекста, меняющихся во времени, функциональных, поведенческих и нефункциональных требований.

3. Живучесть (робастность), обеспечивающая устойчивость автоматизации к воздействию внутренних, внешних помех и сбоев при выполнении КИПиА функций измерения, исполнения и взаимодействия с внешним миром.

4. Отказоустойчивость (надежность), обеспечивающая оперативную самоорганизацию в случае потери работоспособности, отказа компонентов и самовосстановление их работоспособности при возникновении отказов и сбоев в работе.

5. Безопасность, обеспечиваемая за счет использования технологий противоаварийной защиты, различных схем резервирования от *1oo2* до *NooM D* в архитектурных реализациях топологий построения КИПиА, конфиденциальности доступа и кибербезопасности.

6. Устойчивость работы в широком диапазоне климатических условий в труднодоступных местах без технического обслуживания и обеспечение в этих условиях удобств эксплуатации за счет длительного автономного использования, минимизации энергопотребления, с удаленным предоставлением контекстной информации, оказания требуемого качества услуг по индивидуальному требованию оператора и назначенных ответственных.

7. Масштабируемость пространственной размерности топологий систем автоматизации, контролирующих технологические процессы (через расстояние D , область охвата $2D$, объемность пространства расположения $3D$), которая обеспечивается за счет динамических топологий КИПиА с использованием радиочастотных и оптических, лазерных и др. коммуникационных средств связи.

8. Низкая стоимость, обеспечиваемая за счет больших объемов производств КИПиА с применением микроэлектронных конструкций высоких объемных плотностей и масштабно развитых производств.

Исходя из этих перспектив развития, можно прогнозировать эволюционное развитие начального состояния автоматизации различных производств НГО до вехи, которую можно пометить как потенциальный уровень Li автоматизации:

L_1 : до уровня внедрение перспективных технологических направлений (ПТН) с КИПиА на основе автономных сенсорных сетей, обеспечивающих

передачу данных в автоматическом режиме добычи и предварительной подготовки нефти на месторождениях с труднодоступным обслуживанием;

L₂: до уровня внедрения в практику диспетчерского управления *ПТН* интеллектуальных средств КИПиА (интеллектуальных автономных сенсорных сетей с самовосстановлением при возникновении отказов и сбоев в работе за счет использования резервных компонентов автоматического замещения;

L₃: до уровня внедрения *ПТН* «Киберфизические системы» с корпоративным *TCP/IP* доступам к виртуальным сущностям технологических активов производств;

L₄: до уровня внедрения *ПТН* «Киберфизические системы», «Облачные технологии». «*Big Data*» с масштабным применением модельных вычислений (*Model@Run Time*), как на компонентном, так и программном уровнях и обеспечением высокоуровневой кибербезопасности.

Указанные перспективы можно свести в таблицу дорожной карты развития (прогноза) автоматизации на производствах управляющих Компаний НГО (таблица 21).

Здесь приняты следующие сокращения: *Умас* – уровень развития мультиагентных систем, *БСС* – беспроводные сенсорные сети, *ПТН* – перспективные технологические направления интеллектуализации автоматизации, *СС* – сенсорные сети смешанного типа, *CEVA* – самовалидация измерений датчиком.

Таблица 21 – Дорожная карта развития БСС в НГО

Технологические процессы НГО (Области применения)	Уровень развития мультиагентных систем				ПТН, период развития и внедрения
	Умас 1, L_1 (2019 г.)	Умас 2, L_2 (2020 г.)	Умас 3, L_3 (2021 г.)	Умас 4, L_4 (2022 г.)	
	Рыночные предложения	Положительные испытания заданной масштабируемости	Сертификация интеллектуальных агентов	Положительные испытания развитой интеллектуальности, самоорганизации	2023 г
Слабо автоматизированные производства с автоматизацией У1 (Блок РИД)	Полевое измерение/управление с использованием автономных датчиков (топология точка – точка)	Полевое измерение/управление автоматизацией с возможностью цифрового конфигурирования на полевом уровне размерности СС	Автоматическое полевое измерение/управление с телемеханическим заказом конфигурирования и самонастройки		Внедрение ПТН «Сенсорные сети» управления добычей на низко дебитных месторождениях с труднодоступным обслуживанием
Производства с базовой автоматизацией У2 (Блок РИД)	SCADA сбор/передача данных диспетчеру с использованием автономных датчиков контроля состояния оборудования	Автоматическое и автоматизированное управление масштабируемых производств с использованием сетевых конфигураций СС	Модельно-диспетчерское управление с использованием само реконфигурируемых СС и оптимизацией настройки измерений		Внедрение в практику диспетчерского управления ПТН «Интеллектуальные сенсорные сети» с самовосстановлением при возникновении отказов и сбоев в работе
Производства с интегрированной автоматизацией У3 (Блок НПП и НГХ)	Интегрированное управление полевым и цеховым уровнями SCADA-MES управление с использованием автономных сенсоров контроля газоанализа и пожароопасности	Усовершенствованное управление с прогнозированием и оптимизацией производств в реальном масштабе времени и объединением в интегрированную систему управления подсистем управления противоаварийной безопасностью и АСУ ТП. MPC/ PWC управление с TCP/IP контролем MAC			Внедрение ПТН «Киберфизические системы» с корпоративным TCP/IP доступом к виртуальным сущностям технологических активов производств

Продолжение таблицы 21 – Дорожная карта развития БСС в НГО

Технологические процессы НГО (Области применения)	Уровень развития мультиагентных систем				ПТН, период развития и внедрения
	Умас 1, L_1 (2019 г.)	Умас 2, L_2 (2020 г.)	Умас 3, L_3 (2021 г.)	Умас 4, L_4 (2022 г.)	
	Рыночные предложения	Положительные испытания заданной масштабируемости	Сертификация интеллектуальных агентов	Положительные испытания развитой интеллектуальности, самоорганизации	
Производства с автоматизацией У4 (Блок НПП и НГХ)	Управление труднодоступными технологическими активами с использованием беспроводных СС и виртуальных моделей <i>Model@Run Time</i>	3D масштабируемая отказоустойчивая киберфизическая система управления непрерывным совершенствованием базы знаний «Цифровой двойник» в реальном масштабе времени	Киберфизическое или облачное (IOT) управление производством с обработкой больших данных и формированием цифровых близнецов технологических и производственных активов на базе интеллектуальных сенсорных сетей с самовосстановлением и реконфигурацией сервисов <i>MAC</i> .	<i>Внедрение ПТН «Киберфизические системы», «Облачные технологии». «Big Data» с обеспечением кибер безопасности</i>	

2.12. Выводы по главе 2

В рамках изучения беспроводных сенсорных сетей в нефтегазовой области можно прийти к выводу, что автономные сенсорные сети получили большое развитие, несмотря на некоторые недостатки. К недостаткам на данный момент можно отнести ограниченный автономностью временной показатель работы, невозможность применения беспроводных сенсорных сетей для быстротекущих процессов, в алгоритмах управления, в системах противоаварийной защиты. Помимо данных ограничений на текущий момент компоненты беспроводных сенсорных сетей имеют очень высокую стоимость, капитальные затраты на закуп подобных решений могут быть в 2-3 раза выше, нежели при применении стандартного «классического». Однако, это компенсируется сниженными затратами на операционные расходы, экономией на транспортных расходах за счет того, что нет необходимости закупать большое

количество кабеля и кабельных лотков, а также прочих компонентов, рассмотренных в п 2.10.7.

Рассмотренные практики применения показали, что беспроводные сенсорные сети нашли свою нишу в нефтегазовой области для применения, в частности, на кустах скважин и в резервуарных парках. Их применение также оправдано на морских платформах, для мобильных установок и для удаленных объектов, где уже применяются ВИЭ, а применение БСС еще позволит сократить потребление электрической энергии.

Составим итоговую сводную таблицу, отражающую результаты ранжирования по 4-м критериям: технические характеристики, степень локализации, опыт применения, стоимость (таблица 22).

Таблица 22 – Результаты ранжирования

Критерий		Emerson	Honeywell	Schneider Electric	Yokogawa	Endress +Hauser	БИНАР	Siemens
Критерий оценки	Вес (0..1)	Параметр	Параметр	Параметр	Параметр	Параметр	Параметр	Параметр
1. Технические характеристики	1	1	2	4	5	7	6	3
2. Локализация	1	2	6	4	3	7	1	5
3. Опыт применения	0,8	1	3	4	3	4	2	4
4. Стоимость	0,8	7	2	3	4	5	1	6
ИТОГО:		9,4	12	13,6	13,6	21,2	9,4	16
РАНГ:		1	2	3	3	5	1	4

Таблица 22 составлена исходя из позиций, полученных в проведенных ранжированиях, отраженных в п.2.4 (технические характеристики), 2.6 (степень локализации), 2.8 (практики применения), 2.10.7 (стоимость). Полный вариант ранжирования отражен в приложении Б.

Исходя из таблицы 22, ранжированный перечень по перечисленным выше критериям выглядит следующим образом (меньше баллов-лучше) (таблица Таблица 23).

Таблица 23 – Итоговая сводная таблица технологических лидеров

Итоговое место	Количество баллов	Производитель
1	9,4	Emerson
		БИНАР
2	12	Honeywell
3	13,6	Schneider Electric
		Yokogawa
4	16	Siemens
5	21,2	Endress+Hauser

Компания Emerson имеет самую широкую номенклатуру предложенных устройств, имеет широкий опыт применения, наиболее продвинутые технические характеристики среди всех представленных решений, однако стоимость решений достаточно высока. Компания БИНАР имеет самую низкую стоимость решений, широкий референс-лист, а производство компонентов осуществляется в РФ, что на фоне текущей политической обстановки является важным обстоятельством, однако номенклатура решений не так высока. Компанией Honeywell представлены решения по достаточно низким ценам, но номенклатура устройств невелика и не имеется собственного производства в РФ. Компании Schneider Electric, Yokogawa, Siemens имеют общие проблемы – сравнительно высокая стоимость при скромной номенклатуре устройств на текущий момент, и отсутствии производств в РФ, а также широкого опыта применения. Компанией Endress+Hauser представлено лишь решение в виде адаптера, который к тому же имеет высокую стоимость, что не позволяет говорить о высоких показателях на фоне других производителей.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
8TM71	Зеленин Марк Вячеславович

Школа	ИШИТР	Кафедра	СУМ
Уровень образования	Магистрант	Направление/специальность	Автоматизация технологических процессов и производств

Тема ВКР:

«Системный анализ беспроводных автономных сенсорных сетей для их применения в нефтегазовой отрасли»

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования является рабочее место в офисном помещении ОАО «ТомскНИПИнефть». Помещение закрытого типа с естественной и технической вентиляцией воздуха. Помещение имеет как искусственный, так и естественный источник освещения. Основное рабочее оборудование – ПЭВМ. Основная область деятельности – системный анализ беспроводных автономных сенсорных сетей для применения в нефтегазовой отрасли. Деятельность заключается в изучении патентов, статей и технической документации, предоставленной вендорами, а также в оформлении документации, отражающей текущее состояние рынка автономных беспроводных сенсоров, и направлений его развития.
--	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – правовые нормы трудового законодательства; организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ; ГОСТ 12.2.032-78 «ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования»; ГОСТ 12.2.061-81 «ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности к рабочим местам».
2. Производственная безопасность Анализ выявленных вредных факторов при работе на ПК в офисном помещении.	Вредные факторы производственной среды: повышенный уровень шума, микроклимат, превышение электромагнитных и ионизирующих излучений, отсутствие или недостаток естественного света, возможное воздействие электрического тока.
3. Экологическая безопасность:	Влияние на экологическую безопасность небольшое. Предметами воздействия на окружающую среду могут выступить лишь бытовые отходы (части электронных устройств и т.д.), которые воздействуют на литосферу и атмосферу (например, при неправильной переработке).
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Наиболее типичная ЧС для объекта исследования – пожар.

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД	Исаева Елизавета Сергеевна	—		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8TM71	Зеленин Марк Вячеславович		

3. Социальная ответственность

В данном разделе работы рассматриваются вопросы анализа вредных и опасных факторов труда, разрабатываются меры защиты от вредных и опасных производственных факторов для рабочего места в соответствии с требованиями нормативно-технической документации, а также даются рекомендации по созданию оптимальных условий труда и охране окружающей среды.

Рассматриваются особенности организации рабочего места специалиста, осуществляющего работу за персональным компьютером.

Предполагается, что работа осуществляется в закрытом, отапливаемом и вентилируемом помещении.

3.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Согласно статье 212 Трудового Кодекса РФ, предусмотрено, что на работодателя возлагаются обязанности по обеспечению безопасных условий и охраны труда [35].

Для работодателя существует два варианта поведения, касающихся выполнения своих обязательств по охране труда на рабочих местах с персональным компьютером.

- обеспечить такие условия труда, при которых на работников исключено (или не превышает установленных нормативов) воздействие вредных факторов, а также подтвердить это с помощью сертификации рабочих мест;
- в случае наличия вредных факторов снабдить работников средствами индивидуальной защиты и произвести материальную компенсацию воздействия вредных факторов, выявленных в результате сертификации рабочего места.

Описанные выше требования распространяются на персональные компьютеры, периферийные устройства (клавиатуры, принтеры, модемы, блоки бесперебойного питания и т.д.), а также на видеодисплейные терминалы всех типов.

Требования к организации рабочих мест пользователей:

- Рабочее место должно быть организовано с учетом эргономических требований согласно ГОСТ 12.2.032-78 «ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования» и ГОСТ 12.2.061-81 «ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности к рабочим местам» [36, 37];

- Конструкция рабочей мебели должна обеспечивать возможность индивидуальной регулировки соответственно росту пользователя и создавать удобную позу для работы. Вокруг ПК должно быть обеспечено свободное пространство не менее 60-120 см;

- На уровне экрана должен быть установлен оригинал-держатель.

Рациональная организация труда в течение смены, в соответствии с государственными стандартами и правовыми нормами обеспечения безопасности, предусматривает:

- длительность рабочей смены не более 8 часов;
- обеденный перерыв не менее 40 минут;
- установление двух регламентируемых перерывов (не менее 20 минут после 1-2 часов работы, не менее 30 минут после 2 часов работы).

3.2. Производственная безопасность

Сведем все опасные и вредные факторы в таблицу, которые будут рассмотрены в дальнейших пунктах.

Таблица 24 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовлени	Эксплуатаци	
1. Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	СанПиН 2.2.4.548–96
2. Превышение уровня шума	+	+	+	СН 2.2.4/2.1.8.562-96

Продолжение таблицы 24 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
3. Электромагнитные и электрические поля	+	-	+	СанПиН 2.2.4.1191-03
4. Ионизирующее излучение	+	-	+	СанПин 2.6.1.2523-09
5. Электробезопасность	+	+	+	ГОСТ ИЕС 61140-2012
6. Отсутствие или недостаток естественного света	+	+	+	СП 52.13330.2016

3.2.1. Микроклимат производственных помещений

Микроклимат помещения определяется тремя основными параметрами:

- температура окружающего воздуха, °С;
- относительная влажность воздуха, %;
- скорость движения воздуха, м/с;

Комфортность труда и высокая производительность специалиста зависит от микроклимата в помещении. Микроклимат определяется действующими на организм человека сочетаниями температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха. Оптимальные и допустимые значения характеристик микроклимата, согласно СанПиН 2.2.4.548–96 приведены в таблице 25 [38]:

Таблица 25 – Допустимые и оптимальные параметры микроклимата

Сезон	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный и переходный	22-24	40-60	до 0,1
Тёплый	23-25	40-60	0,1-0,2

Оптимальные условия микроклимата обеспечивают комфортную работу трудящегося, не вызывают отклонений в состоянии здоровья, поддерживают высокий уровень работоспособности.

Работа персонала в данном случае относится к категории работ I а, с интенсивностью энергозатрат до 120 ккал/ч. Работы производятся сидя и сопровождаются незначительным физическим напряжением.

Нормальные значения параметров микроклимата в помещении, где находится рабочее место в течение всего года поддерживаются, благодаря установленным кондиционерам и центральному отоплению.

3.2.2. Производственный шум

При выполнении работ специалист может оказаться в зоне повышенного уровня шума, источником которого является оборудование, находящееся в рабочем помещении: персональные компьютеры, устройства поддержки микроклимата (кондиционеры, вентиляция).

Работы, выполняемые специалистом оцениваются как научная деятельность, конструирование и проектирование, программирование, и, следовательно, согласно санитарным нормам СН2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки» уровень звука в рабочем помещении не должен превышать 50 дБА. В таблице 26 приведены предельные уровни звукового давления в октавных полосах, а также предельные уровни звука для видов работ, выполняемых специалистом в процессе работы [39].

Таблица 26 – Предельные уровни звукового давления и предельные уровни звука согласно СН2.2.4/2.1.8.562-96

Вид трудовой деятельности, рабочее место	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звуча (в дБА)
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Конструкторские бюро, программисты, лаборатории	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Основным источником шума на рабочем месте является персональный компьютер, находящийся под рабочим столом. Измерения уровня шума не

проводились, однако, в процессе работы шум работы ПК не слышен и не влияет на производительность труда.

Расположение ПК изображено на рисунке 17.

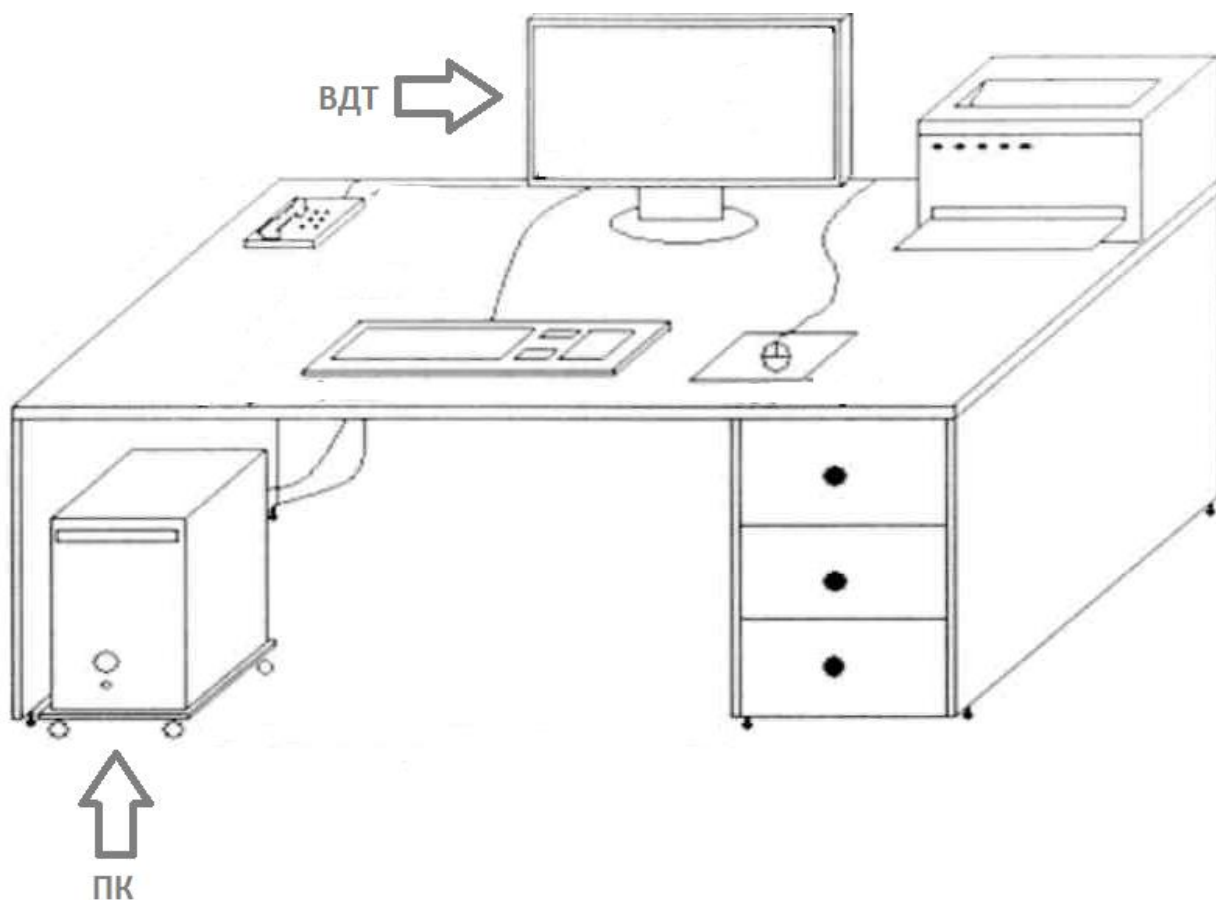


Рисунок 17 – Расположение персонального компьютера на рабочем месте

3.2.3. Электромагнитные и электрические поля

Рабочее место специалиста подвержено влиянию электромагнитных полей (ЭМП). Источниками ЭМП является офисное оборудование, в частности компьютеры (ЭВМ).

Большая часть электромагнитного излучения, создаваемого ЭВМ, происходит от видеокабеля и системного блока. В составе современных персональных компьютеров практически все электромагнитное излучение идет от системного блока. Современные компьютеры выпускаются производителями со специальной металлической защитой внутри системного блока для уменьшения фона электромагнитного излучения.

Электромагнитное поле обладает способностью биологического, специфического теплового воздействия на организм человека. При воздействии полей, имеющих напряженность выше предельно допустимого уровня, развиваются нарушения со стороны нервной, сердечнососудистой систем, органов пищеварения и некоторых биологических показателей крови.

Степень воздействия электромагнитных излучений на организм человека зависит от диапазона частот, интенсивности воздействия соответствующего фактора, продолжительности облучения, характера излучения, режима облучения, размеров облучаемой поверхности тела и индивидуальных особенностей организма человека.

Критерием безопасности для человека, находящегося в электрическом поле промышленной частоты, принята напряжённость этого поля. Нормы для персонала, который систематически находится в этой зоне, установлены СанПиН 2.2.4.1191-03 [1].

Использование современной офисной техники позволяет избежать повышенных электромагнитных и электрических полей.

Возможные способы защиты от ЭМП на путях распространения:

- применение поглотителей мощности;
- увеличение расстояния от источника излучения;
- уменьшение времени пребывания в поле и под воздействием излучения;
- подъем излучателей и диаграмм направленности излучения;
- блокировочные излучения;
- экранирование излучений.

3.2.4. Ионизирующее излучение

Основным источником ионизирующего излучения является дисплей компьютера (ЭВМ).

Ионизирующее излучение может вызывать торможение функций кроветворных органов, нарушение нормальной свертываемости крови и

увеличение хрупкости кровеносных сосудов, снижение сопротивляемости организма к инфекционным заболеваниям.

Доза облучения при расстоянии до дисплея 20 см составляет 50 мкбэр/час. Конструкция ПЭВМ должна обеспечивать мощность экспозиционной дозы мягкого рентгеновского излучения в любой точке на расстоянии 0,05 м от экрана и корпуса не более 1 мкЗв/час (100 мкР/час).

При защите от внешнего облучения, возникающего при работе с дисплеем, проводятся следующие мероприятия:

- для обеспечения оптимальной работоспособности и сохранении здоровья на протяжении рабочей смены должны устанавливаться регламентированные перерывы – при 8-часовом рабочем дне продолжительностью 15 минут через каждый час работы;
- дисплей устанавливается таким образом, чтобы от экрана до оператора было не менее 60-70 см;
- должны использоваться дисплеи со встроенными защитными экранами.

Для мониторов рекомендуется следующее дооснащение:

- защитный фильтр для экрана, ослабляющий переменное электрическое и электростатическое поля;
- для одиночных ЭВМ или их однорядном расположении – специальное защитное покрытие на переднюю панель и боковые стенки;
- при многорядном расположении ЭВМ, если соседние рабочие места располагаются близко друг к другу (на расстоянии 1,2...2,5 м) – защитное покрытие задней и боковых стенок, монтирование специальных экранирующих панелей с задней и боковых сторон монитора, установка перегородок между различными пользователями.

Разработана технология защиты от электростатических, переменных электрической и магнитной составляющих ЭМИ путем нанесения электропроводных покрытий на внутреннюю поверхность корпуса монитора и

его заземления, встраивания в дисплей оптического защитного фильтра, защищающего от излучений со стороны экрана.

При выполнении дипломной работы использовались жидкокристаллические мониторы с низким уровнем излучения. Все ЭВМ были расположены на отдельных столах за перегородками, следовательно, все требования нормативной документации были выполнены.

3.2.5. Электробезопасность

В помещении, где происходит выполнение работы, находится около 20 ЭВМ мощностью по ~350 Вт с напряжением питания 220 В.

В целом, помещение сухое, непыльное, с нормальной температурой воздуха и поэтому относится к классу помещений без повышенной опасности: переключатели, кнопки и разъемы, клавиатура изолированы, пол покрыт электроизоляционным покрытием.

Корпус ЭВМ изготовлен из металлического листа, обладает высокой механической прочностью и высокими экранирующими свойствами, покрыт токонепроводящими полимерными пластмассами. Компьютер подключен к заземляющему контуру.

Электрические изделия по способу защиты человека от поражения электрическим током подразделяются на пять классов: 0, 01, 1, 2, 3.

ЭВМ можно отнести к классу 01, то есть, к изделиям, имеющим рабочую изоляцию, элемент для заземления и провод без заземляющей жилы для присоединения к источнику питания. При начале работы с ЭВМ необходимо проверить герметичность корпуса, не открыты ли токоведущие части. Убедиться в подключении заземляющего проводника к общей шине заземления, проверить его целостность. Если заземляющий проводник отключен, подключать его можно только при отключении машины от питающей сети. Важное значение для предотвращения электротравматизма имеет правильная организация обслуживания действующих электроустановок, проведение ремонтных, монтажных и профилактических работ.

3.2.6. Отсутствие или недостаток естественного света

Освещение рабочего места за компьютером играет важную роль в комплексе мероприятий по охране труда. Во время трудового процесса глаза часто страдают от яркого света или, наоборот, от его недостатка.

Рабочие столы следует размещать таким образом, чтобы видеодисплейные терминалы были ориентированы боковой стороной к световым проемам, чтобы естественный свет падал преимущественно слева.

Искусственное освещение в помещениях для эксплуатации ПЭВМ должно осуществляться системой общего равномерного освещения.

В производственных и административно-общественных помещениях, в случаях преимущественной работы с документами, следует применять системы комбинированного освещения.

Освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 300 - 500 лк. Освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана. Освещенность поверхности экрана не должна быть более 300 лк.

Следует ограничивать прямую блескость от источников освещения, при этом яркость светящихся поверхностей (окна, светильники и др.), находящихся в поле зрения, должна быть не более 200 кд/м².

Следует ограничивать отраженную блескость на рабочих поверхностях (экран, стол, клавиатура и др.) за счет правильного выбора типов светильников и расположения рабочих мест по отношению к источникам естественного и искусственного освещения, при этом яркость бликов на экране ПЭВМ не должна превышать 40 кд/м² и яркость потолка не должна превышать 200 кд/м².

Следует ограничивать неравномерность распределения яркости в поле зрения пользователя ПЭВМ, при этом соотношение яркости между рабочими поверхностями не должно превышать 3:1 - 5:1, а между рабочими поверхностями и поверхностями стен и оборудования 10:1.

В качестве источников света при искусственном освещении следует применять преимущественно люминесцентные лампы типа ЛБ и компактные

люминесцентные лампы. При устройстве отраженного освещения в производственных и административно-общественных помещениях допускается применение металлогалогенных ламп. В светильниках местного освещения допускается применение ламп накаливания, в том числе галогенные.

3.3. Экологическая безопасность

Сегодня проблема загрязнения окружающей среды приобретает глобальный характер. И атмосфера, и гидросфера загрязнены токсичными веществами, созданными человеком. Человечество должно разрабатывать и совершенствовать инженерно-технические средства защиты окружающей среды, развивать основы создания замкнутых, безотходных и малоотходных производств. Современная техника и технологии позволяют сократить выбросы вредных и токсичных веществ в окружающую среду, однако для обеспечения экологии на долгосрочный период времени требуется постоянно совершенствовать технологии добычи, потребления, переработки сырья, использования и утилизации оборудования.

Мероприятия по защите окружающей среды:

- в офисной среде необходимо использовать системы электронного документооборота. Это поможет избежать излишнего потребления бумаги, чернил и, соответственно, их утилизации;
- вышедшие из строя детали компьютеров и других технических приборов следует отправлять на утилизацию;
- при проектировании технологически установок следует выбирать наиболее безопасные и экологичные материалы;
- необходимо выключать приборы и установки после работы с ними, чтобы уменьшить потребление электроэнергии, а также исключить влияние вредных и опасных факторов, связанных с прибором (установкой).

В рамках данной работы источником отходов может являться вышедший из строя ПЭВМ, который, при несоблюдении вышеописанных мероприятий, может оказать воздействие на литосферу и атмосферу. Таким образом, чтобы

снизить/исключить вредное влияние, необходимо обращаться к компаниям, занимающимся утилизацией электроприборов.

Вторичная переработка играет важную роль, так из вышедшей из строя техники все еще можно получить комплектующие, которые можно применить для производства каких-либо других электронных/прочих устройств.

Еще одной из серьезных проблем современности является масштабное потребление электроэнергии. С увеличением количества компьютерных систем, внедряемых в производственную сферу, увеличивается и объем потребляемой ими электроэнергии, что влечет за собой увеличение мощностей электростанций и их количества. И то, и другое не обходится без нарушения экологической обстановки.

Таким образом, очевидно, что необходимо стремиться к снижению энергопотребления, то есть разрабатывать и внедрять системы с малым энергопотреблением.

3.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Наиболее типичной ЧС для рассматриваемого помещения является пожар. Данная ЧС может произойти в случае замыкания электропроводки оборудования, обрыву проводов, не соблюдению мер пожаробезопасности и т.д.

Одной из наиболее важных задач пожарной защиты является защита строительных помещений от разрушений и обеспечение их достаточной прочности в условиях воздействия высоких температур при пожаре. Учитывая высокую стоимость электрооборудования, а также категорию его пожарной опасности, здания для офиса, в котором предусмотрено размещение ПЭВМ должны быть 1 и 2 степени огнестойкости.

Для изготовления строительных конструкций используются, как правило, кирпич, железобетон, стекло, металл и другие негорючие материалы. Применение дерева должно быть ограничено, а в случае использования необходимо пропитывать его огнезащитными составами. В офисе противопожарные преграды в виде специальных перегородок из негорючих материалов устанавливают между кабинетами.

К средствам тушения пожара, предназначенных для локализации небольших возгораний, относятся пожарные стволы, внутренние пожарные водопроводы, огнетушители, сухой песок, асбестовые одеяла и т. д.

Для тушения пожаров на начальных стадиях широко применяются огнетушители. По виду используемого огнетушащего вещества огнетушители бывают, в основном, пенного, порошкового, углекислотного вида. В производственных помещениях ВЦ применяются главным образом углекислотные огнетушители, достоинством которых является высокая эффективность тушения пожара, сохранность электронного оборудования, диэлектрические свойства углекислого газа, что позволяет использовать эти огнетушители даже в том случае, когда не удастся обесточить электроустановку сразу.

Помещение оборудовано датчиками пожарной сигнализации, реагирующие на появление дыма. В рабочем помещении вывешены «Планы эвакуации людей при пожаре», регламентирующие действия персонала в случае возникновения очага возгорания и указывающий места расположения пожарной техники. В офисном помещении имеется порошковый огнетушитель типа ОУ-8. Средством оповещения сотрудников о пожаре служит пожарная сигнализация.

Для предупреждения возникновения пожара необходимо соблюдать следующие правила пожарной безопасности:

- исключение образования горючей среды (герметизация оборудования, контроль воздушной среды, рабочая и аварийная вентиляция);
- применение при строительстве и отделке зданий несгораемых или трудно сгораемых материалов;

Необходимо в офисном помещении проводить следующие пожарно-профилактические мероприятия:

- организационные мероприятия, касающиеся технического процесса с учетом пожарной безопасности объекта;
- эксплуатационные мероприятия, рассматривающие эксплуатацию имеющегося оборудования;

- технические и конструктивные, связанные с правильным размещением и монтажом электрооборудования и отопительных приборов.

Организационные мероприятия:

- противопожарный инструктаж обслуживающего персонала;
- обучение персонала правилам техники безопасности;
- издание инструкций, плакатов, планов эвакуации.

Эксплуатационные мероприятия;

- соблюдение эксплуатационных норм оборудования;
- обеспечение свободного подхода к оборудованию.
- содержание в исправности изоляции токоведущих проводников.

Технические мероприятия:

- соблюдение противопожарных мероприятий при устройстве электропроводок, оборудования, систем отопления, вентиляции и освещения.
- профилактический осмотр, ремонт и испытание оборудования.

Кроме устранения самого очага пожара, нужно своевременно организовать эвакуацию людей.

При возникновении пожара каждый обнаруживший пожар обязан:

1. Немедленно сообщить об этом в пожарную охрану по телефону 01.
2. Сообщить о случившемся дежурному персоналу.
3. Оказать помощь дежурному персоналу в организации эвакуации людей из здания и тушении пожара.

3.5. Выводы по разделу

В данном разделе проведен анализ на выявление опасных и вредных факторов рабочего места специалиста, работающего в офисном помещении ОАО «ТомскНИПИнефть», рассмотрены правовые и организационные вопросы. Все правовые и организационные моменты соответствуют требованиям нормативных документов. Касательно требований производственной безопасности нарушений также не выявлено – микроклимат, отсутствие/недостаток света, производственный шум, показатели

электромагнитного и электрического полей, ионизирующего излучения, а также требования электробезопасности не нарушены.

Были предложены мероприятия по защите окружающей среды, в частности, сокращение электропотребления и утилизация старой техники. В рамках рассмотрения возможных чрезвычайных ситуаций выявлено, что самая вероятная ЧС – пожар. Для обеспечения безопасности в случае пожара предусмотрены следующие меры: офисное помещение оборудовано датчиками пожарной сигнализации, пожарной сигнализацией, оповещающей о пожаре, имеется порошковый огнетушитель типа ОУ-8, а также периодически проводятся мероприятия по эвакуации.

В рамках раздела были изучены и рассмотрены нормативные документы, устанавливающие требования к правовым и организационным вопросам, а также вопросы производственной безопасности.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
8TM71	Зеленин Марк Вячеславович

Школа	Информационных технологий и робототехники	Отделение школы (НОЦ)	Автоматизации и робототехники
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств

«Системный анализ беспроводных автономных сенсорных сетей для их применения в нефтегазовой отрасли»

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных источниках, стандартах, разработка и тестирование системы с помощью ЭВМ и оценка эффективности исследуемой и разрабатываемой системы
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	Проведение предпроектного анализа и определение возможных альтернатив проведения НТИ
2. Разработка устава научно-технического проекта	Проект выполняется в рамках магистерской диссертации, устав не требуется
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Запланировано управление научно-техническим проектом; выделены контрольные события проекта; рассчитан бюджет исследования
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Анализ финансовой эффективности проекта

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Сегментирование рынка
2. Оценка конкурентоспособности
3. Диаграмма Исикавы
4. Матрица SWOT
5. График проведения и бюджет НТИ
6. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Рыжакина Татьяна Гавриловна	Кандидат экономических наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8TM71	Зеленин Марк Вячеславович		

4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности

Потенциальные потребители результатов исследования

Потенциальными потребителями результатов исследования и разработки являются предприятия, которые ведут свою деятельность в области автоматизации (интеллектуализации) технологических процессов нефтегазодобычи, нефте- и газопереработки. Базовая идея данной работы сформулирована следующим образом: в настоящее время для измерения параметров технологических процессов на опасных производственных объектах нефтегазодобычи, нефте- и газопереработки широко используются контрольно-измерительные приборы (КИПиА). Электропитание таких приборов и съем измерений осуществляется «классически» кабельной продукцией, которая прокладывается непосредственно от датчика до контроллера, включая сопутствующие материалы – полки эстакады, лотки, кабельные вводы, трубы, металлорукава, клеммные коробки и прочее. Предполагается, что с распространением автономных сенсоров, работающих от встроенного элемента питания и не требующих подвода кабельной продукции, настало время пересмотреть «классические» подходы к построению АСУТП, что в конечном итоге может сократить стоимость капитальных затрат на строительство объектов (за счёт экономии на кабельной продукции и материалах), снизить сроки СМР и ПНР, сократить энергопотребление и занимаемое место, а также снизить операционные затраты.

Поэтому потенциальными потребителями являются «продвинутые» компании, которые готовы отойти от «классических» методов автоматизации.

Необходимо отметить, что данное исследование проводилось в рамках работы в ОАО «ТомскНИПИнефть».

В таблице 27 приведены основные сегменты рынка по следующим критериям: размер компании-заказчика, процесс разработки документации.

Таблица 27 – Карта сегментирования рынка

		Автоматизация процесса -нефте -газо добычи		
		Использование автономных беспроводных сенсорных сетей	«Классический» подход (с кабелем)	Без автоматизации
Размер компании	Мелкие			
	Средние			
	Крупные			

Компания А



Компания В



Компания С



Из таблицы 27 видно, что крупные и средние компании относятся к основным сегментам, так как данные компании понимают важность автоматизации технологического процесса и следствия массового внедрения автономных беспроводных сенсоров.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что необходимо направить максимальные усилия и ресурсы на «продвижение» и дальнейшее исследование технологий автономных беспроводных сенсорных сетей.

Анализ конкурентных технических решений

Данный анализ проводится с помощью оценочной карты (таблица 28). Для оценки эффективности научно-исследовательской работы сравниваются готовое исследование, проведенное в рамках работы, и исследования рынка технологическими лидерами.

Критерии подобраны так, чтобы показать преимущества проведения собственного исследования.

Таблица 28 – Оценочная карта

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Критерии оценки ресурсоэффективности							
Количество источников информации	0,08	4	4	4	0,32	0,32	0,32
Систематизация информации	0,15	5	5	5	0,75	0,75	0,75
Проведение исследования независимыми экспертами	0,2	5	4	4	1	0,8	0,8
Объем исследования	0,15	5	3	3	0,75	0,45	0,45
Актуальность исследования	0,15	5	3	4	0,75	0,45	0,6
Экономические критерии оценки эффективности							
Конкурентоспособность исследования	0,1	4	4	4	0,4	0,4	0,4
Уровень проникновения на рынок	0,07	3	3	3	0,21	0,21	0,21
Конечная стоимость исследования	0,1	4	4	5	0,4	0,4	0,5
Итого	1	35	30	32	4,58	3,78	4,03

Согласно оценочной карте, можно выделить следующие конкурентные преимущества разработки: исследование проводится лицами (работниками ОАО «ТомскНИПИнефть»), не заинтересованными в продвижении той или иной фирмы, соответственно, оно выполнено максимально объективно; актуальность исследования – поскольку рынок постоянно меняется, актуальность исследования – важный параметр, исследование проводится в 1 и 2 кварталах 2019 года на основании самых свежих источников; объем исследования – в рамках исследования рассматриваются все аспекты применения автономных беспроводных сенсоров.

Диаграмма Исикавы

Диаграмма причины-следствия Исикавы (Cause-and-Effect-Diagram) – это графический метод анализа и формирования причинно-следственных связей, инструментальное средство для систематического определения причин проблемы и последующего графического представления.

Построение диаграммы начинают с формулировки проблемной области/темы, которая является объектом анализа и наносится на центральную горизонтальную стрелку диаграммы.

Затем выявляются факторы/группы факторов, влияющие на объект анализа.

Выявленные факторы подводят к стрелкам диаграммы первого уровня.

Далее к каждой стрелке подводят стрелки второго уровня, к которым, в свою очередь, подводят стрелки третьего уровня и т. д. до тех пор, пока на диаграмму не будут нанесены все стрелки, обозначающие факторы, оказывающие заметное влияние на объект анализа. Каждый фактор более низкого уровня будет являться следствием по отношению к причине более высокого уровня.

Полученная причинно-следственная диаграмма представлена на рисунке

18.



Рисунок 18 – Диаграмма Исикавы

SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

SWOT-анализ проводится в несколько этапов. Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде. Результаты первого этапа SWOT-анализа представлять в табличной форме (таблица 29).

Таблица 29 – Первый этап SWOT-анализа

	Сильные стороны:	Слабые стороны:
	С1: Проведение исследования экспертами из персонала компании; С2: Выявление перспективного направления для развития компании; С3: Низкая конечная стоимость проведения исследования; С4: Возможность распространения опыта на другие исследовательские Институты.	Сл1: Возможен недостаток квалифицированного персонала в области автономных беспроводных сенсоров; Сл2: Сложность получения исходной информации; Сл3: Переключение работников с основной деятельности на исследование; Сл4: Исследование требует огромного количества временных ресурсов.

Продолжение таблицы 29 – Первый этап SWOT-анализа

Возможности: В1: В результате исследование возможен «запуск» процесса внедрения автономных беспроводных сенсоров в широкое использование, что в дальнейшем может привести к значительным экономически положительным эффектам; В2: Тесное взаимодействие с компаниями-производителями автономных беспроводных сенсоров В3: Поддержание программы Цифровизации в компании; В4: Приобретение опыта подобных исследований.		
Угрозы: У1: Существует вероятность не защитит проведенное исследование перед руководством; У2: Сложность исследования – необходимо переработать огромное количество информации в сжатые сроки; У3: Недостоверность некоторых открытых источников информации; У4: Исследования конкурентов.		

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды.

Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-». Интерактивная матрица проекта представлена в таблице 30.

Таблица 30 – Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта					
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4
	B1	–	+	–	+
	B2	+	+	–	+
	B3	–	+	0	–
	B4	+	+	–	+
Слабые стороны проекта					
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	B1	+	0	+	0
	B2	0	+	–	+
	B3	+	–	+	–
	B4	+	+	+	+
Сильные стороны проекта					
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4
	У1	+	+	+	+
	У2	+	+	–	0
	У3	+	+	0	0
	У4	+	+	+	+
Слабые стороны проекта					
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	У1	+	+	+	+
	У2	+	+	+	+
	У3	+	+	–	–
	У4	0	–	0	0

В рамках третьего этапа составлена итоговая матрица SWOT-анализа (таблица 31).

Таблица 31 – Итоговая матрица SWOT-анализа

	Сильные стороны: С1: Проведение исследования экспертами из персонала компании; С2: Выявление перспективного направления для развития компании; С3: Низкая конечная стоимость проведения исследования; С4: Возможность распространения опыта на другие исследовательские Институты.	Слабые стороны: Сл1: Возможен недостаток квалифицированного персонала в области автономных беспроводных сенсоров; Сл2: Сложность получения исходной информации; Сл3: Переключение работников с основной деятельности на исследование; Сл4: Исследование требует огромного количества временных ресурсов.
--	--	--

Продолжение таблицы 31 – Итоговая матрица SWOT-анализа

Возможности: В1: В результате исследование возможен «запуск» процесса внедрения автономных беспроводных сенсоров в широкое использование, что в дальнейшем может привести к значительным экономическим положительным эффектам; В2: Тесное взаимодействие с компаниями-производителями автономных беспроводных сенсоров В3: Поддержание программы Цифровизации в компании; В4: Приобретение опыта подобных исследований.	В1С2С4 – область автономных беспроводных сенсоров является перспективной, и требует изучения, возможно, совместно с другими Институтами; В2С1 – персонал, работающий над исследованием, приобретает опыт по взаимодействию с вендорами, что может положительно отразиться в дальнейшем процессе работы; В2С2С4 – взаимодействие с вендорами позволяет установить контакт, и развиваться не только в одной области, этот опыт взаимодействия также можно распространять на другие Институты; В3С2 – автономные беспроводные сенсоры являются одной из областей Цифровизации; В4С1С2С4 – персонал получает опыт работы в перспективном направлении, а также может поделиться своим опытом.	В1Сл1Сл3Сл4 – не смотря на нехватку персонала, те работники, что участвуют в исследовании приобретают неоценимый опыт, а также повысят свои компетенции в области автономных беспроводных сенсоров; В2Сл2Сл4 – если компания-вендор увидит заинтересованность Института, это упростит процесс взаимодействия и обмена информацией, поскольку Институт может быть потенциальным клиентом; В3Сл1Сл3 – во время основной деятельности персонал не ведет работу в области Цифровизации, однако в компании существует программа, утверждающая необходимость развития в данном направлении; В4Сл1Сл2Сл4 – не смотря на значительные временные затраты, и переключение работников с основной деятельности, опыт подобной работы очень значим.
---	--	--

Продолжение таблицы 31 – Итоговая матрица SWOT-анализа

Угрозы: У1: Существует вероятность не защитить проведенное исследование перед руководством; У2: Сложность исследования – необходимо переработать огромное количество информации в сжатые сроки; У3: Недостоверность некоторых открытых источников информации; У4: Исследования конкурентов.	У1У2У3У4С1С2 – поскольку исследование проводится самими сотрудниками компании, они несут полную ответственность за составление отчета и его защиту, в случае неудачной защиты перед руководством возможны штрафные санкции (финансовые, репутационные и т.д.); У4С1 – исследования конкурентов могут оказаться более подробными/развернутыми; У1С2 – видение направления развития руководства компании может не совпадать с результатами исследования; У1С3 – если руководство будет не удовлетворено результатами исследования, финансирование может быть сокращено/прекращено; У1С4 – если руководство будет не удовлетворено результатами, опыт исследований не будет распространен на другие Институты;	У1У2Сл1Сл2Сл3Сл4 – при недостатке квалифицированного персонала велика вероятность допущения ошибок – использования недостоверных источников, недостаток времени на проработку, и как следствие неудовлетворенность руководства результатами (при этом могут проводиться исследования конкурентов, у которых нет подобных проблем); У3Сл1Сл2 – получение исходной информации в данной области трудозатратный процесс, к тому же возможно большое количество недостоверных источников информации, которые могут снизить объективность исследования, что может не учесть некомпетентный работник;
---	--	--

Планирование научно-исследовательских работ

Структура работ в рамках научного исследования

Трудоемкость выполнения ВКР оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для реализации проекта необходимы два исполнителя – научный руководитель и студент. Разделим выполнение дипломной работы на этапы, представленные в таблице 32.

Таблица 32 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ Раб.	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1.	Выбор направления научного исследования	Студент Руководитель
	2.	Составление и утверждение технического задания	Руководитель Студент
Анализ предметной области	3.	Календарное планирование работ по теме	Студент
	4.	Подбор и изучение материалов по теме	Студент
	5.	Анализ отобранного материала	Студент Руководитель
Разработка	6.	Разработка «скелета» отчета исследования	Студент Руководитель
	7.	Выявление технологических лидеров в области автономных беспроводных сенсоров	Студент
	8.	Анализ степени локализации текущих решений и возможностей её увеличения	Студент

Продолжение таблицы 32 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ Раб.	Содержание работ	Должность исполнителя
	9.	Разработка критериев применения автономных беспроводных сенсорных сетей в НГО	Студент
	10.	Разработка критериев выбора компонентного состава беспроводной сенсорной сети	Студент
	11.	Расчет экономической составляющей при применении решений беспроводных автономных сенсоров	Студент
	12.	Написание раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Студент
	13.	Написание раздела «Социальная ответственность»	Студент
	14.	Проверка работы	Студент Руководитель
	15.	Внесение корректировок согласно замечаниям	Студент
Оформление отчета	16.	Составление пояснительной записки	Студент
	17.	Подготовка презентации дипломного проекта	Студент

Разработка графика проведения научного исследования

Для определения трудоемкости работ будем использовать такие показатели как ожидаемое значение трудоемкости, продолжительность каждой работы, продолжительность выполнения i – ой работы в календарных днях, коэффициент календарности.

Для расчета ожидаемого значения продолжительности работ $t_{ож}$ применяется следующая формула 7:

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot t_{min} + 2 \cdot t_{max}}{5} \quad (7)$$

где t_{min} – минимальная трудоемкость i -ой работы, чел/дн.;

t_{max} – максимальная трудоемкость i -ой работы, чел/дн.

Из расчета ожидаемой трудоемкости работ, определим продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями (формула 8):

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i} \quad (8)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожi}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Для построения диаграммы Ганта, переведем длительность каждого из этапов работ в календарные дни (формула 9).

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал}, \quad (9)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{кал}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле 10:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}}, \quad (10)$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

Коэффициент календарности:

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{(365 - 118)} = 1,478$$

Расчеты по трудоемкости выполнения работ приведены в таблице 33.

Таблица 33 – Расчеты по трудоемкости выполнения работ

Название работы	Трудоёмкость работ						Исполнители		Длительно сть работ в рабочих днях T_{pi}	Длительно сть работ в календарн ых днях T_{ki}
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел- дни		$t_{ож\ i}$, чел-дни					
	Студент	Преподаватель	Студент	Преподаватель	Студент	Преподаватель	Студент	Преподаватель		
Выбор направления научного исследования	7	7	12	7	9	7			8	11,82
Составление и утверждение технического задания	7	5	5	3	6,2	4,2			5,2	7,69
Календарное планирование работ по теме	2	0	4	0	2,8	0			2,8	4,14
Подбор и изучение материалов по теме	15	0	20	0	17	0			17	25,13

Продолжение таблицы 33 – Расчеты по трудоемкости выполнения работ

Название работы	Трудоёмкость работ						Исполнители		Длительно сть работ в рабочих днях T_{pi}	Длительно сть работ в календарн ых днях T_{ki}
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел- дни		t_{oji} , чел-дни					
	Студент	Преподаватель	Студент	Преподаватель	Студент	Преподаватель	Студент	Преподаватель		
Анализ отобранного материала	10	5	15	10	12	7			9,5	14,04
Разработка «скелета» отчета исследования	3	2	7	4	4,6	2,8			3,7	5,47
Выявление технологических лидеров в области автономных беспроводных сенсоров	3	0	5	0	3,8	0			3,8	5,62
Анализ степени локализации текущих решений и возможностей её увеличения	3	0	5	0	3,8	0			3,8	5,62
Разработка критериев применения автономных беспроводных сенсорных сетей в НГО	1	0	2	0	1,4	0			1,4	2,07

Продолжение таблицы 33 – Расчеты по трудоемкости выполнения работ

Название работы	Трудоёмкость работ						Исполнители		Длительно сть работ в рабочих днях T_{pi}	Длительно сть работ в календарн ых днях T_{ki}
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел- дни		$t_{ож\ i}$, чел-дни					
	Студент	Преподаватель	Студент	Преподаватель	Студент	Преподаватель	Студент	Преподаватель		
Разработка критериев выбора компонентного состава беспроводной сенсорной сети	2	0	3	0	2,4	0			2,4	3,55
Расчет экономической составляющей при применении решений беспроводных автономных сенсоров	10	0	15	0	17	0			12	17,74
Написание раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	5	0	11	0	7,4	0			7,4	10,94
Написание раздела «Социальной ответственности»	5	0	11	0	7,4	0			7,4	10,94

Продолжение таблицы 33 – Расчеты по трудоемкости выполнения работ

Название работы	Трудоёмкость работ						Исполнители		Длительно сть работ в рабочих днях T_{pi}	Длительно сть работ в календарн ых днях T_{ki}
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел- дни		$t_{ож\ i}$, чел-дни					
	Студент	Преподаватель	Студент	Преподаватель	Студент	Преподаватель	Студент	Преподаватель		
Проверка работы руководителем	0	5	0	9	0	6,6			6,6	9,75
Внесение корректировок согласно замечаниям	5	0	7	0	5,8	0			5,8	8,57
Составление пояснительной записки	15	0	16	0	15,4	0			15,4	22,76
Подготовка презентации дипломного проекта	2	0	4	0	2,8	0			2,8	4,14
Итого	100	24	147	33	118,8	27,6	0	0	120	177,36

На основе таблицы 33 построим диаграмму Ганта, представляющую из себя горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ (таблица 34).

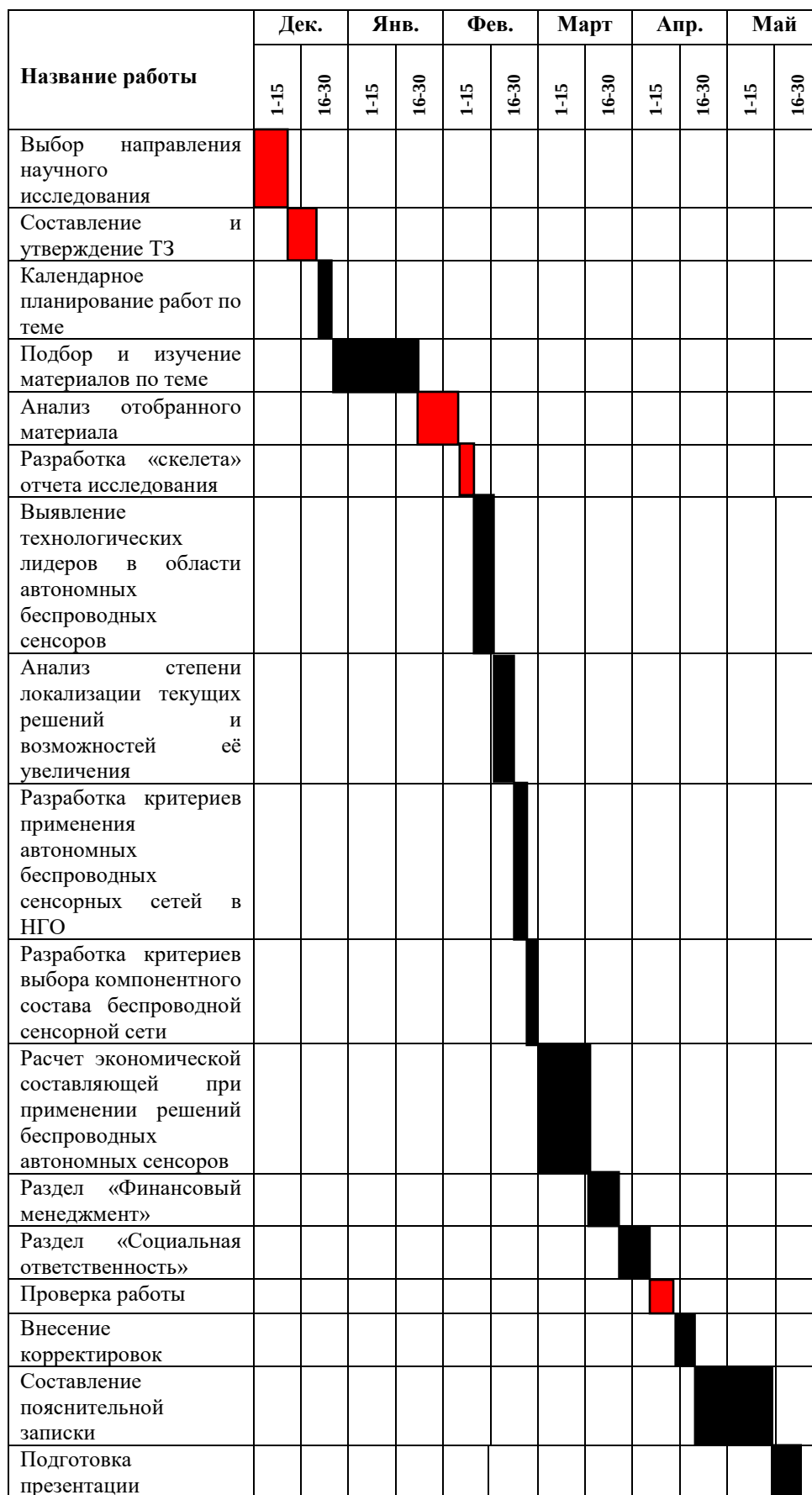


– индивидуальная работа студента.



– совместная работа студента и руководителя.

Таблица 34 – Диаграмма Ганта



Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

Бюджет научно-технического исследования должен быть основан на достоверном отображении всех видов расходов, связанных выполнением проекта.

В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НТИ;
- затраты на специальное оборудование для научных работ;
- заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).

Расчет материальных затрат НТИ

Для вычисления материальных затрат воспользуемся следующей формулой 11:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхi}, \quad (11)$$

где m – количество видов материальных ресурсов;

$N_{расхi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов;

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Для разработки данного научного проекта необходимы следующие материальные ресурсы: потребляемая электроэнергия и расходные материалы (канцелярские товары и печатная бумага).

Согласно диаграмме Ганта длительность работ составляет 178 дней, для расчёта потребляемой энергии примем, что в день для проведения исследования тратится около 8 часов работы за компьютером. Компьютер потребляет в среднем 60 Вт в час. Зная стоимость электроэнергии по городу Томск, можно рассчитать сумму, которую необходимо для этого потратить (таблица 35).

Основными средствами для проведения исследования являются: компьютер и программное обеспечение (MS Office) (таблица 36).

Таблица 35 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Кол-во	Цена (руб.)
Электроэнергия	кВт.	85,44	292,2
Ручка, блокнот для записей)	Шт.	1	15
Блокнот для записей	Шт.	1	100
Бумага для печати	Пачка	1	250
Итого (руб.)	657,2		

Поскольку предприятие предоставляет бесплатный доступ к разному виду программного обеспечения, в том числе к пакету Microsoft Office 2016, следовательно, затратами на основные средства является покупка ноутбука и стандартного пакета Microsoft Office.

Таблица 36 – Основные средства проведения исследования

Наименование	Единица измерения	Цена (руб.)
Ноутбук	Шт.	35000
Microsoft Office 2016 Home and Student RU	Шт.	~4000
Итого (руб.)	39000	

Основная заработная плата исполнителей темы

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИИ (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату (формула 12):

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп}, \quad (12)$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата;

$З_{доп}$ – дополнительная заработная плата (12-20 % от $З_{осн}$).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле 13:

$$З_{\text{дн}} = \frac{З_{\text{м}} \cdot М}{F_{\text{д}}} \quad (13)$$

где $З_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

$М$ – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня $М = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб. дней $М = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

при отпуске в 72 раб. дней $М = 9,6$.

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (таблица 37).

Таблица 37 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней	118	118
- выходные дни		
- праздничные дни		
Потери рабочего времени	48	72
- отпуск		
- невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	197	173

Месячный должностной оклад работника (формула 14):

$$З_{\text{м}} = З_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}}, \quad (14)$$

где $З_{\text{тс}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30 % от $З_{\text{тс}}$);

$k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15-20 % от $З_{\text{тс}}$);

$k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 38.

Таблица 38 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$З_{\text{тс}}$, руб.	$k_{\text{р}}$	$З_{\text{м}}$, руб.	$З_{\text{дн}}$, руб.	$T_{\text{р}}$, раб. дн.	$З_{\text{осн}}$, руб.
Руководитель	29300	1,3	55230,5	2301,2	28	64435,58
Студент	1692	1,3	2859,48	119,1	119	14178,26

Дополнительная заработная плата

Дополнительная заработная плата включает заработную плату за не отработанное рабочее время, но гарантированную действующим законодательством.

Расчет дополнительной заработной платы ведется по формуле 15:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}}, \quad (15)$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

$k_{\text{доп}}$ равен 0,12. Результаты по расчетам дополнительной заработной платы сведены в таблицу 39.

Таблица 39 – Затраты на дополнительную заработную плату

Исполнители	Основная зарплата (руб.)	Коэффициент дополнительной заработной платы ($k_{\text{доп}}$)	Дополнительная зарплата (руб.)
Руководитель	64435,58	0,12	7732,27
Студент	14178,26	0,12	1701,39
Итого:			9433,66

Отчисления на социальные нужды

Величина отчислений на социальные нужды определяется исходя из формулы 16:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}), \quad (16)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На 2017 г. в соответствии с Федеральным закона от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов, равный 30 %. На пенсионное страхование от суммы, выплаченной работникам, перечисляют 22 %; на медицинское страхование – 5,1 %; на соцстрахование, за счет которого в дальнейшем оплачиваются больничные и отпуска по беременности и родам, – 2,9 %.

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 40.

Таблица 40 – Отчисления на социальные нужды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель	64435,58	7732,27
Студент	14178,26	1701,39
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	30%	
Итого		
Руководитель	21650,36	
Студент	4763,89	
Сумма	26414,25	

Научные и производственные командировки

В эту статью включаются расходы по командировкам научного и производственного персонала, связанного с непосредственным выполнением конкретного проекта, величина которых принимается в размере 10% от основной и дополнительной заработной платы всего персонала, занятого на выполнение данной работы.

Таблица 41 – Научные и производственные командировки

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель	64435,58	7732,27
Студент	14178,26	1701,39
Коэффициент затрат на научные и производственные командировки	10%	
Итого		
Руководитель	7216,79	
Студент	1587,96	
Сумма	8804,75	

Накладные расходы

В эту статью включаются затраты на управление и хозяйственное обслуживание, которые могут быть отнесены непосредственно на конкретную тему. Кроме того, сюда относятся расходы по содержанию, эксплуатации и

ремонту оборудования, производственного инструмента и инвентаря, зданий, сооружений и др.

Накладные расходы составляют 16 % от суммы основной и дополнительной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнение темы.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле 17:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}), \quad (17)$$

где $k_{\text{накл}}$ – коэффициент накладных расходов.

Таблица 42 – Накладные расходы

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель	64435,58	7732,27
Студент	14178,26	1701,39
Коэффициент накладных расходов	16%	
Итого		
Руководитель	11546,86	
Студент	2540,74	
Суммарно	14087,6	

Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта. Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице Таблица 43.

Таблица 43 – Расчет бюджета затрат НТИ

Вид работ	Статья							
	Сырье, материалы (за вычетом возвратных отходов), покупные изделия и полуфабрикаты	Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Научные и производственные командировки	Накладные расходы	Итого плановая себестоимость
Написание магистерской	657,2 руб.	39000 руб.	64435,6 руб. + 14178,3 руб. = 78613,8 руб.	7732,27 руб. + 1701,39 руб. = 9433,66 руб.	21650,36 руб. + 4763,89 руб. = 26414,25 руб.	7216,79 руб. + 1587,96 руб. = 8804,75 руб.	11546,86 руб. + 2540,74 руб. = 14087,6 руб.	177011,30 руб.

Определение ресурсной, финансовой и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности. С помощью таблицы 44 определим интегральный показатель ресурсоэффективности.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется по формуле 18:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} \quad (18)$$

где: $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки; Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения; Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в том числе и аналогов).

$$I_{\text{финр}} = \frac{177011,3}{230000} = 0,77;$$

$$I_{\text{фина1}} = \frac{200000}{230000} = 0,87;$$

$$I_{\text{фина2}} = \frac{225000}{230000} = 0,98;$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом (формула 19):

$$I_{pi} = \sum_{i=1}^n a_i b_i, \quad (19)$$

где: I_{pi} – интегральный финансовый показатель разработки; a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки; b_i – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки.

Сравнительная оценка характеристик проекта представлена в таблице 44.

Таблица 44 – Сравнительная оценка характеристик

Критерии	Весовой коэффициент	Проект	Аналог1	Аналог2
Количество источников информации	0,08	4	4	4
Систематизация информации	0,15	5	5	5
Проведение исследования независимыми экспертами	0,2	5	4	4
Объем исследования	0,15	5	3	3
Актуальность исследования	0,15	5	3	4
Конкурентоспособность исследования	0,1	4	4	4
Уровень проникновения на рынок	0,07	3	3	3
Конечная стоимость исследования	0,1	4	4	5
Итого	1	4,6	3,8	4

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{\text{финр}}^p$) и аналога ($I_{\text{финаi}}^a$) определяется на основании интегрального

показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формулам 19, 20 соответственно:

$$I_{\text{финр}}^p = \frac{I_m^p}{I_{\text{финр}}^p}, \quad (20)$$

$$I_{\text{фин ай}}^{ai} = \frac{I_m^{ai}}{I_{\text{фин ай}}^{ai}}, \quad (21)$$

Все необходимы параметры для оценки ресурсоэффективности сведены и рассчитаны в таблице 45.

Таблица 45 – Сравнительная таблица показателей эффективности

№	Показатели	Разработка	Аналог 1	Аналог 2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,77	0,87	0,98
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,6	3,8	4
3	Интегральный показатель эффективности	5,97	4,37	4,08
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	1,37	1,46

Таким образом, основываясь на определении ресурсосберегающей, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования, проведя необходимый сравнительный анализ, можно сделать вывод об очевидном превосходстве разработки над аналогами 1 и 2. Такая разница обуславливается тем, что аналоги имеют ряд недостатков по сравнению с собственной разработкой.

Оценка абсолютной эффективности исследования

В основе проектного подхода к инвестиционной деятельности предприятия лежит принцип денежных потоков. Особенностью является его прогнозный и долгосрочный характер, поэтому в применяемом подходе к анализу учитываются фактор времени и фактор риска. Для оценки общей

экономической эффективности инноваций в качестве основных показателей рекомендуются считать:

- чистая текущая стоимость (NPV);
- срок окупаемости (D_{PP});
- внутренняя ставка доходности (IRR);
- индекс доходности (PI).

Расчет чистой текущей стоимости

Чистая текущая стоимость является абсолютным показателем. Условием экономичности инвестиционного проекта по данному показателю является выполнение следующего неравенства: $NPV > 0$.

Чем больше NPV , тем больше влияние инвестиционного проекта на экономический потенциал предприятия, реализующего данный проект, и на экономическую ценность этого предприятия.

Таким образом, инвестиционный проект считается выгодным, если NPV является положительной величиной. Расчет текущей стоимости по проекту показан в таблице 46.

Таблица 46 – Таблица денежных потоков

№	Показатель	Номер шага (t)				
		0	1	2	3	4
1	Выручка (без НДС), т.р.	0	126,120	126,120	126,120	126,120
2	Итого приток,	0	126,120	126,120	126,120	126,120
3	Инвестиционные издержки, тыс.руб	-177,011	0	0	0	0
4	Операционные затраты, тыс. руб, С+Ам+Фот	-177,011	29,429	29,429	29,429	29,429
5	Налогооблагаемая прибыль	177,011	96,7	96,7	96,7	96,7

Продолжение таблицы 46 – Таблица денежных потоков

№	Показатель	Номер шага (t)				
		0	1	2	3	4
6	Налоги, тыс. руб Налобл.приб*20%	35,402	19,33	19,33	19,33	19,33
7	Итого отток, тыс.руб Опер.затр+налоги	-177,011	48,76	48,76	48,76	48,76
	Чистая прибыль, т.р.	-177,011	47,9	47,9	47,9	47,9
	Амортизация, т.р.	0	-0,65	-0,65	-0,65	-0,65
8.	Чистый денежный поток, т.р. ЧДП=Пчист-Ам	-177,011	47,272	47,272	47,272	47,272
9.	Коэффициент дисконтирования (при i=20%)	1	0,985	0,970	0,955	0,941
10.	Дисконтированный чистый денежный поток, т.р.	-177,011	46,56	45,86	45,16	44,48
11.	Накопленный дисконтированный эффект за расчетный период, т.р.	-177,011	-130,45	-84,6	-39,4	5,05

Таким образом, чистая текущая стоимость по проекту – 5,05 тыс. рублей, что говорит о его эффективности.

Дисконтированный срок окупаемости

Одним из недостатков показателя простого срока окупаемости является игнорирование в процессе его расчета разной ценности денег во времени – этот недостаток можно устранить путем определения дисконтированного срока окупаемости.

Рассчитывается данный показатель примерно по той же методике, что и простой срок окупаемости, с той лишь разницей, что последний не учитывает фактор времени.

Наиболее приемлемым методом установления дисконтированного срока окупаемости является расчет кумулятивного (нарастающим итогом) денежного потока (таблица 47).

Таблица 47 – Дисконтированный срок окупаемости

№	Наименование показателя	Шаг расчета				
		0	1	2	3	4
1.	Дисконтированный чистый денежный поток ($i=0,20$)	-177,011	46,56	45,86	45,16	44,48
2.	Накопленный дисконтированный эффект	-177,011	-130,45	-84,6	-39,4	5,05
3.	Дисконтированный срок окупаемости	$PP_{дск} = 3 + 39,4/44,48 = 3,9$ месяца				

Внутренняя ставка доходности (IRR)

Для установления показателя чистой текущей стоимости (NPV) необходимо располагать информацией о ставке дисконтирования, определение которой является проблемой, поскольку зависит от оценки экспертов. Поэтому, чтобы уменьшить субъективизм в оценке эффективности инвестиций на практике широкое распространение получил метод, основанный на расчете внутренней ставки доходности (IRR).

Между чистой текущей стоимостью (NPV) и ставкой дисконтирования (i) существует обратная зависимость. Эта зависимость следует из таблицы 48 и графика, представленного на рисунке 19.

Таблица 48 – Зависимость NPV от ставки дисконтирования

№	Наименование показателя	0	1	2	3	4	
1	Чистые денежные потоки	-177,011	47,273	47,273	47,273	47,273	
2	Коэффициент дисконтирования						
	i=0,1	1	0,992	0,984	0,976	0,969	
	i=0,2	1	0,985	0,970	0,955	0,941	
	i=0,3	1	0,978	0,957	0,937	0,916	
	i=0,4	1	0,972	0,945	0,919	0,894	
	i=0,5	1	0,967	0,935	0,904	0,874	
	i=0,6	1	0,962	0,925	0,889	0,855	
	i=0,7	1	0,957	0,915	0,876	0,838	
	i=0,8	1	0,952	0,907	0,863	0,822	
	i=0,9	1	0,948	0,899	0,852	0,807	
	i=1	1	0,944	0,891	0,841	0,794	
3	Дисконтированный денежный поток, тыс. руб						NPV
	i=0,1	-177,011	46,899	46,528	46,160	45,795	7,168
	i=0,2	-177,011	46,560	45,858	45,167	44,486	5,031
	i=0,3	-177,011	46,251	45,250	44,272	43,314	3,105
	i=0,4	-177,011	45,966	44,695	43,459	42,257	1,356
	i=0,5	-177,011	45,702	44,184	42,716	41,297	-0,244
	i=0,6	-177,011	45,457	43,711	42,032	40,418	-1,716
	i=0,7	-177,011	45,228	43,272	41,400	39,609	-3,078
	i=0,8	-177,011	45,013	42,861	40,813	38,862	-4,343
	i=0,9	-177,011	44,811	42,477	40,265	38,168	-5,524
	i=1	-177,011	44,620	42,115	39,752	37,521	-6,630

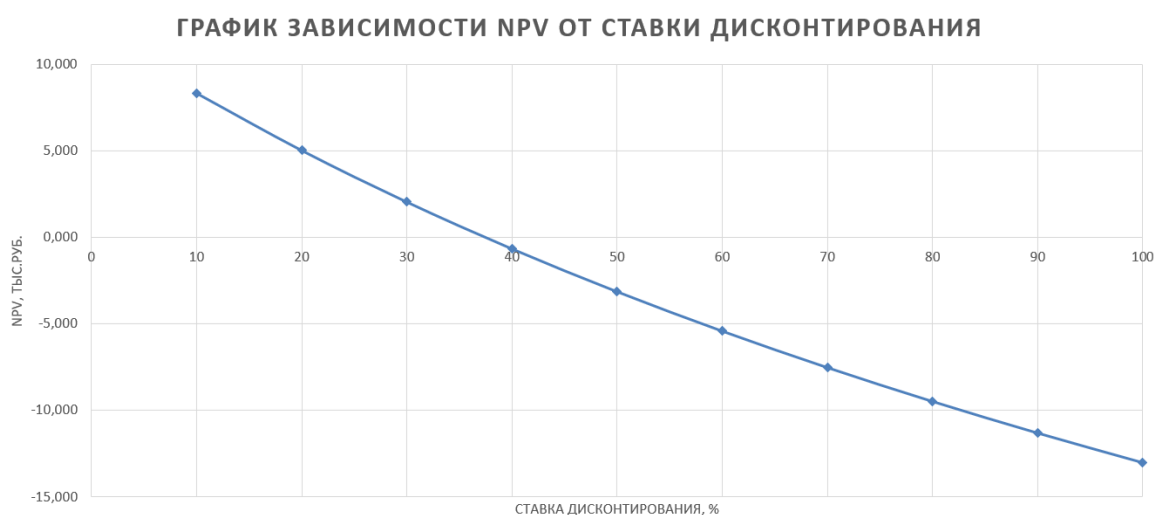


Рисунок 19 – Зависимость NPV от ставки дисконтирования

Из таблицы и графика следует, что по мере роста ставки дисконтирования чистая текущая стоимость уменьшается, становясь отрицательной. Значение ставки, при которой NPV обращается в нуль, носит название «внутренней ставки».

доходности» или «внутренней нормы прибыли». Из графика получаем, что IRR составляет **0,37**.

Индекс доходности (рентабельности) инвестиций

Индекс доходности показывает, сколько приходится дисконтированных денежных поступлений на рубль инвестиций.

Расчет этого показателя осуществляется по формуле 21:

$$PI = \sum_{i=1}^n \frac{ЧПД_t}{(1+i)^t} / I_0 \quad (22)$$

где I_0 – первоначальные инвестиции.

$$PI = \frac{46,56 + 45,86 + 45,16 + 44,48}{117,011} = 1,028$$

$PI=1,028>1$, следовательно, проект эффективен при $i=0,2$;

Социальная эффективность научного проекта учитывает социально-экономические последствия осуществления научного проекта для общества в целом или отдельных категорий населения, в том числе как непосредственные результаты проекта, так и «внешние» результаты в смежных секторах экономики: социальные, экологические и иные внеэкономические эффекты.

Таблица 49 – Критерии социальной эффективности

ДО	ПОСЛЕ
Применение кабельной продукции, лотков, эстакад в «классическом» методе автоматизации	Применение автономных беспроводных сенсоров позволить сократить не только операционные затраты, но и частично капитальные – не потребуется закупать лотки, строить эстакады. Помимо экономической эффективности это применение БСС, в теории, положительно влияет на экологическую составляющую – строительного мусора становится меньше (за счет исключения строительства эстакад и необходимости прокладки кабелей), количество потребляемой электроэнергии также значительно сокращается.
Классические методы проектирования	Проектирование автономной беспроводной сенсорной сети требует меньших трудозатрат, за счет этого снижается время монотонного труда проектировщика.

Заключение

В первом разделе проведенной работы были изучены открытые источники информации, периодические издания, нормативные документы, изучение и анализ которых подтверждают активное развитие области автономных беспроводных сенсорных сетей – это подтверждается большим количеством свежих публикаций, внедрением новых стандартов, а также уже представленными коммерческими решениями для различных областей. Также был произведен патентный поиск, отражающий заинтересованность к теме со стороны научного и исследовательского сообществ.

В рамках второй главы были рассмотрены автономные сенсорные сети в нефтегазовой области, были выявлены технологические лидеры, такие как Emerson, Endress+Hauser, Siemens, Schneider Electric, Honeywell, Yokogawa, а также российское объединение Бинар. Для проведения системного анализа была применена методика комплексной оценки, критериями которой стали – технические характеристики, локализация, опыт применения, а также их стоимость. Результатом системного анализа является ранжированный перечень технологических лидеров.

Была проведена оценка эффективности применения беспроводных сенсорных сетей по сравнению с проводными «классическими» методами, в рамках данной оценки было определено, что беспроводные сенсорные сети имеют преимущества по таким показателям, как энергопотребление, вес оборудования, выделяемое тепло, место в шкафу автоматизации, но присутствует значительный проигрыш по капитальным затратам.

В третьем разделе проведен анализ на выявление опасных и вредных факторов рабочего места специалиста, разработаны меры по снижению воздействия этих факторов на человека. Также рассмотрены вопросы пожарной безопасности и охраны окружающей среды.

В четвертом разделе освещены вопросы финансового менеджмента, ресурсоэффективности и ресурсосбережения. Приведен календарный план-

график работ выполнения ВКР, рассчитаны затраты на работу над темой, определены сильные и слабые стороны работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беспроводная сенсорная сеть // Википедия. [2017—2017]. Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/?oldid=89578162>, свободный (дата обращения: 14.04.2019).
2. Gartner Identifies Five Emerging Technology Trends That Will Blur the Lines Between Human and Machine [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2018-08-20-gartner-identifies-five-emerging-technology-trends-that-will-blur-the-lines-between-human-and-machine>, свободный (дата обращения: 14.04.19).
3. Ключевые события в области разработок компаний-поставщиков на базе передовых производственных технологий [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://assets.fea.ru/uploads/nti/Technet03.pdf>, свободный (дата обращения: 14.04.19).
4. Сквозные технологии НТИ. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.nti2035.ru/technology/>, свободный (дата обращения: 14.04.19).
5. ДГС ЭРИС-210, датчик-газоанализатор стационарный с модулем автономного питания. Руководство по эксплуатации. [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://eriskip.com/uploads/files/ru/1/135/210-versia-72-besprovodnoj-re.pdf>, свободный (дата обращения: 14.04.19).
6. ДГС ЭРИС-210, модем. Руководство по эксплуатации. [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://eriskip.com/uploads/files/ru/1/136/210md-modem-v10-re.pdf><http://eriskip.com/uploads/files/ru/1/135/210-versia-72-besprovodnoj-re.pdf>, свободный (дата обращения: 14.04.19).
7. Минпромторг и Росстандарт утвердили Перспективный план стандартизации НТИ в области передовых производственных технологий на 2018–2025 гг. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://technet-nti.ru/news/6861>, свободный (дата обращения: 14.04.19).
8. Введен в действие первый российский стандарт интернета вещей NB-Fi [Электронный ресурс]. Режим доступа:

<https://iot.ru/promyshlennost/vveden-v-deystvie-pervyy-rossiyskiy-standart-interneta-veshchey-nb-fi>, свободный (дата обращения: 14.04.19).

9. NB-Fi // Википедия. [2019—2019]. Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/?oldid=98169224>, свободный (дата обращения: 17.02.2019).

10. Информационно-поисковая система ФИПС. Режим доступа: <https://www1.fips.ru/elektronnye-servisy/informatsionno-poiskovaya-sistema/>, свободный (дата обращения: 14.04.19).

11. Цифровизация и интеллектуализация нефтегазовых месторождений. Режим доступа: http://www.ipng.ru/files/72af087e-fd28-4c55-8e7c-9190a9d4abdc-DmitrievskiyAN_Neftegaz_2016_2.pdf, свободный (дата обращения: 14.04.19).

12. Emerson Process Management. Краткий каталог технологий, продуктов и услуг [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://www.e-trd.ru/userfiles/File/files/94_Kratkij_katalog_produktov_tehnologij_i_uslug_ru\).pdf](http://www.e-trd.ru/userfiles/File/files/94_Kratkij_katalog_produktov_tehnologij_i_uslug_ru).pdf), свободный (дата обращения: 14.04.19).

13. Endress+Hauser. Решения WirelessHART. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.ru.endress.com/ru/reshenia-endress-hauser/Proektirovanie-setej/tehnologiya-fieldbus/technologia-wireless-hart>, свободный (дата обращения: 14.04.19).

14. Honeywell. Wireless Instrumentation. XYR6000. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.honeywellprocess.com/en-US/explore/products/instrumentation/Wireless-Instrumentation/XYR-6000/Pages/default.aspx>, свободный (дата обращения: 14.04.19).

15. Accutech. Автономные беспроводные устройства. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.se.com/ru/ru/product-range/61237-accutech/?subNodeId=12368181476ru_RU, свободный (дата обращения: 14.04.19).

16. БИНАР. Беспроводные сенсорные системы. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.binar.ru/data/objects/0/bss.pdf>, свободный (дата обращения: 14.04.19).

17. Yokogawa. Беспроводные контрольно-измерительные приборы. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://yoko.kip-postavka.ru/GS/Wireless_ISA100ru.pdf, свободный (дата обращения: 14.04.19).
18. Siemens. Increasing transparency and flexibility at the field level. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://w3app.siemens.com/mcms/infocenter/dokumentencenter/sc/pi/InfocenterLanguagePacks/WirelessHART/E20001-A960-P710-X-7600.pdf>, свободный (дата обращения: 14.04.19).
19. Постановление Правительства РФ от 12.10.2004 N 539 (ред. от 22.12.2018) "О порядке регистрации радиоэлектронных средств и высокочастотных устройств".
20. Сравнение дальности действия радиоканальных систем диапазонах 433 и 868 МГц, 2,4 ГГц [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.tinko.ru/articles/item/45/>, свободный (дата обращения: 29.04.19).
21. Использование диапазонов 433 и 868 МГц в системах промышленной телеметрии [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.russianelectronics.ru/leader-r/review/2187/doc/58633/>, свободный (дата обращения: 29.04.19).
22. Приложение № 12 к решению ГКРЧ от 11 сентября 2018 г. № 18-46-03-1 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://minsvyaz.ru/uploaded/files/prilozhenie-12-k-reshenyu-gkrch-18-46-03-1.pdf>, свободный (дата обращения: 29.04.19).
23. Магические 2.4 ГГц, [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://wmusers.ru/2011/06/29/magicheskie-2-4-ggc/>, свободный (дата обращения: 29.04.19)
24. МЕТОДЫ СРАВНИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА // А.М. Бершадский. Режим доступа: <http://window.edu.ru/resource/707/59707/files/stup418.pdf>, свободный (дата обращения: 14.03.19).

25. Базовая станция. Описание. БИНАР [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.binar.ru/data/objects/113/VN1225.300_RE_.pdf, свободный (дата обращения: 29.04.19).

26. Бражук Андрей. Построение беспроводных локальных сетей на основе ячеистой топологии [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://wireless-e.ru/articles/technologies/2006_4_24.php, свободный (дата обращения: 29.04.19).

27. Беспроводные решения [Электронный ресурс] // Сайт компании Yokogawa. Режим доступа: http://www.yokogawa.ru/products/kip/wireless_solutions/, свободный (дата обращения: 29.04.19)

28. Газета "Энергетика и промышленность России". № 15-16 (227-228) август 2013 года. Производство для энергетики [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.eprussia.ru/epr/227/15207.htm> свободный (дата обращения: 29.04.19)

29. Tim Bourke, ISA100.11a полностью отменяет необходимость в WirelessHART. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://variant-group.ru/news-item.php?p=7>, свободный (дата обращения: 29.04.19).

30. Правила определения страны происхождения товара [Электронный ресурс] // Сайт портала «Роскачество». Режим доступа: <https://roskachestvo.gov.ru/upload/iblock/5a5/%D0%9F%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%B8%D0%BB%D0%B0%20%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BF%D0%B5%D0%BD%D1%8C%20%D0%BB%D0%BE%D0%BA%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B7%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%B8.pdf>, свободный (дата обращения: 29.04.19).

31. Реальное замещение в приборостроении или завуалированный импорт [Электронный ресурс] // Сайт портала КИПиА ИНФО. Режим доступа: <http://www.kipia.info/publication/realnoe-importozameschenie-v-priborostroenii-ili-zavualirovannyiy-import/>, свободный (дата обращения: 29.04.19).

32. Обзор рынка электронных компонентов [Электронный ресурс] // Режим доступа: http://www.sovel.org/images/upload/ru/1285/Promo_Otchet_rynok_EK_2017.pdf, свободный (дата обращения: 02.05.19).
33. Анализ мирового рынка электронных компонентов [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-mirovogo-rynka-elektronnyh-komponentov>, свободный (дата обращения: 02.05.19).
34. Монтаж и эксплуатация электрических сетей [Электронный ресурс]. Прокладка кабелей при отрицательных температурах. Режим доступа: <https://elektro-montagnik.ru/?address=lectures/part3/&page=page5>, свободный (дата обращения: 02.05.19)
35. Трудовой кодекс Российской Федерации.
36. ГОСТ 12.2.032-78 «ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования»
37. ГОСТ 12.2.061-81 «ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности к рабочим местам»
38. СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений».
39. СН2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки».
40. СанПиН 2.2.4.1191-03 «Электромагнитные поля в производственных условиях».

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Раздел 1. Перечень рассмотренных в работе монографий, учебных пособий, книг

1. Никольский И.М. Суперкомпьютерное моделирование беспроводных сенсорных сетей большого масштаба // Прикладная математика и информатика. – 2018. – С. 69-76.
2. Мудихан Т.А. Мониторинг атмосферного воздуха с применением беспроводной сенсорной сети // Технические и математические науки. – 2018. – С. 46-51.
3. Герасимчук В. А. Автоматизация процессов предприятия [текст] / Герасимчук В. А. // Молодой ученый. — 2016 год. — №11. — С. 654-657.
4. В.Г. Мартынов, Н.А. Еремин [и др.] Скважинные сенсорные системы / А.Н. Дмитриевский, // Нефть. Газ. Новации. – 2016. – № 2. – С. 50–55.
5. А.Н. Дмитриевский, В.Г. Мартынов, Л.А. Абукова, Н.А. Еремин. Цифровизация и интеллектуализация нефтегазовых месторождений / А.Н. Дмитриевский, В.Г. Мартынов, Л.А. Абукова, Н.А. Еремин // Автоматизация и ИТ в нефтегазовой области. – 2016. – № 2 (24), апрель–июнь. – С. 13–19.
6. Дмитриевский А.Н., Еремин Н.А., Тихомиров Л.И. Настоящее и будущее интеллектуальных месторождений // Нефть. Газ. Новации. – 2015. – № 12. – С. 44–49.
7. Гаричев С.Н., Еремин Н.А. Технология управления в реальном времени: Учеб. пособие. В 2 ч./ Гаричев С.Н., Еремин Н.А.– М. : МФТИ. 2015 – Ч. 1. – 196 с.: ил. ISBN 978-5-7417-0563-6 (Ч. 1).
8. Гаричев С.Н., Еремин Н.А. Технология управления в реальном времени: Учеб. пособие. В 2 ч./ Гаричев С.Н., Еремин Н.А.– М. : МФТИ. 2015 – Ч. 2. – 304 с.: ил. ISBN 978-5-7417-0572-8 (Ч. 2).
9. Еремин Н.А., Дмитриевский А.Н.; Мартынов В.Г., Скопинцев С.П., Еремин Ал.Н. Скважинные сенсорные системы. // Нефть. Газ. Новации. 2016, № 2, с. 50-55

10. Еремин Н.А., Еремин Ал.Н., Еремин Ан.Н. Управление разработкой интеллектуальных месторождений: учеб. пособие для вузов. В 2-х кн. – Кн. 2. – М.: РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 2012. – 210 с.
11. Еремин Ал.Н., Еремин Н.А. Современное состояние и перспективы развития интеллектуальных скважин // Нефть. Газ. Новации. – 2015. – № 12. – С. 50–53.
12. Гаричев С.Н., Еремин Н.А. Технология управления в реальном времени. В 2 ч. – М.: МФТИ, 2015. – Ч. 1. – 196 с.
13. Кузьмин Ю.Б. Оценка уровня автоматизации предприятия // Нефтяное хозяйство. – 2009, №10. – С. 104- 107.
14. Ицкович Э.Л. Эволюция средств и систем автоматизации технологических процессов // Автоматизация в промышленности. 2009. С. С. 3-9.
15. Вишневский В.М. и др. Широкополосные беспроводные сети передачи информации, М.: Техносфера, 2005, 592 с.
16. А. А. Майоров, А. В. Матерухин Концептуальная модель информационно-измерительной системы на базе распределённых сетей интеллектуальных геосенсоров измерительная техника №5, 2018
17. Захаркин М.А., Кнеллер Д.В. Применение методов и средств усовершенствованного управления технологическими процессами (АРС)//Датчики и системы. 2010. № 10
18. Distefano S., Merlino G., Puliafito A. Sensing and actuation as a service: A new development for clouds // Proc. of the 11th Intern. Symp. on Network Computing and Applications, NCA'12; IEEE Computer Society, Washington, DC, USA, 2012. P. 272—275.

Раздел 2. Перечень рассмотренных нормативных документов

1. ГОСТ Р 56947-2016/ISO/IEC/IEEE 21450:2010 Информационные технологии (ИТ). Интерфейс интеллектуального преобразователя для датчиков и исполнительных устройств. Общие функции, протоколы взаимодействия и форматы электронной таблицы данных преобразователя (ЭТДП)].
2. ГОСТ 8.673-2009. Государственная система обеспечения единства измерений. Датчики интеллектуальные и системы измерительные интеллектуальные. Основные термины и определения. – Москва: Стандартинформ, 2010 – 12 с.
3. ГОСТ Р 8.734-2011. Государственная система обеспечения единства измерений. Датчики интеллектуальные и системы измерительные интеллектуальные. Методы метрологического самоконтроля. – Москва: Стандартинформ, 2012 – 20 с.
4. ГОСТ Р 8.825-2013. Государственная система обеспечения единства измерений. Датчики интеллектуальные и системы измерительные интеллектуальные. Методы ускоренных испытаний. – Москва: Стандартинформ, 2014 – 17 с
5. IEEE 802.15.4. Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs), 2003.
6. IEEE Std 802.15.4™-2015, IEEE Standard for Low-Rate Wireless Networks 2016, p. 708.
7. IEC 62591. Industrial communication networks - WirelessHart communication network and communication profile.
8. ГОСТ 8.673-2009. Государственная система обеспечения единства измерений. Датчики интеллектуальные и системы измерительные интеллектуальные. Основные термины и определения. – Москва: Стандартинформ, 2010 – 12 с.
9. ГОСТ Р 8.734-2011. Государственная система обеспечения единства измерений. Датчики интеллектуальные и системы измерительные

интеллектуальные. Методы метрологического самоконтроля. – Москва: Стандартинформ, 2012 – 20 с.

10. ГОСТ Р 8.825-2013. Государственная система обеспечения единства измерений. Датчики интеллектуальные и системы измерительные интеллектуальные. Методы ускоренных испытаний. – Москва: Стандартинформ, 2014 – 17 с.

11. IEEE 1451.1-1999 IEEE Standard for a Smart Transducer Interface for Sensors and Actuators- Network Capable Application Processor Information Model.

12. IEEE 1451.2-1997 IEEE Standard for a Smart Transducer Interface for Sensors and Actuators Transducer to Microprocessor Communication Protocols and Transducer Electronic Data Sheet (TEDS) Formats.

13. IEEE 1451.3-2003 IEEE Standard for a Smart Transducer Interface for Sensors and Actuators-Digital Communication and Transducer Electronic Data Sheet (TEDS) Formats for Distributed Multidrop Systems.

14. IEEE 1451.4-2004 Standard for a Smart Transducer Interface for Sensors and Actuators- Mixed-Mode Communication Protocols and Transducer Electronic Data Sheet (TEDS) Formats.

15. IEEE 1451.5-2007 Standard for a Smart Transducer Interface for Sensors and Actuators - Wireless Communication Protocols and Transducer Electronic Data Sheet (TEDS) Formats.

16. IEEE 1451.6 A High-speed CANopen-based Transducer Network Interface for Intrinsically Safe and Non-intrinsically Safe Applications (Proposed).

17. IEEE 1451.7: 2010. Smart transducer interface for sensors and actuators - transducers to radio frequency identification (RFID) systems communication protocols and transducer electronic data sheet formats.

18. ISO / IEC 29182-1-2013; Информационные технологии-сенсорные сети: Эталонная Архитектура сенсорной сети (SNRA) - Часть 1: Общий обзор и требования.

19. ISO / IEC 29182-2- 2013; Информационные технологии-сенсорные сети: Эталонная Архитектура сенсорной сети (SNRA) - Часть 2: словарный запас и терминология.

20. ISO / IEC 29182-3- 2014; Информационные технологии-сенсорные сети: Эталонная Архитектура сенсорной сети (SNRA – - Часть 3: виды эталонной архитектуры.

21. ISO / IEC 29182-4-2013; Информационные технологии-сенсорные сети: Эталонная Архитектура сенсорной сети (SNRA – - Часть 4: модели объектов.

22. ISO / IEC 29182-5-2013; Информационные технологии-сенсорные сети: Эталонная Архитектура сенсорной сети (SNRA – - Часть 5: определения интерфейсов.

23. ISO / IEC 29182-6-2014; Информационные технологии-сенсорные сети: Эталонная Архитектура сенсорной сети (SNRA) - Часть 6: профили приложений; Опубликовано (2014).

24. ISO / IEC 29182-7-2015; Информационные технологии-сенсорные сети: Эталонная Архитектура сенсорной сети (SNRA – - Часть 7: рекомендации по взаимодействию; Опубликовано (2015).

25. ISO/IEC 20005-2013; Information technology — Sensor networks — Services and interfaces supporting collaborative information processing in intelligent sensor networks.

26. ISO / IEC 30101-2014; Информационные технологии-сенсорные сети: сенсорная сеть и ее интерфейсы для системы Smart grid.

27. ISO / IEC 30128-2014 Информационные технологии-сенсорные сети. Общий интерфейс приложения сенсорной сети.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Приложение Б. Ранжирование (начало)

Критерии		Emerson			Honeywell			Schneider Electric			Yokogawa			Endress+Hauser			БИНАР			Siemens		
Критерий оценки	Вес (0..1)	Параметр	Оценка (0..10)	Итоговый балл	Параметр	Оценка (0..10)	Итоговый балл	Параметр	Оценка (0..10)	Итоговый балл	Параметр	Оценка (0..10)	Итоговый балл	Параметр	Оценка (0..10)	Итоговый балл	Параметр	Оценка (0..10)	Итоговый балл	Параметр	Оценка (0..10)	Итоговый балл
Поддерживаемые протоколы, интерфейсы (Modbus RTU, OPC, Modbus TCP/IP, EtherNet-IP)	0,2	5/5	10	2	3/5	6	1,2	5/5	10	2,00	1/5	2	0,40		10	2,00		2	0,40		2	0,40
Количество приборов на 1 шлюз	0,5	100	10	5	60	10	5	100	10	5,00	50	10	5,00	5/5	10	5,00	1/5	3	1,50	100	10	5,00
Дальность передачи данных на прямой видимости	0,5	200 м стандартное исполнение, 800 м приборы увеличенного радиуса	10	5	150 м датчик-датчик; 300 м шлюз-датчик	8	4	1000 м (при использовании стандартных встроенных антенн)	8	4,00	600 м датчик-датчик; 300 м шлюз - датчик	10	5,00		6	3,00	Удаленность датчика от модуля сбора и связи не более 100 м; удаленность от базовой станции до 1000 м	5	2,50		8	4,00
Требуется доп. Настройка маршрутов связи	0,2	нет	10	2	да	0	0	да	0	0,00	да	0	0,00	нет	10	2,00	да	0	0,00	нет	10	2,00
Температура окружающей среды шлюза	0,7	от -40 до +70 C	7	4,9	от -10 до +65 для станции управления; от -40 до +75 для точки доступа	8	5,6	от -40 до +85	6	4,20	от -40 до +60	7	4,90		2	1,40	от -50 до +50	9	6,30	от -40 до +60	7	4,90
Температура окружающей среды КИП	1	от -60 до +85 C	10,00	10	от -40 до +85	6	6	от -40 до +85	6	6,00	от -40 до +85	6	6,00	от -20 до +60	6	6,00	от -50 до +50	9	9,00	от -40 до +60	5	5,00
Подготовительные работы на местности	0,2	нет	10	2	да	0	0	да	0	0,00	да	0	0,00	нет	10	2,00	да	0	0,00	нет	10	2,00
Номенклатура приборов	1	P,T,L,F, датчик положения штока, газоанализатор, датчик вибрации, датчик коррозии, сигнализатор уровня, акустичкий датчик, HART-адаптер	10	10	P,T, Положение штока, HART-адаптер	6	6	P,T,F, Положение штока, HART-адаптер	5	5,00	P,T	3	3,00		2	2,00	P,T,L,F, Регистрация выноса твердых веществ, ретранслятор дискретных сигналов	4	4,00		4	4,00
ИТОГО:				40,9			27,8			26,20			24,30			23,40			23,70			27,30
РАНГ:				1			2			4			5			7			6			3

Вывод		
Ранг	Компании	Сумма
1	Emerson	40,9
2	Honeywell	27,8
3	Siemens	27,30
4	Schneider Electric	26,20
5	Yokogawa	24,30
6	БИНАР	23,70
7	Endress+Hauser	23,40

Приложение Б. Ранжирование (продолжение)

Критерии		Emerson			Honeywell			Schneider Electric			Yokogawa			Endress+Hauser			БИНАР			Siemens		
Критерий оценки	Вес (0..1)	Параметр	Оценка (0..10)	Итоговый балл	Параметр	Оценка (0..10)	Итоговый балл	Параметр	Оценка (0..10)	Итоговый балл	Параметр	Оценка (0..10)	Итоговый балл	Параметр	Оценка (0..10)	Итоговый балл	Параметр	Оценка (0..10)	Итоговый балл	Параметр	Оценка (0..10)	Итоговый балл
Наличие заводов в РФ/Использование элементов, производимых в РФ	1	Завод на базе "Метран" в Челябинске, производство сенсоров для датчиком температуры и давления	4	4	Наличие трех производственных предприятий, действующих в смежных областях	2	2	Наличие шести производственных предприятий, действующих в смежных областях	5	5,00	Осуществляется производство датчиков давления в г.Зеленоград	5	5,00	Отсутствуют	0	0,00	Корпус, дисплей, сенсор, антенна, сборка самого датчика производятся в РФ	10	10,00	Производство сенсоров для датчиков давления осуществляется в РФ	4	4,00
Наличие планов по локализации производства	0,5	5 июня 2018 промышленная группа "Метран" объявила о финансировании строительства второй очереди завода в Челябинске	10	5	Нет данных	0	0	Нет данных	0	0,00	Рассматривается возможность размещения производства в особой экономической зоне "Алабуга" (Татарстан)	2,5	1,25	Нет данных	0	0,00	Не требуется	10	5,00	Нет данных	0	0,00
ИТОГО:				9			2			5,00			6,25			0,00			15,00			4,00
РАНГ:				2			6			4			3			7			1			5

Ранг	Компания	Сумма
1	БИНАР	15,00
2	Emerson	9
3	Yokogawa	6,25
4	Schneider Electic	5,00
5	Siemens	4,00
6	Honeywell	2
7	Endress+Hauser	0,00

Приложение Б. Ранжирование (продолжение)

Критерии		Emerson			Honeywell			Schneider Electric			Yokogawa			Endress+Hauser			БИНАР			Siemens		
Критерий оценки	Вес (0..1)	Параметр	Оценка (0..10)	Итоговый балл	Параметр	Оценка (0..10)	Итоговый балл	Параметр	Оценка (0..10)	Итоговый балл	Параметр	Оценка (0..10)	Итоговый балл	Параметр	Оценка (0..10)	Итоговый балл	Параметр	Оценка (0..10)	Итоговый балл	Параметр	Оценка (0..10)	Итоговый балл
Имеется опыт применения (референс-лист)	1	Имеется	10	10	Имеется	5	5	Отсутствует	0	0,00	Имеется	5	5,00	Отсутствует	0	0,00	Имеется	10	10,00	Отсутствует	0	0,00
Наличие опыта применения на объектах НГД (РФ) с расширенным отзывом	0,75	Имеется	10	7,5	Отсутствует	0	0	Отсутствует	0	0,00	Отсутствует	0	0,00	Отсутствует	0	0,00	Имеется	8	6,00	Отсутствует	0	0,00
Опыт применения в сложных климатических условиях	1	Имеется	10	10	Отсутствует	0	0	Отсутствует	0	0,00	Отсутствует	0	0,00	Отсутствует	0	0,00	Имеется	10	10,00	Отсутствует	0	0,00
ИТОГО:				27,5			5			0,00			5,00			0,00			26,00			0,00
РАНГ:				1						*						*			2			

Ранг	Компания	Сумма
1	Emerson	27,50
2	БИНАР	26,00
3	Honeywell	5,00
3	Yokogawa	5,00
*	Siemens	0,00
*	Endress+Hauser	0
*	Schneider Electric	0,00

Приложение Б. Ранжирование (продолжение)

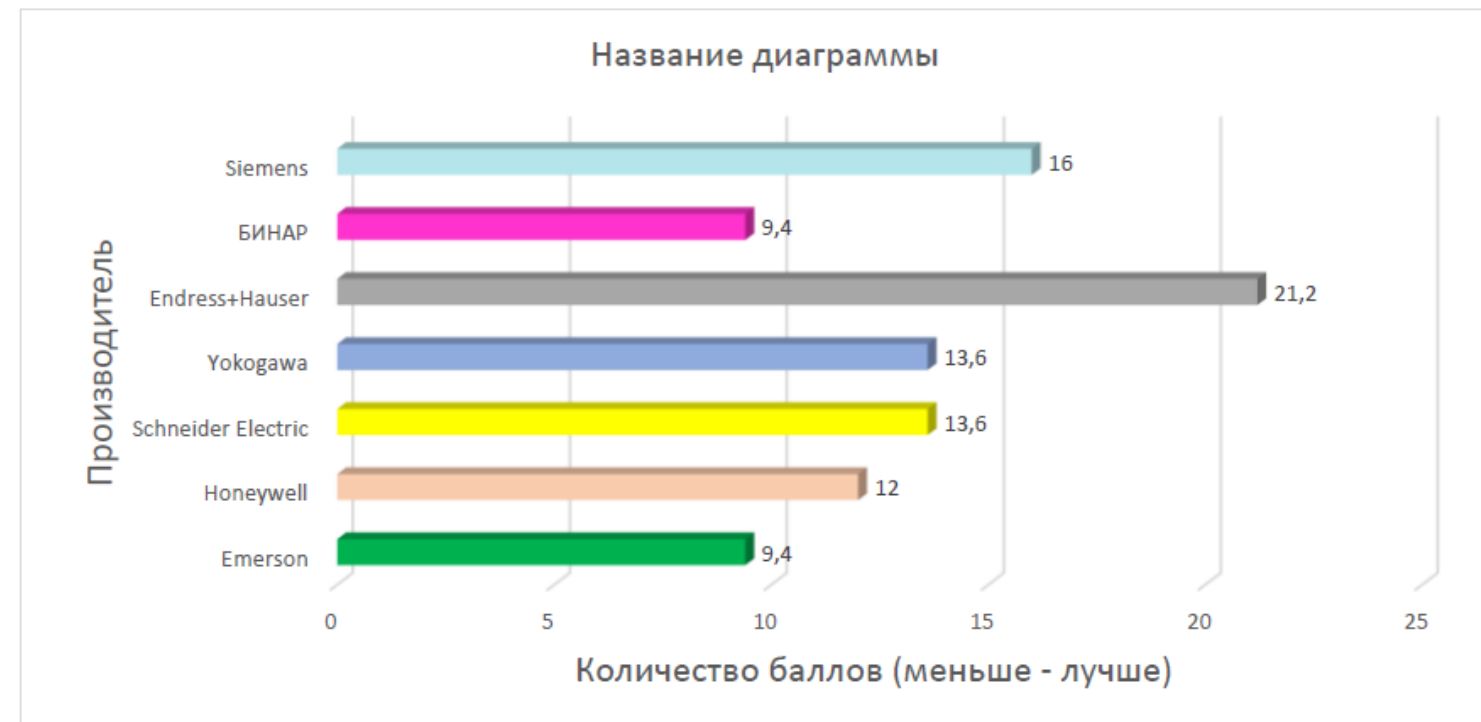
Критерии			Стоимость проводного аналога	Emerson				Honeywell				Schneider Electric				Yokogawa				Endress+Hauser				БИНАР				Siemens			
Критерий оценки	Вес (0..1)	Средняя		Стоимость	От средней	Оценка (0..10)	Итоговый балл	Стоимость	От средней	Оценка (0..10)	Итоговый балл	Стоимость	От средней	Оценка (0..10)	Итоговый балл	Стоимость	От средней	Оценка (0..10)	Итоговый балл	Стоимость	От средней	Оценка (0..10)	Итоговый балл	Стоимость	От средней	Оценка (0..10)	Итоговый балл	Стоимость	От средней	Оценка (0..10)	Итоговый балл
Стоимость датчика давления	1	176 974,29 Р	29 471,00 Р	375 659,00 Р	112,27%	0	0	90 048,00 Р	-49,12%	9,3	9,3	134 251,00 Р	-24,14%	6,8	6,80	200 062,00 Р	13,05%	3,1	3,10	158 178,00 Р	-10,62%	5,50	5,50	85 100,00 Р	-51,91%	9,60	9,60	195 522,00 Р	10,48%	3,4	3,40
Стоимость датчика температуры	1	171 525,14 Р	11 032,00 Р	296 021,00 Р	72,58%	0	0	80 802,00 Р	-52,89%	9,7	9,7	239 425,00 Р	39,59%	0,4	0,40	185 322,00 Р	8,04%	3,5	3,50	140 009,00 Р	-18,37%	6,20	6,20	76 300,00 Р	-55,52%	10,00	10,00	182 797,00 Р	6,57%	3,7	3,70
Стоимость уровнемера	0,5	246 547,17 Р	119 064,00 Р	593 472,00 Р	140,71%	0	0	178 466,00 Р	-27,61%	7,2	3,6	215 677,00 Р	-12,52%	5,7	2,85	126 636,00 Р	-48,64%	9,3	4,65	247 771,00 Р	0,50%	4,40	2,20	117 261,00 Р	-52,44%	9,60	4,80	246 547,17 Р	0,00%	4,4	2,20
Стоимость шлюза	1	499 677,14 Р	не требуется*	726 923,00 Р	45,48%	0	0	308 555,00 Р	-38,25%	8,5	8,5	355 994,00 Р	-28,76%	7,3	7,30	466 139,00 Р	-6,71%	5,1	5,10	668 547,00 Р	33,80%	1,00	1,00	273 847,00 Р	-45,20%	8,90	8,90	697 735,00 Р	39,64%	0,4	0,40
Итог		1 094 723,74 Р		1 992 075,00 Р	81,97%			657 871,00 Р	-39,91%			945 347,00 Р	-13,65%			978 159,00 Р	-10,65%			1 214 505,00 Р	10,94%			552 508,00 Р	-49,53%			1 322 601,17 Р	20,82%		
ИТОГО:							0				31,1				17,35				16,35				14,90				33,30				9,70
РАНГ:							7				2				3				4				5				1				6

Вывод по стоимости				
Ранг	Компания	Сумма	От средне	Балл
1	БИНАР	552 508,00 Р	-49,53%	33,30
2	Honeywell	657 871,00 Р	-39,91%	31,1
3	Schneider Electric	945 347,00 Р	-13,65%	17,35
4	Yokogawa	978 159,00 Р	-10,65%	16,35
5	Endress+Hauser	1 214 505,00 Р	10,94%	14,90
6	Siemens	1 322 601,17 Р	20,82%	9,70
7	Emerson	1 992 075,00 Р	81,97%	0

Выделенное желтым означает, что цена на оборудование не была предоставлена, и рассчитывалась как среднее значение по аналогам
* - проводное оборудование не требует наличие шлюза, однако для организации классической проводной АСУ ТП потребуются доп.эл-ты (модули ввода, искробезопасные измерительные преобразователи, клеммы проходные и т.д.)

Приложение Б. Ранжирование (конец)

Критерии		Emerson	Honeywell	Schneider Electric	Yokogawa	Endress+Hauser	БИНАР	Siemens
Критерий оценки	Вес (0..1)	Параметр	Параметр	Параметр	Параметр	Параметр	Параметр	Параметр
1. Технические характеристики	1	1	2	4	5	7	6	3
2. Локализация	1	2	6	4	3	7	1	5
3. Опыт применения	0,8	1	3	4	3	4	2	4
4. Стоимость	0,8	7	2	3	4	5	1	6
ИТОГО:		9,4	12	13,6	13,6	21,2	9,4	16
РАНГ:		1	2	3	3	5	1	4



ПРИЛОЖЕНИЕ В

Результаты патентного поиска

№	Дата публикации	МПК	Патент	Описание
1	10.03.2016	G01N 33/00 (2006.01) G08B 25/00 (2006.01)	RU 160 116 U1 УНИВЕРСАЛЬНАЯ ЦИФРОВАЯ ПЛАТФОРМА ДЛЯ ИНТЕГРАЦИИ ГАЗОВЫХ СЕНСОРОВ РАЗНОГО ТИПА	Полезная модель относится к области контроля параметров газовой среды и предназначено для автоматического контроля концентрации взрыво-, пожаро- и токсично-опасны газов в атмосфере жилых помещений, внутри и на территории промышленных объектов, а также в атмосфере горных выработок и выдачи как индивидуальной сигнализации при достижении измеряемым компонентом установленных пороговых значений концентраций, так и передачи данных по беспроводной сенсорной сети на диспетчерский пункт контроля.
2	26.02.2019	A63F 13/30 (2014.01) H04W 12/06 (2009.01) H04W 4/02 (2009.01)	RU 2 680 710 СИСТЕМА И СПОСОБ ИДЕНТИФИКАЦИИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ И АУТЕНТИФИКАЦИИ	Изобретение относится к области услуг, предоставляемых посредством сетей беспроводной связи, а именно аутентификации пользователя на основании его местоположения. Технический результат заключается в повышении точности определения местоположения и аутентификации устройства пользователя в системах предоставления доступа к цифровым услугам пользователям, находящимся на территории их предоставления. Для этого система содержит мобильное устройство пользователя, связанное с беспроводной сетью , откалиброванные сенсорные узлы, связанные с беспроводной сетью , и множество сенсоров, соединенных с сенсорными узлами по каналу беспроводной сети
3	10.11.2016	G01R 23/165 (2006.01)	RU 166 003 U1 БЕСПРОВОДНОЕ ИСПОЛНИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО	Беспроводное исполнительное устройство для противоаварийной автоматики и сигнализации, содержащее схему питания, микропроцессорную систему управления с подключенными к ней выходными реле, память, приемопередатчик и выходы коммутации, отличающееся тем, что в качестве приемопередатчика используется ZigBee модем, работающий на частоте 2.4 ГГц. Беспроводное исполнительное устройство по пункту 1, отличающееся тем, что оно функционирует в составе беспроводной сенсорной сети для мониторинга горючих газов
4	24.04.2019	B61L 15/00 (2006.01)	RU 2 686 262 C1 СИСТЕМА И СПОСОБ ФОРМИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО СОСТАВА И УПРАВЛЕНИЯ ИМ	Изобретение относится к области железнодорожной автоматики и телемеханики для управления железнодорожными составами, их составления, роспуска и валидации, а также для отслеживания железнодорожных вагонов в депо. Система содержит один или более приводной беспроводной шлюз, установленный в депо; и один или более блок управления связью, установленный на железнодорожном вагоне; при этом приводные беспроводные шлюзы и блоки управления связью образуют сеть депо; вычислительное устройство, имеет доступ к указанной сети депо, а на вычислительном устройстве установлено программное обеспечение, выполняющее функции: получения данных с указанных блоков управления связью, установленных на железнодорожных вагонах, в отношении происходящих событий или состояний железнодорожных вагонов, на которых установлены указанные блоки; построения логических выводов по указанным данным в отношении состояния указанных железнодорожных вагонов; предоставление отчетов по указанным логическим выводам, логическим выводам присваиваются уровни доверительной вероятности, исходя из способов и имеющихся в наличии данных, используемых для построения логических выводов
5	07.06.2017	H04W 52/14 (2009.01)	RU 2 621 690 C2 УСТРОЙСТВО И СПОСОБ ПРИМЕНЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ СПЕКТРАЛЬНЫХ МАСОК ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ В СУБ-ГИГАГЕРЦОВЫХ ДИАПАЗОНАХ	Изобретение относится к беспроводной связи. Техническим результатом является предотвращение взаимных помех между беспроводными сигналами, передаваемыми на разных частотах для уменьшения помех в системе, и увеличение ширины полосы, в которой сигналы могут быть переданы
6	03.04.2017	H02J 13/00 (2006.01)	RU 169 776 U1 Узел сенсорной сети мониторинга тока и напряжения	Полезная модель относится к неинвазивным устройствам мониторинга потребления электроэнергии в трехфазных четырехпроводных электросетях переменного тока, предназначенным для использования в составе сенсорных сетей . Технический результат заключается в расширении арсенала технических средств мониторинга тока и напряжения, используемых в качестве узлов сенсорной сети , а именно в обеспечении гибкости развертывания сенсорной сети с учетом конструктивных особенностей зданий и сооружений, адаптации ее для использования в России, упрощении ее конструкции.
7	17.05.2019	H04W 16/14 (2009.01)	RU 2 687 953 C2	Изобретение относится к радиосвязи. Описываются методы для использования защитной полосы для беспроводной передачи данных. Свободные пространства в радиоспектре (например, телевизионные (ТВ) свободные пространства) и защитные полосы

			ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗАЩИТНОЙ ПОЛОСЫ ДЛЯ БЕСПРОВОДНОЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ	между лицензируемыми полосами радиоспектра эффективно используются для передачи данных. Технический результат заключается в обеспечении возможности эффективно использовать свободные пространства и защитные полосы для беспроводной передачи данных на основе доступных свободных пространств и развертывания служб в лицензируемых полосах
8	28.12.2017	H04W 40/02 (2009.01)	RU 2 640 349 C1 СПОСОБ МАРШРУТИЗАЦИИ В БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЯХ ZIGBEE	изобретение относится к области беспроводной связи и может быть использовано в беспроводных сенсорных сетях ZigBee. Технический результат состоит в повышении точности маршрутизации при двуадресных пакетах, содержащих адрес начального отправителя и конечного получателя. Для этого функции портов, соединяющих маршрутизаторы в проводных сетях, в сетях ZigBee выполняют временные слоты, в течение которых осуществляется связь между маршрутизаторами сети. Временные слоты суперфреймной структуры ZigBee как бы выполняют функции портов, через которые осуществляется связь между маршрутизаторами в сети ZigBee. Перед передачей маячка в выходном буфере каждого маршрутизатора формируется суперфрейм в виде набора ячеек памяти. В каждой из ячеек, за которыми закреплены соответствующие маршрутизаторам слоты, размещаются пакеты, получаемые от маршрутизаторов для последующей передачи. Каждый маршрутизатор независимо от других периодически по сигналу таймера рассылает широкополосно суперфреймы, ограниченные маячками.
9	22.02.2019	G05B 19/048 (2006.01)	RU 2017 129 382 A МАСШТАБИРУЕМАЯ СИСТЕМА И СПОСОБЫ ДЛЯ МОНИТОРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ САНИТАРНОЙ УСТАНОВКОЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ПОДКЛЮЧЕННЫХ УСТРОЙСТВ	Масштабируемая система бытовой автоматизации, предназначенная для мониторинга, управления и контроля санитарной установки и элементов, которые содержит упомянутая санитарная установка, при помощи одного или нескольких подключенных устройств, которые поддерживают связь друг с другом по сети системы, причем упомянутая сеть системы, выполнена с возможностью физического разделения на несколько подсетей: - беспроводную, такую как Zigbee, WI-FI, 6LoWPAN и т.д.; - проводную, такую как Ethernet, HomePlug и т.д.; - мобильную, такую как GPRS, UMTS, LTE и т.д.
10	21.09.2016	H04W 84/18 (2009.01)	RU 2 679 576 C1 ПЕРЕДАЧА ДАННЫХ В СЕТИ С ЯЧЕЙСТОЙ ТОПОЛОГИЕЙ	Изобретение относится к модулю беспроводной связи. Технический результат – образование ячеистого подхода для связи между модулями в сети с разделением по времени. Для этого модуль беспроводной связи содержит интерфейс беспроводной связи, выполненный с возможностью работы в разное время в качестве главного устройства и в качестве подчиненного устройства в отдельных взаимоотношениях связи с использованием одного и того же протокола связи. Указанный интерфейс также выполнен с возможностью переключения между режимом главного устройства и режимом подчиненного устройства
11	25.12.2017	H04W 8/00 (2009.01) H04W 76/02 (2009.01) H04W 84/18 (2009.01) H04L 29/12 (2006.01)	RU 2 639 945 C2 НАЗНАЧЕНИЕ ЛОКАЛЬНОГО ИДЕНТИФИКАТОРА УСТРОЙСТВА ПРИ СВЯЗИ ОТ УСТРОЙСТВА К УСТРОЙСТВУ, ОСУЩЕСТВЛЯЕМОЙ ПРИ СОДЕЙСТВИИ СЕТИ	Изобретение относится к содействию связи от устройства к устройству. Технический результат – устранение громоздкости назначения маяковых сигналов в сети и передача информации о их назначении в устройства ввиду увеличения возможного количества устройств. Для этого принимают от первого устройства беспроводной связи один или более первый глобальный идентификатор устройства, соотнесенный с первым устройством беспроводной связи, и назначают один или более первый локальный идентификатор устройства первому устройству беспроводной связи на основе принятых глобальных идентификаторов устройства; сохраняют, в соотнесении с сетевым узлом, отображения между каждым принятым одним или более первым глобальным идентификатором устройства и каждым назначенным одним или более первым локальным идентификатором устройства; передают информацию, указывающую назначенный один или более первых локальных идентификаторов устройства и как передавать маяковый сигнал, в первое устройство беспроводной связи и передают информацию об указании об одном из назначенного одного или более первых локальных идентификаторов устройства в первую группу из одного или более других устройств беспроводной связи.
12	14.08.2017	H04W 84/18 (2009.01) A61B 5/04 (2006.01)	RU 2 628 055 C2 СПОСОБ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО КАНАЛА ДЛЯ ДОСТИЖЕНИЯ БЫСТРОГО И ЭФФЕКТИВНОГО ПО МОЩНОСТИ	Группа изобретений относится к области медицины. Для беспроводной передачи данных пациента используют одно или более устройств MBAN, которые осуществляют передачу данных пациента на устройство концентратора посредством беспроводной связи ближнего действия, при этом передача данных пациента посредством беспроводной связи ближнего действия производится внутри предварительно определенного спектра. Устройство концентратора принимает данные пациента, передаваемые от упомянутых одного или более устройств MBAN, и осуществляет связь с центральной станцией наблюдения посредством связи более дальнего действия. Упомянутые одно или более устройств MBAN передают запрос присоединения в устройство концентратора по одному или более вспомогательным каналам, чтобы присоединять каждое устройство MBAN к системе MBAN, при этом вспомогательные каналы находятся вне предварительно определенного спектра. Группа изобретений позволяет

			ПРИСОЕДИНЕНИЯ В БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЯХ	осуществить быстрое и эффективное по мощности присоединение к беспроводным сетям, устранить вероятность потери критических медицинских данных, улучшить эффективность, безопасность и результат медико-санитарных работ.
13	24.04.2017	G08C 15/06 (2006.01) H04W 84/18 (2009.01) H04L 1/20 (2006.01)	RU 2 617 324 C2 ОБНАРУЖЕНИЕ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ В СЕТИ АКТИВНЫХ ДАТЧИКОВ	Изобретение относится к сети активных датчиков в системе управления. Технический результат – избежание интерференции между датчиками. Для этого активные датчики, которые могут представлять собой датчики фиксированной инфраструктуры, обеспечивают информацию об обнаружении присутствия распределенной осветительной системе. Активные датчики осуществляют связь посредством передачи зондовых сигналов. Передача зондовых сигналов может вести к перекрестной интерференции, которая может варьировать во времени. Перекрестную интерференцию обнаруживают, и ее впоследствии можно избегать, посредством определения разности между сигналами, принимаемыми в первой части временного интервала, и сигналами, принимаемыми во второй части временного интервала. Для этого зондовые сигналы, содержащие два ненулевых импульса, передают в соответствующих частях временного интервала. Применения представляют собой, например, активные датчики присутствия, применяемые в управлении освещением в условиях помещения, а также вне помещения.
14	09.04.2018	H04W 40/00 (2009.01) H04W 40/24 (2009.01)	RU 2016 139 222 A СПОСОБ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ДОСТУПА К БЕСПРОВОДНОЙ СЕТИ	Способ доступа к беспроводной сети, применяемый в мобильном устройстве и включающий: прием первого ширококвещательного сообщения, переданного WIFI-устройством, которому требуется доступ к беспроводной сети; формирование информации уведомления согласно первому ширококвещательному сообщению, при этом информация уведомления сконфигурирована для уведомления пользователя о том, что WIFI-устройство запрашивает доступ к беспроводной сети; и когда обнаружена информация обратной связи, введенная пользователем согласно информации уведомления, передачу сообщения-запроса в беспроводной маршрутизатор, при этом сообщение-запрос сконфигурировано для инструктирования беспроводного маршрутизатора выполнить ширококвещательную передачу второго ширококвещательного сообщения, содержащего заранее заданную информацию о доступе, с использованием заранее заданного частотного диапазона передачи, с использованием всех одновременно поддерживаемых им рабочих частотных диапазонов.
15	27.11.2017	H04L 29/08 (2006.01)	RU 2 636 696 C2 ПОТОЧНЫЕ КОМПЬЮТЕРЫ, ОСНАЩЕННЫЕ БЕСПРОВОДНЫМИ ИНТЕРФЕЙСАМИ КОММУНИКАЦИОННЫХ ПРОТОКОЛОВ, И СВЯЗАННЫЕ С НИМИ СПОСОБЫ	Изобретение относится к поточным компьютерам. Технический результат – уменьшение времени взаимодействия периферийных устройств с поточным компьютером. Для этого получают запрос, отправленный на беспроводное устройство, приложением периферийного устройства, выполненным на процессоре поточного компьютера, и передают запрос беспроводному устройству через модуль коммуникационного интерфейса, связанный с процессором через системную плату, расположенную внутри корпуса поточного компьютера, которая взаимодействует с помощью протокола высокоскоростной шины данных путем подготовки, с помощью модуля коммуникационного интерфейса, информации, соответствующей запросу, согласно беспроводному коммуникационному протоколу, реализуемому сетью беспроводных устройств.
16	25.01.2017	G05B 19/042 (2006.01)	RU 2015 128 013 A СИСТЕМА И СПОСОБ НАСТРОЙКИ ПОЛЕВОГО УСТРОЙСТВА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ	Система управления для управления состоянием технологического процесса, содержащая: полевое устройство, подключенное к процессу и предназначенное для регулирования состояния процесса; датчик, подключенный к процессу и предназначенный для отслеживания процесса на предмет появления триггерного события, связанного с состоянием процесса; беспроводный адаптер, функционально подключенный к полемому устройству; удаленное устройство, подключенное к беспроводной сети связи и способное хранить один или более программных модулей; мобильное вычислительное устройство, содержащее процессор, запоминающее устройство, модуль беспроводной сети связи и модуль прямой беспроводной связи, причем модуль беспроводной сети связи подключается к процессору и позволяет осуществлять беспроводную связь между мобильным вычислительным устройством и удаленным устройством, а модуль прямой беспроводной связи подключается к процессору и позволяет осуществлять прямую беспроводную связь между мобильным вычислительным устройством и беспроводным адаптером; и программный модуль, получаемый от удаленного устройства по беспроводной сети связи, причем программный модуль при выполнении на процессоре позволяет мобильному вычислительному устройству осуществлять настройку полевого устройства с помощью модуля прямой беспроводной связи.
17	17.04.2017	H04L 29/02 (2006.01)	RU 2015 137 969 A СПОСОБ ОГРАНИЧЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КАНАЛОВ	Способ формирования схемы смены каналов для первой системы беспроводной связи, испытывающей помехи в одном или более каналах от второй системы беспроводной связи, включающий: идентификацию каналов, используемых в первой системе беспроводной связи и перекрывающихся с каналами во второй системе беспроводной связи; выбор идентифицированных каналов в качестве каналов ограниченного использования; и создание схемы смены каналов для первой системы связи, использующей каналы ограниченного использования, но с уменьшением частоты, с которой указанные каналы ограниченного использования появляются в схеме смены каналов.
18	28.04.2017	G05B 19/418 (2006.01)	RU 2016 109 005 A	Настоящее изобретение относится к области полевых устройств для промышленных технологических процессов. Полевое устройство содержит первый технологический датчик, беспроводной приемопередатчик и процессор. Первый технологический

			СПОСОБ ОПТИМИЗАЦИИ ПОТРЕБЛЯЕМЫХ РЕСУРСОВ В ПОЛЕВОМ УСТРОЙСТВЕ	датчик выполнен с возможностью измерения регистрации первого технологического параметра. Беспроводной приемопередатчик выполнен с возможностью беспроводной связи с диспетчером сети . Процессор выполнен с возможностью обработки зарегистрированного первого технологического параметра и управления беспроводным приемопередатчиком и первым технологическим датчиком для выполнения первой ресурсоемкой операции в соответствии с первым установленным при вводе в эксплуатацию адаптивным расписанием, при этом частота выполнения ресурсоемкой операции изменяется во времени и/или на основании зарегистрированных событий. Первая ресурсоемкая операция представляет собой операцию с повышенным энергопотреблением. В результате минимизируется уровень потерь пакетов и простоев сети , предотвращается необоснованный расход энергии.
--	--	--	--	--

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Референс-листы компаний-технологических лидеров.

Таблица 1 – Примеры внедрений Accutech

№	Проект	Компания-конечный заказчик	Страна	Применение	Тип Accutech	Год
1	Система мониторинга нефтяных скважин	Petroleos Mexicason (PEMEX)	Мексика	Измерение давления, температуры, и расхода добываемой нефти на кустах скважин, дистанционная передача в Scada Систему	BR20, RT10, AP10, DP20, GP10	2010
2	Система безопасности добычи нефти	BP Carson	США	Обнаружение утечек в технологическом оборудовании (насосы, компрессоры, трубопроводы и т.п.) путем мониторинга давления	BP20, GP10, AI10, AV10	2011
3	Система мониторинга подземных сетей газораспределения	NSTAR	США	Измерение давления на распределяющих газопроводах	BP20, GP10	2010
4	Система мониторинга резервуаров нефтепродуктов	ConocoPhillips	Канада	Измерение уровня и давления в резервуарах нефтепродуктов и удаленная передача сигнала	BP10, BP20, GP10, GL10, SL10	2012
5	Система удаленного мониторинга резервуаров	BP	США	Измерение уровня и давления в резервуарах нефтепродуктов и удаленная передача сигнала	BP20, GP10, GL10, SL10	2013

Продолжение таблицы 1 – Примеры внедрений Accutech

№	Проект	Компания-конечный заказчик	Страна	Применение	Тип Accutech	Год
6	Система удаленного мониторинга трубопроводов, сепараторов и резервуаров	XTO Energy	США	Измерение давления на трубопроводе, температуры/давления на сепараторах, уровня в резервуарах	BP10, BP20, GP10, GL10, SL10, RT10, DP20	2013
7	Система удаленного мониторинга буровых скважин и резервуарного парка	Encana	Канада	Измерения давления на устьевых головках буровых скважин, уровень на резервуарах	BP20, GP10, GL10, SL10,	2013
8	Система удаленного мониторинга скважин и резервуаров	Occidental Petroleum corporation	Канада	Измерения давления в обсадных и насосно-компрессорных трубах, уровня в резервуарах	BP20, GP10, GL10, SL10,	2013

Таблица 2 – Поставка оборудования компанией Honeywell в пределах РФ

№	Наименование производства	Мероприятие	Оборудование
1	ООО «Газпром ПХГ» Щелковское ПХГ	Опытно-промышленная эксплуатация	Давление, температура
2	ООО «Лукойл – Волгоград нефтепереработка»	Опытно-промышленная эксплуатация	Давление, температура
3	Нягань-Роснефть	Поставка оборудования	Давление
4	Елховское НПУ	Поставка оборудования	Давление, температура

Продолжение таблицы 2 – Поставка оборудования компанией Honeywell в пределах РФ

№	Наименование производства	Мероприятие	Оборудование
5	ОАО "Газпром автоматизация"	Поставка оборудования для стенда	Давление, перепад давления, Температура, положение клапана
6	Нягань-Роснефть	Поставка оборудования	Давление
7	ООО «НПК «Волга-Автоматика»	Поставка оборудования	Давление, HART-адаптеры

2018 Global OneWireless Installed Base

Country	Count of systems	Country	Count of systems
Argentina	88	Malaysia	40
Australia	306	Mexico	15
Bahrain	1	Mongolia	2
Belgium	45	Netherlands	38
Brazil	18	New Zealand	27
Bulgaria	2	Nigeria	6
Canada	144	Norway	23
Chile	61	Oman	1
China	107	Peru	11
Colombia	25	Portugal	9
Costa Rica	9	Puerto Rico	3
Croatia	5	Qatar	17
Denmark	6	Romania	40
Ecuador	18	Russian Federation	8
Finland	16	Saudi Arabia	144
France	17	Singapore	45
Germany	11	Slovakia	2
Greece	28	South Africa	8
Guinea	4	Spain	55
Hong Kong	16	Suriname	12
Hungary	9	Sweden	30
India	397	Switzerland	2
Indonesia	6	Thailand	13
Iraq	4	Trinidad and Tobago	2
Ireland	4	Turkey	62
Italy	33	Ukraine	3
Jamaica	17	United Arab Emirates	46
Japan	10	United Kingdom	59
Korea South	40	United States	2178
Kuwait	7	Unspecified	222
		Grand Total	4577

Рисунок 1 – Количество поставленных систем Honeywell в разные страны

Таблица 3 – Референс-лист «Объединение БИНАР»

№	Наименование объекта	Ретранслятор	Оборудование
1	Кущёвское УПХГ ООО «Газпром ПХГ»	97	470
2	Краснодарское УПХГ «Газпром ПХГ»	17	43
3	УКПГ-14 ГПУ ООО «Газпром добыча Оренбург»	8	24
4	Ставропольское УПХГ «Газпром ПХГ»	5	19
5	Московское УПХГ ООО «Газпром ПХГ»	3	9
6	Медвежинское ГПУ ООО «Газпром добыча Надым»	22	28
7	Вергунская СПХГ УМГ «Донбастрансгаз»	182	408
8	Челябинское ЛПУ МГ «Газпром трансгаз»	4	6
9	Вынгайхинский ГП «Газпром добыча Ноябрьск»	1	2
10	ООО «Газпромнефть-Хантос»	8	55
11	ООО «Пургаз»	36	36
12	ООО «РН-Краснодарнефтегаз»	29	57
13	ООО «РН-Юганскнефтегаз»	11	68
14	ОАО «Сургутнефтегаз»	7	8
15	ОАО «Самаранефтегаз»	4	4
16	ПАО «Татнефть»	4	6
17	ОАО «Тюменьнефтегаз»	10	-

Таблица 4 – Референс-лист компании Emerson в России

Организация	Год	Проект	Тип оборудования
ПАО «Оренбургнефть»	2009 - 2018	Телемеханизация скважин	Датчики давления 3051S, 2051 ~1000 шт; Шлюзы 1420 ~300 шт.
ОАО «Томскгазпром»	2012, 2018	Автоматизация новых газовых и нефтяных скважин	Датчики давления 3051S, WPG ~700 шт; Датчики температуры 648 ~40 шт; Шлюзы 1420 ~25 шт.
ООО «Лукойл-Коми», ТПП «Севернефтегаз»	2010	Модернизация (автоматизация) скважин	Датчики давления 3051S, WPG ~450 шт; Датчики температуры 648 ~30 шт; Шлюзы 1420 ~100 шт.

Продолжение таблицы 4 – Референс-лист компании Emerson в России

Организация	Год	Проект	Тип оборудования
АО «РН-Няганьнефтегаз»	2010-2017	Телемеханизация скважин	Датчики давления 3051S, 2051 Шлюзы 1420 Всего – 400 шт.
ПАО «Газпром нефть» Уральский кластер (Мессояханефтегаз, Ноябрьскнефтегаз, Новый Порт, Ямал, Хантос)	2010-2018	Автоматизация кустов скважин и площадных объектов	Датчики давления 3051S, 2051 Шлюзы 1410, 1420 Всего – 300 шт.
ООО «Лукойл-Коми» ТПП «Усинскнефтегаз»	2017-2019	Измерение расхода пара на месторождениях высоковязкой нефти	Многопараметрический преобразователь 3051 SMV ~70 шт; Датчики температуры 648 ~70 шт; Вычислитель расхода Floboss 107 с интерфейсом WirelessHART ~20 шт.
ООО «НОВАТЭК – Таркосаленнефтегаз»	2016-2018	Автоматизация кустов скважин	Датчики давления 3051S Шлюзы 1410, 1420 Всего – 50 шт.
ООО «Газпромнефть-Восток»	2019	Телемеханизация скважин	Датчики давления 3051S, WPG ~35 шт; Шлюзы 1420 ~1 шт.
ООО «РН-Уватнефтегаз»		Автоматизация мобильной УПСВ	Датчики давления 3051S, WPG ~19 шт; Датчики температуры 648 ~9 шт; Шлюзы 1420 ~3 шт.
«Озенмунайгаз», Казахстан		мониторинг системы ППД	Расходомеры 3051 SFC; Датчики давления 3051S.

Таблица 5 – Референс-лист компании Emerson в добыче по миру

Организация	Тип оборудования
Tatweer Petroleum	Датчики давления, температуры. Шлюз, повторитель. Оборудование установлено на 535 скважинах.
Occidental Petroleum	Датчики давления, температуры, расхода. Шлюз, повторитель. Оборудование установлено на 520 скважинах.
ADNOC Offshore	Датчики давления, температуры. Шлюз. Оборудование установлено на 80 скважинах.
BP	Датчики давления, температуры. Шлюз, повторитель. Оборудование установлено на 700 скважинах.

Продолжение таблицы 5 – Референс-лист компании Emerson в добыче по миру

Организация	Тип оборудования
Еххон	Датчики давления, температуры. Шлюз, повторитель. Оборудование установлено на 400 скважинах и 50 манифольдах.
Kuwait Oil Company	Датчики давления, температуры. Шлюз, повторитель. Оборудование установлено на 60 скважинах.

Таблица 6 – Референс-лист компании Yokogawa

№	Наименование производства	Мероприятие	Оборудование
1	ООО «Газпром добыча Ноябрьск» Вынгайхинский ГП	Опытная эксплуатация	Давление, температура на узле приема очистных устройств межпромыслового газопровода
2	ООО «Газпром трансгаз Югорск» Краснотурьинское ЛПУ	Опытная эксплуатация	Давление, температура на КП
3	ООО «Газпром трансгаз Югорск» Ямбургское ЛПУ	Опытная эксплуатация	Давление, температура с отображением и архивированием на регистраторе модели DX2004
4	ООО «Газпром переработка Сургут» Сосногорский ГПЗ	Опытная эксплуатация	Давление, температура цеха №3 с отображением и архивированием на регистраторе модели DX2004

ПРИЛОЖЕНИЕ Д
(обязательное)

**System analysis of wireless autonomous sensor networks for their application in
the oil and gas industry**

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8TM71	Зеленин Марк Вячеславович		

Консультант проф. кафедры:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Мамонова Татьяна Егоровна	К.Т.Н.		

Консультант – лингвист кафедры ОИЯ ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Пичугова И.Л.	-		

Introduction

A characteristic feature of the modern development of digital and intelligent hydrocarbon deposits (HC) is the introduction of information and communication technologies throughout the production process chain.

The Russian oil and gas complex is well prepared for the introduction of modern digital control systems. Implementation of digital and intelligent oil and gas technologies is characterized by large-scale, fast and efficient return of financial resources invested in it. Russia has all the necessary conditions for an intelligent technological breakthrough in the digitalization of the oil and gas industry through the introduction of intelligent search systems, exploration, development, production, transport and processing of oil and gas; creation of innovative energy-saving production systems and transport systems of oil and gas; the use of natural energy layers for the conversion of mining technologies in the technology of high conversion; resource-saving and energy-efficient transport and processing; the introduction of information, control, navigation sensor monitoring and control systems in real time, energy-efficient production, providing for the development of high conversion technologies, the implementation of deserted oil and gas technologies, the creation of underwater and ice factories, borehole plants.

Sensor networks make it possible to implement highly profitable implementation of these technologies and thus: to intensify the development of hard-to-recover reserves and unconventional resources of oil and gas, to restore efficient oil production, to prolong the life of large and giant fields, to revive the old regions of oil and gas production; and to accelerate the creation of new centers of oil and gas production; to implement technologies of high conversion of unique fields, in particular, Eastern and Western Siberia.

The number of digital wells in the world, where sensor networks are used in one way or another, exceeded 15,000 as of 01.01.2016, including more than 2,000 in Russia.

As of 01.01.2016, the number of digital deposits in Russia reached 26, which is about 12 % of the total number in the world:

«Gazprom» – 7 (1 sea deserted);

«LUKOIL» – 4;

«Nova Tek» – 2 (1 deserted);

«Tatneft» – 1;

«RITEK» – 1;

«Zarubezhneft» – 1.

The introduction of autonomous sensor networks, in which the sensors operate from the built-in battery (that is, no cable supply is required) will reduce the financial and time costs of construction and installation work, commissioning, reduce energy consumption, as well as with the development of technology in the future, probably, and capital costs.

1. The concept of sensor network

1.1 General principle of operation

"A wireless sensor network or wireless sensor network is a distributed, self-organizing network of multiple sensors and actuators interconnected by a radio channel. The coverage area of such a network can range from several meters to several kilometers due to the ability to relay messages from one node to another" (figure 1).

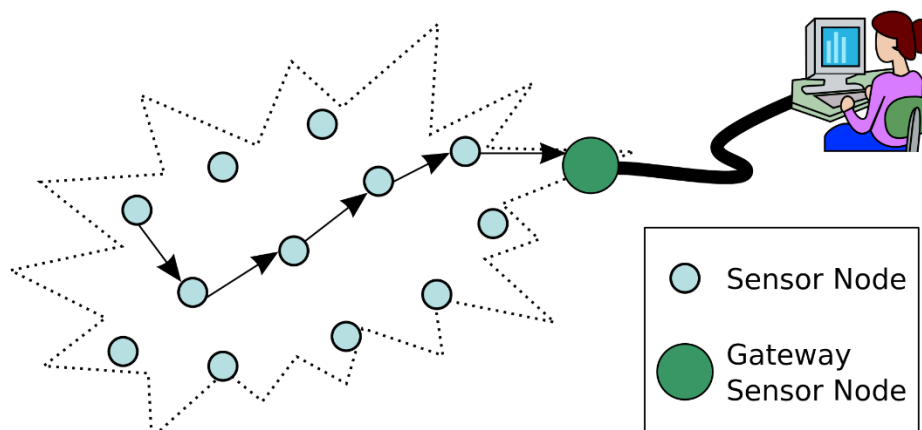


Figure 1 – Typical wireless sensor network architecture

Wireless sensor networks are now widely developed in many industries. Such networks can be a convenient solution, because the network consists of a large number of nodes connected to each other, and allow you to automate the process of collecting important technological data.

The concept of such networks is now actively developing and attracts a lot of attention from research institutes and scientists, as well as commercial organizations, this is confirmed by the increase in the number of works on this subject. The increase in interest is due to the wide possibilities, and the scope of Autonomous sensor networks is wide enough – from the automation of buildings and industries to automation in aerospace systems/military sphere. But the most widespread wireless sensor networks were in the field of monitoring of the environment and living beings.

Describe the general principle of operation of the autonomous sensor network: the sensor measures the parameter and transmits the value to the collecting device with a certain sampling (from 1 sec). The data is collected on the gateway (the route is determined by the topology) and then sent to the PLC, for example via RS-485 interface, Modbus RTU Protocol (figure 2).

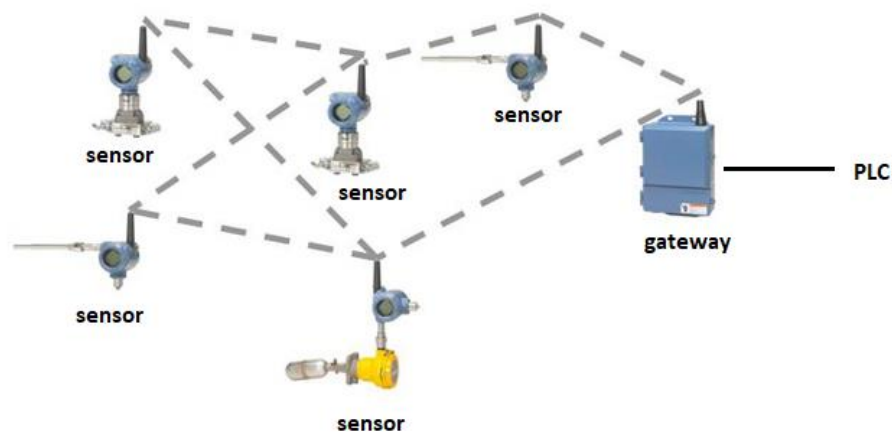


Figure 2 – General principle of operation of the autonomous sensor network

At a time when the measurement is not carried out, and no data transmission, the sensor is in sleep mode, in which it consumes almost no energy.

At the moment, there are two options for implementing a wireless sensor:

- Autonomous sensor with integrated transmission unit (figure 3, a);
- Autonomous sensor with separate electronics unit transfer (uses a special wireless adapter for devices working according to the HART Protocol, figure 3, b).

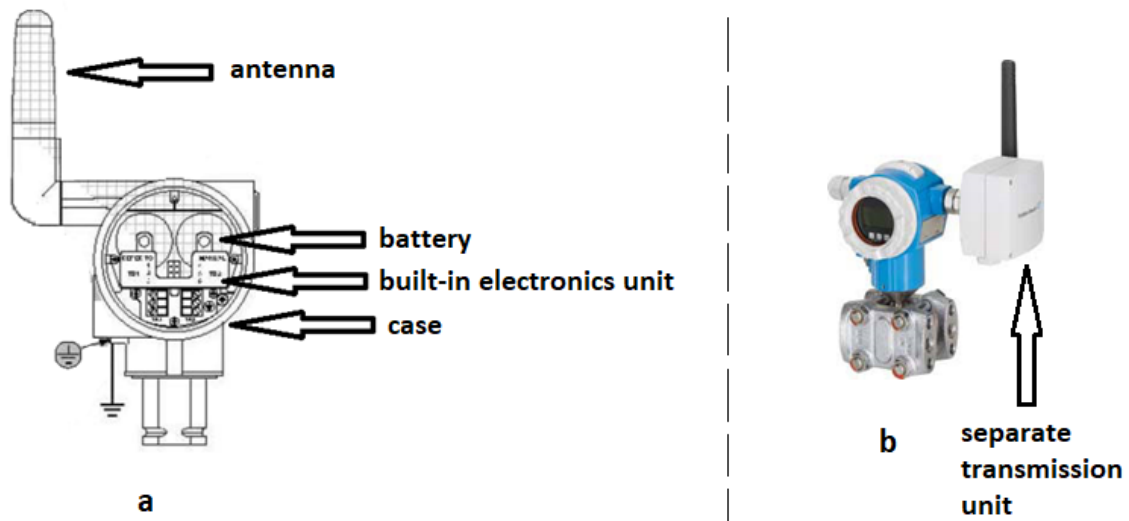


Figure 3 – Two options for implementing a wireless sensor

However, the general principle of operation is the same for the sensor with a separate transmission unit, and integral.

The above sensors wirelessly transmit data to special communication equipment (gateways).

Communication equipment provides the collection of technological parameters from wireless sensors and convert them into the desired format for transmission to the upper level, adjacent systems. These funds provide a stable operation of the network, its security at the expense of the change of channels and coding the data, and also generate diagnostic information about devices on the network (KPI, gateways).

1.2 Used topology

Sensor networks can have a static topology or dynamically adapt to the addition or removal of sensor nodes and, if necessary, reconfigure.

Thus, a dynamic topology of the sensor network can be supported. Self-organization and self-healing are attributes of wireless sensor networks and are closely related to dynamic network topology. Self-organization is the ability of a sensor network to form a network graph without the need for human intervention. The network graph shows which sensor nodes the sensor node is connected to. Self-healing, on the other hand, is the ability of a network to recover from sensor node or link failures. Once the network is self-organized or restored, the necessary connections can be established and the sensor network can perform its function at an acceptable level.

The most basic network topology is a "star" with one central or routing node sending and receiving information from all end nodes (figure 4). All end nodes thus have only one function – data transfer to the central node. Because of this, they consume very little power: after sending the data, they return to sleep mode. In addition to high energy efficiency, the topology of the "star" does not allow the failure of any end device to affect the rest of the network: each end device is isolated from the rest of the network by a single communication channel with the central device.

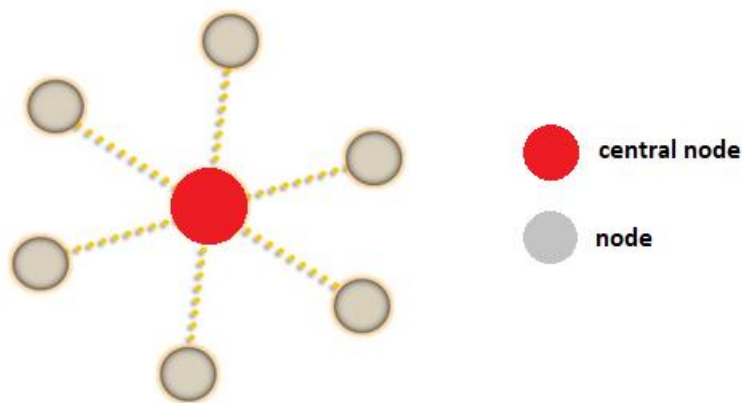


Figure 4 – "Star" topology structure

A mesh topology consists of nodes, each of which can serve as a switch for neighboring nodes. The mesh topology provides reliable and secure data transfer as well as, perfectly scalable. If the route through one or more nodes does not work, the node can route the data to the neighbor, and they will eventually reach the destination in an alternative way (figure 5).

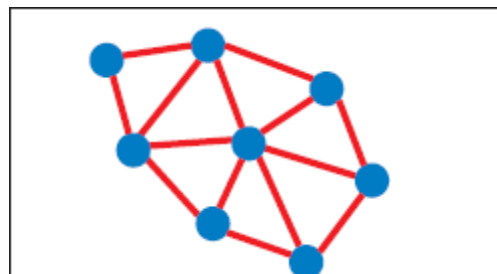


Figure 5 – Mesh network topology

For the operation of a wireless network in the oil and gas industry is usually used 2 protocols (standard): WirelessHART and ISA100.11a.

The basis of wireless solutions built on the basis of the open WirelessHART Protocol is the technology of self-organizing networks, that is, the configuration of transmission parameters is automatic with minimal user participation.

In devices based on the ISA100 standard.11a, using a static topology "star" with the IP addressable field devices. Additional planning of the radio network and survey of the area on the user's site are assumed, since the principle of self-organization of the network is not used. As a rule, such works require a certified specialist.

1.3 Frequencies used for work wireless sensor networks

Since wireless data transmission is used for autonomous sensor networks, it is necessary to determine at what frequencies the considered equipment operates. Most of the proposed technical solutions based on the following radio frequencies: 2.4 GHz/ 434 MHz/ 868 MHz.

In the Russian Federation, the unlicensed frequency range, which can be used without the permission of the state «Commission on radio frequencies», subject to compliance with the requirements for bandwidth, radiated power and the purpose of the finished product, include:

- frequency band 433,075 – 434,750 MHz;
- frequency range 868.0 – 868.2 MHz;
- frequency range 868.7 – 869.2 MHz;
- frequency range 2400,0 – 2483,5 MHz.

For 434 MHz, the transmitter power should be no more than 10 mW, for 868.0 - 868.2 MHz — up to 10 mW, for 868.7 - 869.2 MHz — up to 25 mW, for 2.4 GHz — no more than 100 mW.

The main difference between these ISM-bands is determined by the frequency of radiation and, as a consequence, the properties of radio waves. With regard to the task of data collection, wireless control and monitoring systems, the most optimal solution is to use the 868 MHz range. Compared to the 2.4 GHz band, the longer 868MHz waves have a lower attenuation intensity, correspondingly a higher permeability through obstacles and a much higher signal transmission range.

Consider the dependence of the signal attenuation for the distance in free space (figure 6):

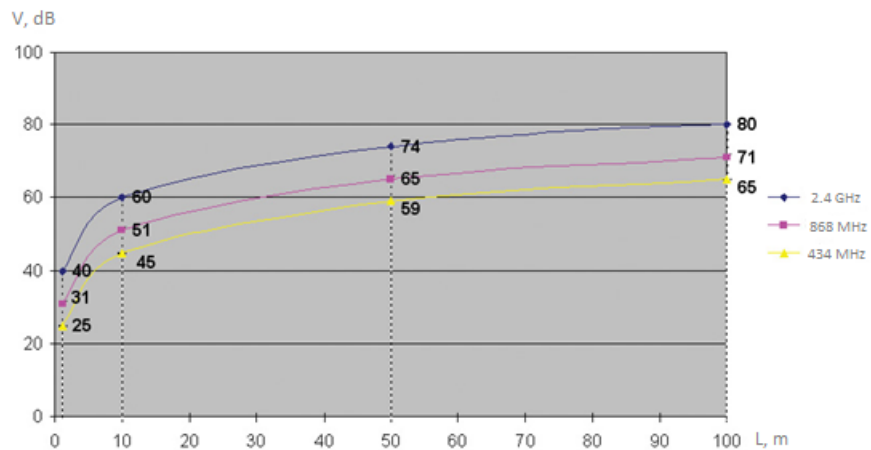


Figure 6 – Dependence of the signal attenuation for the distance in free space

Signal attenuation in free space is determined by the operating frequency of the system – accordingly, the greatest attenuation is the radio frequency of 2.4 GHz.

The most "calm" with respect to the amount of interference at the moment seems to be the range of 868 MHz, because it has become license-free in Russia relatively recently.

Thus, we can conclude that in the aggregate of such parameters as high permeability, lower load frequency range, radio waves 868 MHz are the most optimal solution of this kind of problems compared to the rest of the ISM-range. Despite the technical advantages of 868 MHz radio frequency data transmission, many manufacturers use 2.4 GHz frequency in their solutions, which allows the use of more compact and less energy-intensive transmitters.

1.4 Technology leader

Since one of the goals of the master's work is the study of current technical solutions were considered various publications, manuals, monographs and books by domestic and foreign authors, periodicals, as well as regulatory documents, technical documentation.

As part of the study of the above sources and the market of Autonomous wireless sensor networks, the following manufacturers with complete solutions in the field of Autonomous sensor networks were identified:

- Emerson;
- Endress+Hauser;
- Yokogawa;
- Honeywell.

According to the results of an in-depth study of the market, the list was supplemented by Schneider Electric and Siemens, whose solutions are widely represented in the global market in the APCS segment. Also, the analysis of information from open sources for the presence of Russian manufacturers of solutions in the field of Autonomous sensors and self-organizing measuring systems was carried out. According to the results, such a company as LLC "BINAR Association" was identified, which has ready-made solutions for the use of technology in the field of oil and gas production.

Within the framework of the work, the technical characteristics of the selected technological leaders were studied. They are given in the main part of the work.

The considered technical characteristics of the above technological leaders, allow us to conclude about the high degree of readiness of solutions. Technical solutions include not only the supply of individual devices (instrumentation, converters), but also offer software solutions for monitoring, analysis and configuration of wireless devices, that is, they are complete solutions for use in automated process control systems of oil and gas production facilities.

At the moment, the main measured parameters using wireless sensors are pressure and temperature. Level sensors are relatively new. Also, not all manufacturers mentioned above offer flow sensors, gas contamination, etc. this is due to the fact that such sensors have high power consumption, as they constantly need to take measurements, which will greatly affect the duration of the battery.

1.5 Limitations on the use of autonomous wireless sensor networks

Based on the analysis of documentation from manufacturers of wireless sensors, we highlight the aspects that limit/complicate the use of Autonomous sensor networks:

- *Economic benefit;*

At the moment, the cost of wireless sensors can be 2-3 times higher than their wired counterpart, but the use of wireless sensors provides some advantages, for example, for well clusters, the transition from wired to wireless systems eliminates the need for cabling to sensors, but in addition to instrumentation cables on the main overpass and its branches, power cables are laid to downhole electric centrifugal pumps (ESS). There are practices in which power cables to the ESS were laid in the ground in order to save capital costs, which can significantly reduce capital costs, so that wireless solutions will not be much more expensive than the "classical" method.

- *Transience of processes and application in emergency protection systems;*

Since wireless sensors are polled at a certain point (every n seconds), the use of wireless sensor networks is not a reasonable solution for systems that require immediate responses to changes, such as an emergency protection system.

- *Construction and installation works;*

According to the analyzed data from manufacturers, the use of wireless Autonomous sensors can reduce the time and labor resources required for construction and installation work (figure 7).

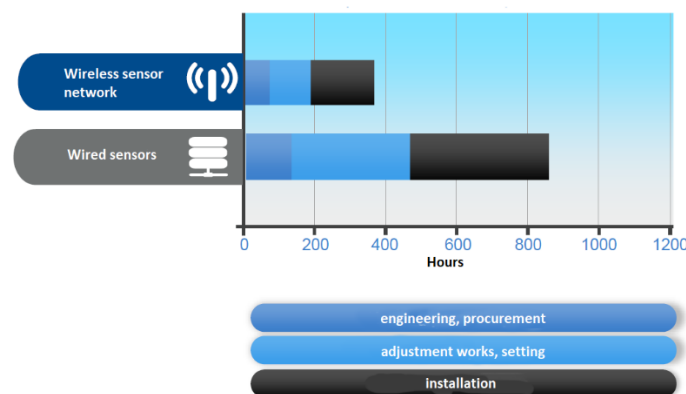


Figure 7 – Time spent on different stages

Due to the reduction of construction and installation time, it is possible to use Autonomous wireless sensors in mobile installations and portable kits. That is, where there is a need for rapid coagulation and deployment of the mobile unit (UPS, drilling, etc.).

- *Presence of control circuits;*

At the moment, wireless sensors do not constitute "actuators" and their use in control circuits is impossible, that is, they serve only for the purpose of monitoring the process.

- *Climatic conditions;*

The deployment of a wireless sensor network requires less labor and time, which can be an important factor in low temperature conditions ("at temperatures below -20 °C, cable laying is limited and allowed only after preheating"), especially where it is necessary to lay a cable or build an overpass over long distances.

However, it is necessary to pay attention to the fact that not all of the solutions can work for a long time in low temperatures, in General, the sensors have proven to be a reliable means of collecting data up to -40 °C, the operating time of the sensors from the built-in battery at temperatures below -40 °C can be significantly reduced.

- *Obstacles and data transmission distance*

It is necessary to take into account the features of the terrain (especially if the object is long) – the radius of communication devices and equipment can be significantly reduced. The data transmission distance also depends on the frequency used

Network topology helps to partially solve the problem of signal transmission in the presence of obstacles. To transmit a signal from a hard-to-reach location, you can route it through any other sensor that acts as a "repeater." However, if you select a "hard" topology, all network links between the sensors and the data collector are set manually, which can be quite a time-consuming process if you have a large number of automation points. The option of self-organization, which is possible with a mesh topology, in this sense will be a more flexible solution, since it does not require manual configuration.

Based on the above limitations, determine for which areas and objects the most profitable and logical use of Autonomous wireless sensor networks:

- there is a need for quick installation or dismantling of equipment;

- use of a mobile measuring system (e.g. for monitoring temperature and pressure during tank steaming or pressure and gas contamination during operation on main pipelines);
- the need for rapid increase in the number of measurement points in a short time;
- in case of emergency, when it is necessary to urgently restore the technological process (for example, after a fire);
- the object is "extended" and cabling, installation of cable trays, construction of overpasses require significant expenditure of funds;
- oil platforms.

Based on the considered experience (in one sections of the master's work), note that autonomous wireless sensor networks are used in large volumes on well clusters and tank farms.

1.6 Evaluation of the effectiveness

As part of the work was also carried out an assessment of the effectiveness of wireless sensor networks, which included the following items:

- system power consumption;

The calculation of energy saving of the measuring system showed that wireless systems consume on average 95 % less energy than wired ones, which has a positive effect on the autonomy of the control system in the conditions of operation from the uninterruptible power supply, as well as generally reduce energy costs during operation at the facility.

- the heat generated by the equipment;

Analysis of the technical documentation of wireless measuring system components showed that up to 70% of the energy of wireless sensors is spent on the transmission of radio signals. The power of the wireless gateway radio transmitter, which requires external power, can reach 100 mW.

In spite of this, wireless sensors emit less heat than their wired counterparts, as for the wired sensor in the automation case is also often necessary to put intrinsically safe barriers that emit the greatest amount of heat.

- space occupied in the hardware room (volume of automation case);

Space saving when using the wireless measuring system is achieved due to the exclusion from Cabinet of the automation modules of the signal input PLC, intrinsically safe measurement transducers, devices of protection against pulse overvoltage loose connection of the sensor. Also, space is saved by reducing the volume of cable channels for the input of signal cables. On the other hand, the use of wireless sensors requires installation in the hardware room (on the wall or in the automation case), the wireless receiver unit.

- weight of equipment and materials;

To estimate the weight savings of equipment and materials, three main ways to achieve savings need to be considered:

savings by reducing the amount of equipment in the automation case and overall dimensions of the case themselves;

Due to the lack of ability to determine the weight of ready-made components of the system, the element-by-element summation of the weight of each component of the system on the basis of passport data elements is used.

savings due to the exclusion of mounting boxes;

To obtain data on the weight savings on the mounting boxes, it is necessary to summarize the weight of all the mounting boxes used in the project, which will be excluded when switching from wired to wireless measuring system.

savings by eliminating cable products;

To obtain data on weight savings on cable products, it is necessary to summarize the weight of the wires and cables used in the project, which will be excluded during the transition from wired to wireless measurement system. The weight of the wireless gateway power cable must be taken into account.

In general, we can say that due to the exclusion of cable products, as well as installation boxes, even if there is a need to take into account the weight of wireless gateways, in general, the weight of the necessary equipment is significantly reduced, with the more automation points – the more weight savings and, accordingly, reduced transport costs.

- time savings in the design, manufacture, construction and commissioning of the system;

Time saving is achieved by reducing the duration of the following types of work:

design documentation development;

In the conditions of depersonalization of equipment savings in the development of project documentation is achieved for the most part by eliminating the design and layout of the cable in the cable channels.

development of design documentation;

Saving of time on development of design documentation of automation system at application of wireless measuring systems is reached at the expense of simplification of process of development of design documentation on automation case of system in connection with reduction of total number of elements (terminals, intrinsically safe barriers, PLC modules) in the case, and also simplification of works on tracing of electric conductors.

The greatest time savings in the production of automation equipment (automation cabinets) is achieved by simplifying the electrical installation of automation cabinets.

- saving money on operating costs;

Operating costs are the costs associated with the management of the enterprise and the sale of finished products.

Wireless measurement systems differ in operational costs from wired systems in the need for planned replacement of batteries in wireless sensors.

The cost of purchasing the batteries of wireless sensors for the entire life of the sensor (10 years) on average is 8.5 % of the original cost of the sensor. For all considered foreign manufacturers replacement of batteries can be carried out in parallel with the procedure of calibration and verification of the sensor (on average every 3 years)

- saving money on the initial cost of the equipment.

Table 1 shows the cost of the pressure sensor, temperature sensor and level sensor, as well as compare them with the cost of the sensors of the wired system.

Manufacturer	Pressure sensor	Temperature sensor	Level sensor	Amount
Emerson	375 659	296 021	593472	1 265 152
Honeywell	90048	80802	178466	349316
Schneider Electric	134251	239425	215677	589353
Yokogawa	200062	185322	126636	512020
Endress+Hauser	158178	140009	247771	545958
БИНАР	85100	76300	117261	278661
Siemens	195522	182797	246541	624860
Average price	176 974	171 525	246 546	595 046
Comparison with a wired system				
Wire system	29471	11032	119064	159567
The difference from the average (%)	-83,35%	-93,57%	-51,71%	-73,18%

The cost of capital costs for sensors in the "classical" approach is much lower, that is, capital costs in the construction of wireless sensor network will require much more financial resources (based on the average amount, by 73%).