

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

Институт машиностроения

(наименование института полностью)

Кафедра «Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы»

(наименование кафедры)

15.03.01 «Машиностроение»

(код и наименование направления подготовки, специальности)

«Оборудование и технология сварочного производства»

(направленность (профиль)/специализация)

## БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему Контроль качества сварки стыков магистрального нефтепровода  
диаметром 1024 мм

Студент	<u>А.В. Гришин</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)
Руководитель	<u>А.С. Климов</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)
Консультанты	<u>А.Г. Егоров</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)
	<u>О.М. Сярдова</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)
	<u>П.А. Корчагин</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)

**Допустить к защите**

Заведующий кафедрой д.т.н., профессор, В.В. Ельцов

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

\_\_\_\_\_

(личная подпись)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_\_ г.

## АННОТАЦИЯ

Диагностика является неотъемлемой частью технологического процесса при производстве материалов и изделий. Наличие высококачественных материалов и технологий изготовления конструкций при отсутствии эффективных методов диагностики не гарантирует их безаварийной эксплуатации. В России получены хорошие результаты при создании высокоинформативного дефектоскопического оборудования и разработке методик расчета остаточного ресурса отдельных объектов. Созданные приборы и инструменты основаны на последних достижениях в области ультразвуковой дефектоскопии, информатики, радиоэлектроники. По своим эксплуатационным характеристикам они не уступают лучшим мировым образцам.

Цель выпускной квалификационной работы – повышение надёжности магистральных трубопроводов за счёт разработки методики контроля качества их сварки.

В работе решены следующие задачи:

- 1) Выполнить анализ возникающих при сварке магистральных трубопроводов дефектов, выявить наиболее опасные дефекты.
- 2) На основании анализа применяемых способов контроля качества сварки магистральных трубопроводов предложить меры по повышению эффективности методик неразрушающего контроля.
- 3) Предложить перспективный способ контроля качества сварки магистральных трубопроводов.

Пояснительная записка состоит из 66 страниц, графическая часть включает в себя 6 листов формата А1.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ. ....	5
1 Современное состояние вопроса сварки магистральных трубопроводов	
1.1 Операции рассматриваемого технологического процесса сварки стыков магистрального трубопровода. ....	7
1.2 Дефекты в трубопроводных конструкциях и причины их появления. ....	13
1.3 Оценка рисков при эксплуатации магистральных трубопроводов. .	16
1.4 Анализ содержания научно-исследовательских работ в области контроля качества сварочных работ. ....	18
1.5 Формулировка задач выпускной квалификационной работы . . . . .	21
2 Повышение эффективности контроля качества при сварке магистральных трубопроводов	
2.1 Радиографические методы контроля. ....	22
2.2 Анализ обнаруживаемости дефектов при использовании различных способов контроля качества. ....	27
2.3 Российские достижения в области неразрушающего контроля сварных соединений. ....	29
2.4 Аппаратное обеспечение повышения эффективности методик контроля качества. ....	34
3 Безопасность и экологичность технического объекта	
3.1 Технологическая характеристика объекта	37
3.2 Персональные риски, возникающие при реализации технологического процесса. ....	39
3.3 Разработанные технические и организационные предложения по уменьшению выявленных при анализе проектной технологии профессиональных рисков. ....	40
3.4 Разработанные технические и организационные предложения	

по обеспечению пожарной безопасности на участке сварки . . . . .	42
3.5 Оценка безопасности для природной среды предлагаемых технических решений. . . . .	43
3.6 Заключение по разделу. . . . .	44
4 Оценка экономической эффективности выпускной квалификационной работы	
4.1 Исходные данные для выполнения расчетов. . . . .	45
4.2 Расчёт фонда времени. . . . .	48
4.4 Расчет заводской себестоимости базового и проектного вариантов технологии. . . . .	51
4.5 Калькуляция заводской себестоимости базовой и проектной технологии. . . . .	55
4.6 Капитальные затраты по базовому и проектной технологиям . . . .	55
4.7 Показатели экономической эффективности проектной технологии. . . . .	58
4.8 Заключение по экономическому разделу. . . . .	59
ЗАКЛЮЧЕНИЕ. . . . .	61
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ. . . . .	63

## ВВЕДЕНИЕ

Диагностика является неотъемлемой частью технологического процесса при производстве материалов и изделий. Наличие высококачественных материалов и технологий изготовления конструкций при отсутствии эффективных методов диагностики не гарантирует их безаварийной эксплуатации.

Значение неразрушающих методов контроля и диагностики сейчас особенно велико, поскольку изношенность парка технологического оборудования в отдельных случаях превышает 65 %. В ближайшее время для предотвращения аварий наиболее опасных эксплуатируемых объектов необходимо создать технологии и оборудование для оценки их остаточного ресурса.

В России получены хорошие результаты при создании высокоинформативного дефектоскопического оборудования и разработке методик расчета остаточного ресурса отдельных объектов. Созданные приборы и инструменты основаны на последних достижениях в области ультразвуковой дефектоскопии, информатики, радиоэлектроники. По своим эксплуатационным характеристикам они не уступают лучшим мировым образцам.

В последние десятилетия при изготовлении металлоконструкций все большее распространение получают высокопрочные низколегированные стали. Наряду с расширением объемов потребления сталей этого класса, можно отметить возрастающие требования к уровню их механических свойств, стойкости против хрупкого разрушения, экономичности. Так, например, растущее потребление развитыми странами природного газа диктует увеличение рабочего давления транспортируемого газа от 55...75 до 100 атм и более, рост которого в трубопроводах, изготовленных из сталей категории прочности K60 (X70), приводит к увеличению металлоемкости и удельных затрат. При этом повышается уровень требований к

эксплуатационной безопасности, надежности и долговечности трубопроводов, что, в свою очередь, требует увеличения ударной вязкости и сопротивления хрупкому разрушению, а также улучшения свариваемости указанных сталей.

Качество сварных соединений углеродистых и низколегированных сталей в значительной мере определяется уровнем физических и физико-химических характеристик металла швов, на которые существенно влияют морфология, состав и распределение неметаллических включений. Ранее основное внимание уделялось вопросу формирования включений в процессе кристаллизации швов, значительно меньше изучено образование оксидов при твердении металла. Охлаждение стали как в жидком, так и в твердом состоянии сопровождается уменьшением растворимости кислорода и выделением его либо в газовую фазу, либо в составе неметаллических включений. Образование в структуре металла различных по виду включений в первую очередь обусловлено избирательным химическим сродством кислорода к элементам-раскислителям. На различных этапах образования металла сварных швов это сродство различное.

Таким образом, актуальна **цель** выпускной квалификационной работы - повышение надёжности магистральных трубопроводов за счёт разработки методики контроля качества их сварки.

# 1 Современное состояние вопроса сварки магистральных трубопроводов

## 1.1 Операции рассматриваемого технологического процесса сварки стыков магистрального трубопровода

### 1.1.1 Разметка и подготовка кромок

1) У соединяемых плетей труб на их торцах измеряют периметр (точность измерения составляет 1,0 мм), замер проводят по внутренней и наружной поверхности труб;

2) Производят подготовку прямой вставки (катушки), длина которой должна составлять не менее одного диаметра трубы;

3) С использованием орбитальной газорезательной машины производят обрезание конца трубы;

4) По всему периметру трубы осуществляют ультразвуковой контроль поверхности трубы на ширину не менее 40 мм от торца трубы;

5) В случае выявления расслоений после проведения ультразвукового контроля следует выполнить обрезание трубы на расстояние не менее 300 мм от её торца, после чего выполнить дополнительный ультразвуковой контроль кромок, проверяя их на наличие расслоений;

6) Восстанавливают геометрию резаных торцов труб с использованием станка подготовки кромок (рис. 1.1), при этом следует удалять металл кромок на глубину не менее 1,0 мм.;

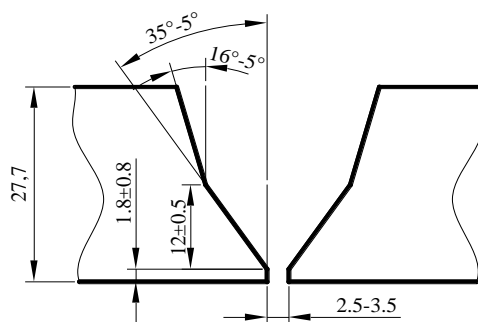


Рисунок 1.1 – Подготовка кромок труб под сварку

7) На участке шириной 10...15 мм от торца трубы удаляют наружное усиление заводского шва трубы до 0,5...1,0 мм;

8) Осуществляют очистку кромок труб и прилегающей к ним внутренней и наружной поверхностей на ширине не менее 15 мм до чистого металла (появление металлического блеска).

### 1.1.2 Сборка и прихватка

1) Приподнимают с использованием трубоукладчиков незащемлённую плеть трубопровода;

2) Выполняют стыковку катушки к трубопроводу;

3) Устанавливают страховочную опору;

4) Выполняют сборку катушки с трубопроводом с использованием наружного центратора. При этом центратор не должен оставлять на поверхности свариваемых труб недопустимых дефектов и загрязнений.

5) Выставляют зазор величиной 2,5 ...3,5 мм

6) С использованием однопламенных горелок выполняют предварительный подогрев в местах установки прихваток;

7) Выполняют сварку не менее четырех прихваток, длина прихваток должна быть 100...200 мм. Прихватки должны быть равномерно расположены по периметру сварного соединения. Марка электродов и параметры режимов сварки соответствуют марке электродов и параметрам режимов сварки при выполнении корневого слоя шва. Прихватки следует располагать на расстоянии не ближе 100 мм от заводского сварного шва.

8) Выполняют контроль смещения кромок сварного соединения. Необходимо, чтобы смещение кромок было равномерно распределено по периметру свариваемого соединения. При этом допускаемая величина наружного смещения кромок не превышает 2,0 мм.



### 1.1.3 Предварительный подогрев

1) Предварительный подогрев стыка перед сваркой выполняют с использованием установки индукционного нагрева, при этом температура предварительного подогрева составляет  $+100...130\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;

2) Контроль правильности протекания предварительного подогрева следует автоматизировать, для этого используются регулирующая термопара, которую устанавливают в нижней точке периметра стыка труб (соответствует положению часовой стрелки на 6-00 часов). Дополнительный контроль температуры предварительного подогрева осуществляют вручную в верхней точке стыка труб (соответствует положению часовой стрелки на 12-00 часов) и на вертикальных участках периметра стыка (соответствует положению часовой стрелки на 3-00 часа и 9-00 часов) на расстоянии 10...15 мм и 60...75 мм в обе стороны от свариваемых кромок.

3) Перед сваркой стыка следует снять или сдвинуть в сторону от свариваемых кромок индукторы установки индукционного нагрева.

4) Выполнение предварительного подогрева перед сваркой возможно с использованием газопламенных нагревательных устройств, если прекращено энергообеспечение или вышли из строя установки индукционного нагрева.

### 1.1.4 Сварка

1) Выполняют сварку корневого слоя шва. В процессе сварки корня шва температура на кромках труб перед сваркой должна быть не ниже температуры, соответствующей предварительному подогреву ( $+100...130\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Если температура стыка уменьшилась не более чем на  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , допускается выполнять подогрев с использованием нейтрального пламени от однопламенной газовой горелки.

2) При выполнении сварки корневого слоя шва следует удалить прихватки с использованием шлифмашины.

3) Освободить стягивающие механизмы центратора разрешено после выполнения сварки корневого слоя шва на 60% от всего периметра стыка труб. При этом участки с выполненным корневым слоем шва должны быть равномерно расположены по периметру сварного соединения труб;

4) Начало и конец каждого участка шва следует подвергать механической обработке шлифмашинкой;

5) Возбуждение сварочной дуги должно производиться только на поверхности разделки кромок свариваемого стыка. Недопустимо зажигание дуги на поверхности металла труб.

7) Начало и окончание сварки каждого слоя при заполнении стыка труб необходимо смещать от заводских сварных швов на поверхности труб на расстояние не менее 100 мм.

8) Следует обеспечить смещение начала и окончания сварки каждого последующего слоя сварного шва относительно начала и окончания сварки предыдущего слоя шва. При этом начало сварки необходимо сместить на 30 мм, а окончание сварки – на 70 мм. Если выполняется многопроходной шов места начала и окончания сварки соседних проходов следует смещать на расстояние 30 мм.

9) Выполнение сварки заполняющих и облицовочного слоев шва осуществляют в направлении «снизу вверх». Выполнение заполняющих слоёв, начиная со второго слоя, следует проводить за два прохода. Выполнение облицовочного слоя следует производить за два или три прохода, при этом количество проходов зависит от в от ширины раскрытия кромок. В процессе заполнения разделки и выполнения облицовочного шва следует обеспечивать перекрытие смежных валиков на 1/3 ширины. При заполнении разделки и выполнении облицовочного слоя шва необходимо следить за температурой перед наложением каждого последующего слоя. Эта температура должна быть не ниже +50 °С и не выше +250 °С. В случае, если температура участка шва, подлежащего сварке, упала ниже +50°С, необходимо выполнить сопутствующий подогрев с использованием

нейтрального пламени однопламенной газовой горелки до температуры +100...130 °С.

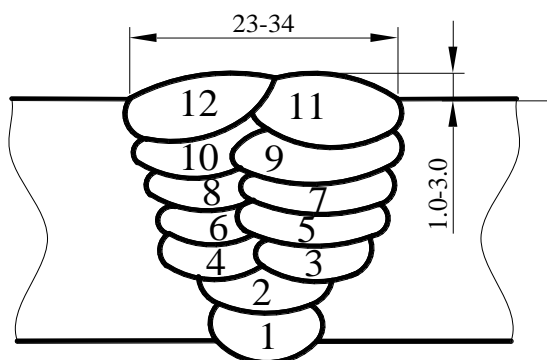


Рисунок 1.2 – Сварной шов труб: минимальное количество слоев – 7 штук, минимальное количество проходов – 2 штуки

10) Облицовочный слой шва должен перекрывать основной металл на 1,5...2,5 мм в каждую сторону от шва и иметь плавный переход к металлу шва от основного металла. Также должно присутствовать усиление шва высотой 1...3 мм;

11) В процессе заполнения разделки осуществляют послойную зачистку сварных швов от шлака и брызг.

12) Выполняют зачистку механическим способом с применением шлифовальной машинки участков облицовочного слоя шва, у которых наблюдается повышенная чешуйчатость (т.е. высота гребня шва превышает впадину более, чем на 1,0 мм). Также следует подвергать зачистке участки с превышением усиления шва больше 3,0 мм. Зачистку следует производить также на участках, которые не содержат плавного перехода от усиления шва к основному металлу.

13) Выполняют зачистку механическим способом с использованием шлифовальной машинки поверхностей труб, которые прилегают к облицовочному слою шва. При этом поверхность труб зачищают от шлака и брызг наплавленного металла. Зачистку следует производить на области не менее 10 мм от границы облицовочного слоя шва.

14) По окончании сварки, если температура воздуха составляет ниже +5°C или присутствуют осадки, сваренный стык следует накрыть влагонепроницаемым теплоизолирующим поясом и держать так до его полного остывания.

### 1.1.5 Сварочные материалы и параметры режима сварки

Штучные электроды с покрытием являются наиболее широко применяющимся электродным материалом, универсальным с точки зрения организации процесса сварки в заводских и монтажных условиях. Обустройство сварочного поста требует небольших капитальных вложений в оборудование, а расходы на электроды относительно невелики [9].

К недостаткам, которыми обладает сварка штучными электродами, можно отнести малую производительность плавления, которая обусловлена низкой плотностью тока на электроде, потерю части электродного материала на огарки, а также существенную зависимость качества сварных соединений от квалификации и кондиции сварщика. Тем не менее, следует отметить широкие границы для регулирования сварочных свойств за счёт возможности существенного изменения состава покрытия электродов. Это приводит к тому, что и в настоящее время сохраняется высокая конкурентоспособность ручной дуговой сварки штучными электродами по сравнению с механизированными способами сварки.

Таблица 1.1 – Параметры режимов сварки

Сварочные слои	Марка сварочного электрода	Диаметр сварочного электрода, мм	Полярность при сварке	Сила сварочного тока, А
Корневой	LB-62U	3,2	обратная	80...120
Заполняющие слои	Pipeliner 19P	3,2	обратная	80...120
Облицовочный слой	Pipeliner 19P	3,2	обратная	80...120

Корневой слой шва выполняют электродами марки LB-62U класса E9016-G по AWS 5.5 (Kobe Steel, Ltd., Япония)

Заполнение разделки и выполнение облицовочного слоя шва осуществляют с использованием электродов марки Pipeliner 19P класса E10018-D2 H4R по AWS 5.5 «The Lincoln Electric Company», США)

## **1.2 Дефекты в трубопроводных конструкциях и причины их появления**

Анализ причин и механизмов отказов сварных соединений трубопроводов показывает, что, как правило, разрушение начинается с плоскостных поверхностных дефектов, расположенных преимущественно в корневом слое шва. Надежная и безопасная работа трубопровода обеспечивается при условии предупреждения развития дефекта до сквозной трещины. При этом наиболее дефектами являются плоскостные – трещины всех видов и направлений, непровары, подрезы. Наиболее распространенным дефектом при строительстве магистральных трубопроводов является непровар корня шва. Зачастую этот дефект сочетается со смещением кромок. В настоящее время практически невозможно полностью исключить появление непровара и смещения кромок в монтажных стыках магистрального трубопровода [7,8].

На рис. 1.3 изображена статистика по аномалии стыков, которые были обнаружены по результатам внутритрубной диагностики в Центральном регионе и Западной Сибири [8]. Центральный регион был взят для сравнения, поскольку он обладает благоприятными природно-климатическими условиями для эксплуатации магистральных газопроводов. Необходимо отметить, что разновидность аномалии в сварном стыке устанавливается по результатам внутритрубной диагностики, при этом не требуется уточнения с применением средств наружной диагностики. Магнитные методы контроля качества имеют достаточно ограниченные возможности [6].

Следует учитывать серьезность опасности, которую представляют внезапные коррозионно-механические разрушения сварных соединений, при которых в конструкциях могут образовываться трещины, вызванные совместным воздействием напряженного состояния системы и среды. При этом напряжённое состояние системы может быть как статическим (коррозионное растрескивание), повторно-статическим и циклическим.

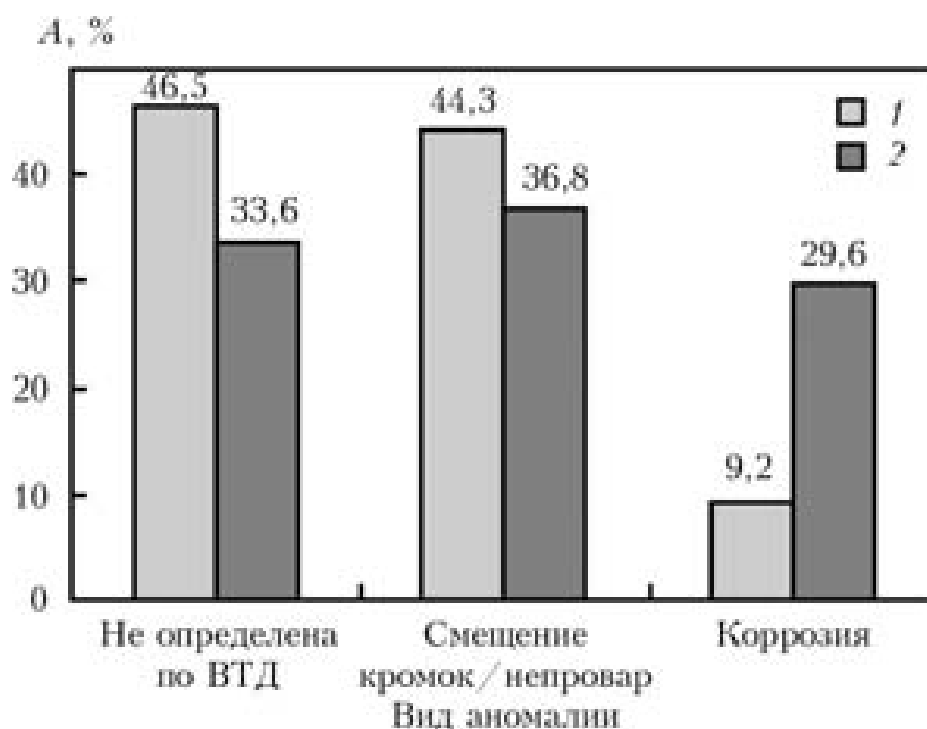


Рисунок 1.3 – Разновидности аномалий стыков, которые были выявлены за третью внутритрубную диагностику в Центральном регионе (1) и в Западной Сибири (2)

В Западной Сибири и в Центральном регионе примерно половина всех выявленных аномальных стыков представляют серьезную опасность при дальнейшей эксплуатации газопровода (непровары или смещение кромок). Такое большое количество смещений кромок и непроваров в трубопроводах, расположенных в Центральном регионе, связано с ненадлежащим качеством строительства. На верность этого утверждения указывает тот факт, что, на исследованных трубопроводах установлен низкий уровень коррозии (9,3 % в Центральном регионе и 29,6 % в Западной Сибири).

Большое число зафиксированных аномальных стыков в Западной Сибири объясняется сложными природно-климатическими условиями, которые существенно влияют на качество строительства и дальнейшую эксплуатацию газопроводов [8].

Таблица 1.2 – Возникающие дефекты при ручной дуговой сварке магистральных трубопроводов и причины их появления

Дефекты 1	Причины образования дефектов 2
<b>Непровары</b>	1) неправильно выбрана форма разделки торцев труб; 2) малая величина погонной энергии при сварке; 3) нарушения при проведении подготовки поверхностей труб под сварку; 4) чрезмерная величина притупления кромок при подготовке торцев труб; 5) чрезмерно малая величина зазоров при сборке; 6) в процессе сварки сварочный электрод был смещён относительно стыка; 7) низкое качество промежуточной зачистки швов после выполнения очередного прохода
<b>Подрезы</b>	1) при выборе параметров режима была выбрана слишком большая сила сварочного тока; 2) при выборе параметров режима была выбрана слишком большая скорость сварки; 3) при осуществлении сварки была использована чрезмерная длина дуги; 4) при осуществлении сварки не был обеспечен достаточный наклон сварочного электрода (неправильное ведение сварочного электрода)
<b>Прожоги</b>	1) при сварке была превышена допустимая величина погонной энергии; 2) при сборке был установлен слишком большой зазор; 3) при подготовке торцев труб не была выполнена достаточная величина притупления кромок; 4) при сборке труб под сварку произошло чрезмерное смещение кромок; 5) при сварке произошло коробление деталей
<b>Наплывы</b>	1) при выборе параметров режима была выбрана слишком большая сила сварочного тока; 2) при выборе параметров режима была выбрана слишком большая скорость сварки; 3) при осуществлении сварки была использована чрезмерная длина дуги; 4) смещение электрода при сварке; 5) при осуществлении сварки не был обеспечен достаточный наклон сварочного электрода (неправильное ведение сварочного электрода)
<b>Свищ</b>	1) низкое качество основного металла; 2) нарушение газовой защиты.

Продолжение таблицы 1.2

1	2
<b>Трещины</b>	1) после сварки произошло превышение времени между сваркой и термообработкой; 2) после сварки не была обеспечена минимальная скорость охлаждения стыка; 3) в процессе сварки была нарушена газовая защита; 4) низкое качество основного металла.
<b>Поры</b>	1) при сварке были применены отсыревшие электроды; 2) нарушение подготовки свариваемых кромок; 3) при сварке использовался электрод большего диаметра; 4) при осуществлении сварки была использована чрезмерная длина дуги; 5) при выборе параметров режима была выбрана слишком большая скорость сварки; 6) в процессе сварки была нарушена газовая защита; 7) низкое качество основного металла.
<b>Включения</b>	1) нарушения при проведении подготовки поверхностей труб под сварку; 2) низкое качество основного металла; 3) нарушение технологии сварки; 4) в процессе сварки была нарушена газовая защита.

### 1.3 Оценка рисков при эксплуатации магистральных трубопроводов

Технический риск может быть охарактеризован наличием опасности возникновения аварии на производственном объекте. В процессе проектирования и эксплуатации магистральных трубопроводов первую очередь надо предусматривать наличие различных технических рисков [5]. В меры, которые были предприняты по обеспечению безопасности на трубопроводном транспорте, привели к снижению числа аварий на магистральных газопроводах Российской Федерации [6] (рис. 1.4). Несмотря на явную положительную динамику, достигнутые показатели не могут быть признаны приемлемыми. При анализе следует учитывать, что уменьшение числа аварий на 100 тыс. км, сопровождается ежегодным увеличением общей длины трубопроводов. Поэтому количество аварий будет расти.

Выполнен анализ отказов на магистральных трубопроводах Российской Федерации (рис. 1.2) который показывает, в качестве основных причин



отказов можно считать брак строительного-монтажных работ. Так, для магистральных нефтепроводов – это составляет порядка 25 % всех случаев отказа, а для магистральных газопроводов – порядка 23 % всех случаев отказа [4, 22]. Сравнение причин отказов на российских магистральных трубопроводах с отказами на европейских магистральных трубопроводах показывает, что их величины сопоставимы (рис. 1.6).

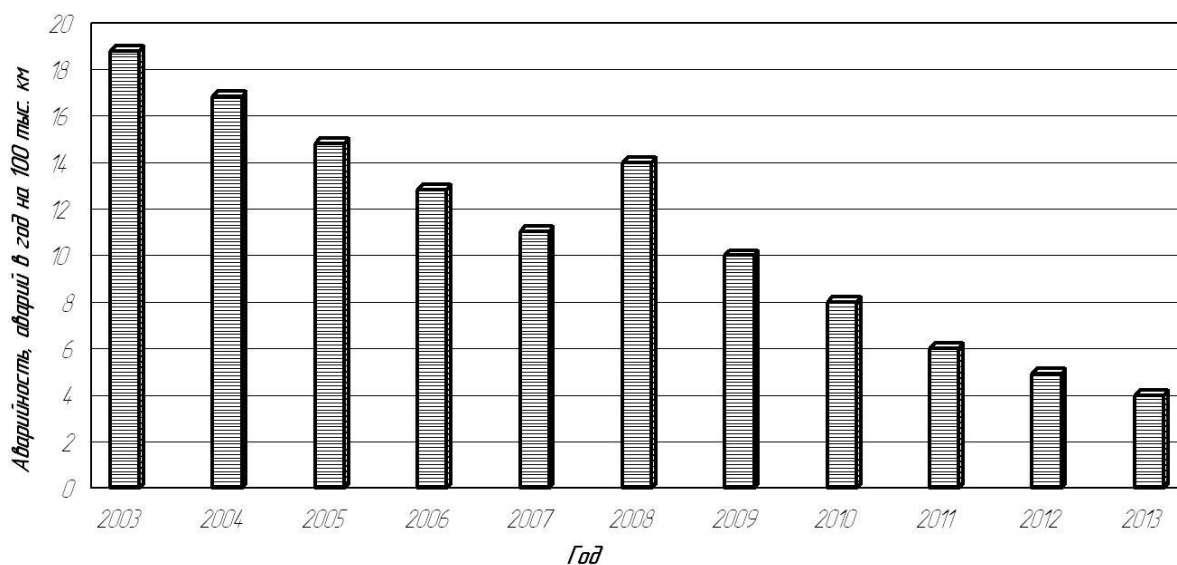


Рисунок 1.4 – Аварийность на магистральных трубопроводах, количество аварий в год [6]

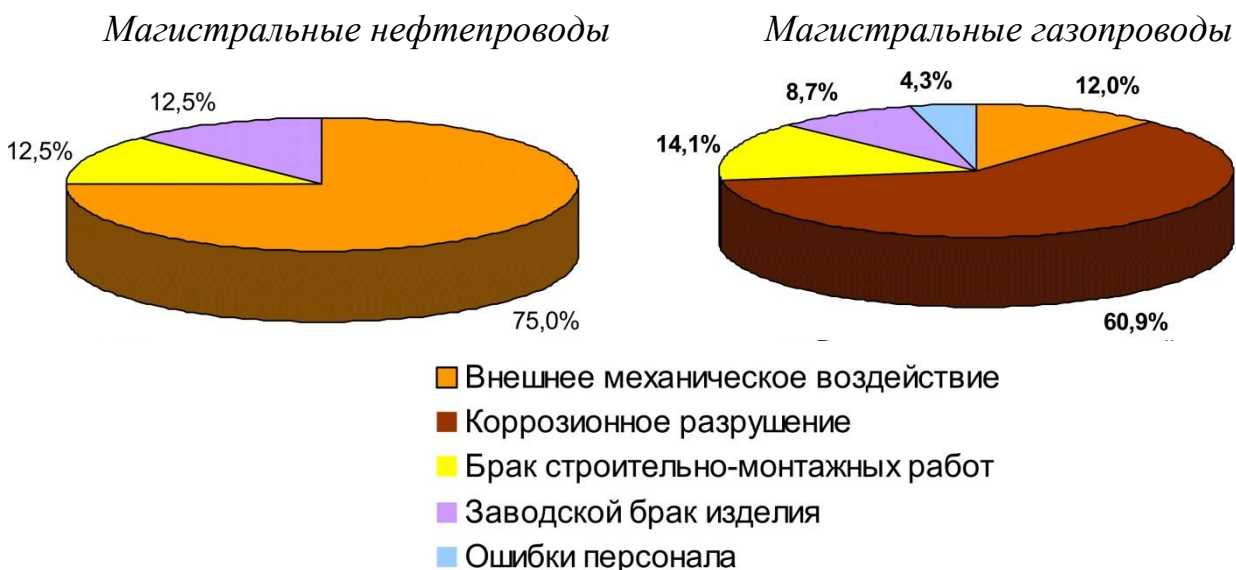


Рисунок 1.5 – Классификация причина отказов на магистральных трубопроводах России

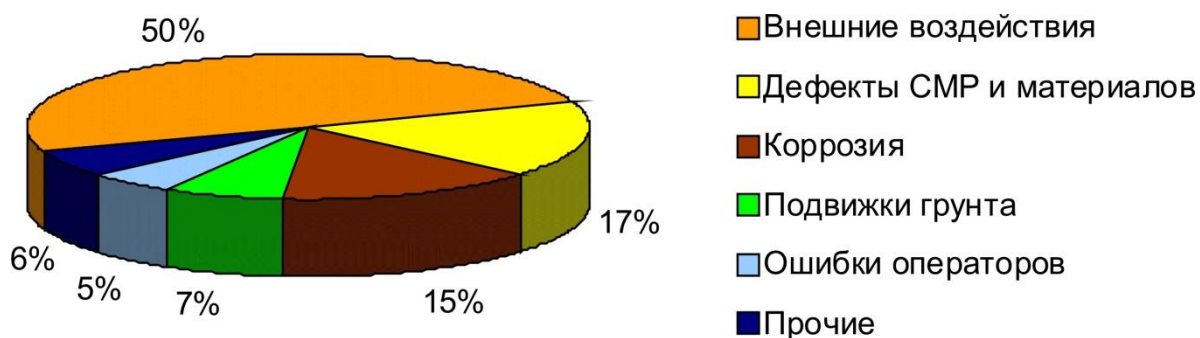


Рисунок 1.6 – Классификация причина отказов на магистральных трубопроводах Европы

Как показывает практика, ни один из существующих методов и средств неразрушающего контроля, которые используются при контроле качества в процессе строительства магистральных трубопроводов, не может быть признан универсальным и не удовлетворяет в полном объеме требованиям практики. Методы и средства контроля качества при решении задач дефектоскопии и технической диагностики должны выбираться в зависимости от параметров контролируемого объекта и условий его обследования.

#### **1.4 Анализ содержания научно-исследовательских работ в области контроля качества сварочных работ**

Произведён анализ источников научно-технической информации по вопросу контроля качества при дуговой сварке металлических конструкций, было рассмотрено пять научных работ. Поиск вёлся в сети ИНТЕРНЕТ по ключевым словам «сварка», «контроль качества», «магистральный трубопровод», «дефекты сварки», «Автоматическая сварка журнал», «Сварочное производство журнал».

В первой работе [1] описаны эксперименты по проверке адекватности разработанной компьютерной программы прогнозирования количества и состава неметаллических включений в металле сварных швов

низколегированных сталей. Данная программа позволяет моделировать не только окончательное количество и состав неметаллических включений» но и рассчитывать характеристики включений» находящихся в металле сварочной ванны в докристаллизационный период ее существования.

Во второй работе [2] исследована возможность использования подходов оксидной металлургии, предусматривающих управление количеством, распределением и морфологией включений в металлических расплавах, влияющих на условия формирования микроструктуры металла сварных швов. Показано, что изменяя долю дисперсной карбидной фазы в структуре металла швов, можно добиться увеличения содержания мелкозернистой вторичной структуры. Высокая плотность распределения включений размером 0,3...1,0 мкм, содержащих оксиды титана или циркония, способствует образованию бейнитной структуры, а пониженное содержание углерода в металле и сужение диапазона бейнитных превращений ограничивает возможность образования микроструктуры верхнего бейнита. Установлено, что для получения микроструктуры, отличающейся сочетанием высоких показателей прочности, пластичности и вязкости необходимо сформировать в металле швов включения определенного состава, размера и плотности распределения.

В третьей работе [3] дано описание новых приборов, которые призваны обеспечить возможность получения информации о дефектах и внутренней структуре изделия. Системы контроля, основанные на акустоэмиссионном принципе, дают возможность идентификации потери пластической деформации, зарождения и развития трещин различного рода и направлений, коррозионных повреждений металла конструкции. С применением ультразвукового томографа регистрируется информация о конфигурации, размерах и ориентации дефектов. При проведении измерения объемных двухосных напряжений предложено использование спектрально-акустических систем контроля. Приведено новое решение задачи создания технологии и аппаратуры, позволяющих осуществлять неразрушающий

контроль аустенитных сварных швов при толщине металла от 5 до 100 мм.

Результаты исследования будут использованы при анализе состояния вопроса и при разработке проектной технологии сварки.

В четвёртой работе [10] показана высокая дефектоскопическая эффективность флэш-радиографии, радиографии без промежуточных носителей информации (плёнок, запоминающих пластин), которая обеспечивает низкую стоимость и возможность многоракурсного наблюдения в реальном времени внутренних дефектов сварных соединений. При этом на порядок сокращается скорость контроля. Описана портативная аппаратура для реализации данной технологии, позволяющая достигнуть чувствительность до 0,1 % толщины просвечиваемого металла и разрешение, превышающее 10 пар линий на 1 мм.

В пятой работе [4] выполнено теоретическое обобщение содержания работ отечественных и зарубежных исследователей, опыта строительства и эксплуатации трубопроводов. На этой основе было проведено исследование проблемы достижения необходимого уровня качества строительства магистральных трубопроводов, обеспечивающих их надёжность и безотказную эксплуатацию. Были предложены подходы к развитию системы менеджмента качества, алгоритмы анализа и синтеза операций технологического процесса. Изучено взаимодействие процессов менеджмента качества и технологических операций при строительстве магистральных трубопроводов. Определены требования к материальным, информационным, финансовым и трудовым ресурсам, используемым в процессе строительства магистральных трубопроводов, обеспечивающие надёжность и безопасную эксплуатацию построенного трубопровода.

Результаты этой работы применим при работе над анализом состояния вопроса и при разработке системы менеджмента качества сварки магистральных трубопроводов.

## **1.5 Формулировка задач выпускной квалификационной работы**

При выполнении анализа состояния вопроса были рассмотрены операции типового технологического процесса сварки стыков магистральных трубопроводов с использованием ручной дуговой сварки, выявлены и обозначены возникающие в процессе его реализации дефекты.

Основными способами контроля качества, обеспечивающие безопасную и безаварийную эксплуатацию магистральных трубопроводов, являются: визуальный и измерительный контроль, радиографический контроль и ультразвуковой контроль.

На основании проведённого анализа были сформулированы задачи выпускной квалификационной работы, последовательное выполнение которых позволит достигнуть поставленной цели:

- 1) Выполнить анализ возникающих при сварке магистральных трубопроводов дефектов, выявить наиболее опасные дефекты.
- 2) На основании анализа применяемых способов контроля качества сварки магистральных трубопроводов предложить меры по повышению эффективности методик неразрушающего контроля.
- 3) Предложить перспективный способ контроля качества сварки магистральных трубопроводов.

## **2 Повышение эффективности контроля качества при сварке магистральных трубопроводов**

### **2.1 Радиографические методы контроля**

Самым информативным, с легко понимаемыми результатами, является радиографический метод контроля сварных соединений [10]. С помощью этого метода можно достичь разрешения порядка десяти пар линий на мм, что очень важно для обнаружения различных трещин в сварных конструкциях.

Одним из серьезных недостатков пленочной радиографии является необходимость в мощных излучателях света (негатоскопах) для того, чтобы увидеть дефекты объекта, зафиксированные рентгеновской пленкой. Причем, чем более темный снимок, тем больше он содержит информации о тонких дефектах. При относительной плотности почернения более 4 снимки делаются практически нечитаемыми. Этого недостатка лишены современные беспленочные технологии, обеспечивающие, кроме того, результат радиационного контроля в электронном виде без специальных оцифровывающих комплексов.

Электронная цифровая информация содержит наглядные радиационные изображения внутренних дефектов, расширяет возможности дефектоскопии, уменьшает скорость и стоимость контроля. При этом обеспечивается повышение как точности контроля, так и производительности. Особенно эффективна флэш-радиография [11...13] на основе портативного рентгентелевидения. При этом не требуются промежуточные носители информации (пленки, п/п пластины), используются те же источники излучения, которые применяются при пленочной радиографии. Появляется возможность рассмотрения внутренних дефектов в разных ракурсах, что недоступно другим методам НК.

Наиболее перспективной является флэш-радиография на основе портативной рентгентелевизионной техники с цифровыми твердотельными

преобразователями. При этом может быть достигнута чувствительность до 0,1 % толщины просвечиваемого металла и разрешение, превышающее 10 пар линий на 1 мм. Использование малогабаритных перемещаемых твердотельных преобразователей открывает новые технологические возможности в НК качества сварных соединений.

НК на основе портативной рентгенотелевизионной техники, цифровой обработки изображений принципиально изменяет технологию, увеличивает распространение самого достоверного радиационного НК. В последнее время понятия «цифровая радиография», ЦИ нашли широкое распространение.

Аппаратно-программные комплексы обработки рентгеновских пленок, их ЦИ находят все большее распространение [12...16]. Сейчас ЦИ получают тремя разными технологиями (рис. 2.1...2.3), приемы их обработки являются общими, и это является важным направлением в современной радиационной дефектоскопии. Чаще всего ЦИ получают оцифровкой рентгенограмм. Реже при обработке скрытого изображения, считываемого с запоминающих пластин многократного использования, либо от цифровых детекторов флэш-радиографии.



Рисунок 2.1 – Традиционная схема радиографического контроля с использованием пленки и оцифровки рентгенограмм

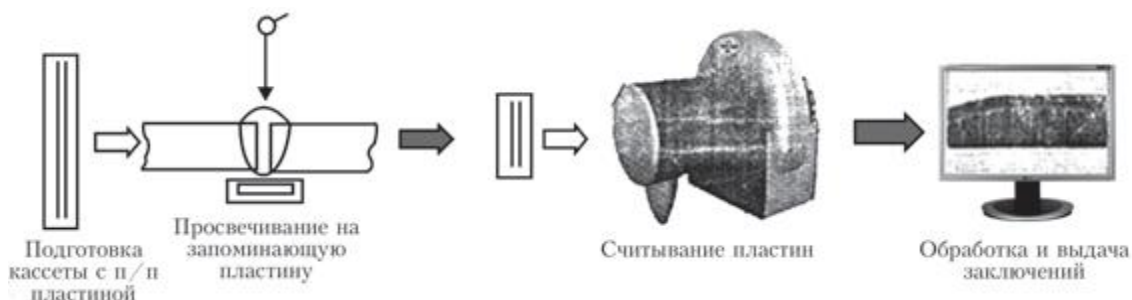


Рисунок 2.2 – Схема технологии просвечивания с использованием запоминающей пластины

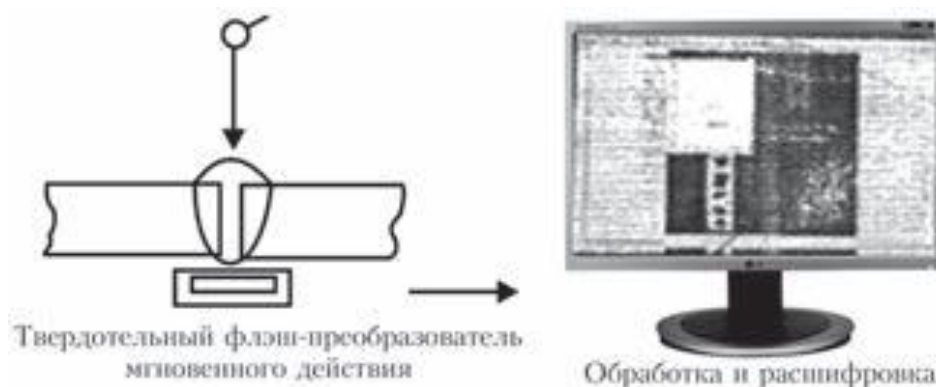


Рисунок 2.3 – Схема просвечивания без промежуточных носителей информации

Полученное любым из трех указанных способов ЦИ должно быть одинаково интерпретировано. Результаты обработки ЦИ радиографии должны быть не хуже по чувствительности и разрешающей способности, чем результат, получаемый на негатоскопе от радиографической пленки, т.е. изображения на ЦИ стандартных эталонных образцов должны быть идентичны изображениям на рентгеновских пленках.

Способы получения ЦИ результатов радиационного контроля в электронном виде разные, но принципы обработки и последующей расшифровки этих изображений одинаковые [11...17].

На рис. 2.1 приведена классическая технологическая схема получения ЦИ за счет оцифровки пленочных рентгенограмм. Эта технология распространена во всем мире, требует подготовки кассеты с пленкой и экранами. После просвечивания следуют процедуры химической обработки, сушки пленки, считывание информации на негатоскопе и оцифровывание результатов с помощью соответствующего компьютерного комплекса. Этой длительной и дорогой технологией пользуются во всех отраслях промышленности в основном из-за возможности компактного архивирования результатов НК в электронном виде и для получения дополнительной информации, которую нельзя получить без оцифровки.

На рис. 2.2 приведена схема более совершенной технологии получения ЦИ на основе запоминающих пластин. По сравнению с предыдущей схемой



получения ЦИ данная технология обеспечивает возможность многократного использования промежуточного носителя информации. Здесь отсутствует мокрый процесс проявки. Это ускоряет контроль, но не удешевляет его, требует более высокой квалификации персонала, много времени на вспомогательные операции и дорогого считывающего оборудования. Часто запоминающие пластины имеют собственные дефекты.

Высоко оценивая возможности получения дополнительной информации при обработке ЦИ и архаичность оцифровки пленочных изображений, мировые производители пленки, такие фирмы как «Agfa», «Fudje», «Kodak» и др. пошли по пути замены пленки на запоминающие полупроводниковые пластины многократного использования.

На рис. 4.4 приведены структурные схемы получения ЦИ радиационного контроля в электронном виде по трем описанным технологиям (рис. 2.1...2.3). Общим недостатком первых двух технологий (рис. 2.1, 2.2) с промежуточным носителем информации является неочевидность правильности назначенного первичного режима просвечивания, необходимость повторного, подчас неоднократного, просвечивания для нахождения оптимальных значений анодного напряжения, времени экспозиции, фокусного расстояния, а также вспомогательных процедур с носителем информации. Обычно оператору при получении для контроля нового, ранее не проходившего к нему объекта, необходимо правильно установить указанные параметры чаще всего подбором, неоднократным, т.е. с повторением всех подготовительных процедур перед просвечиванием.

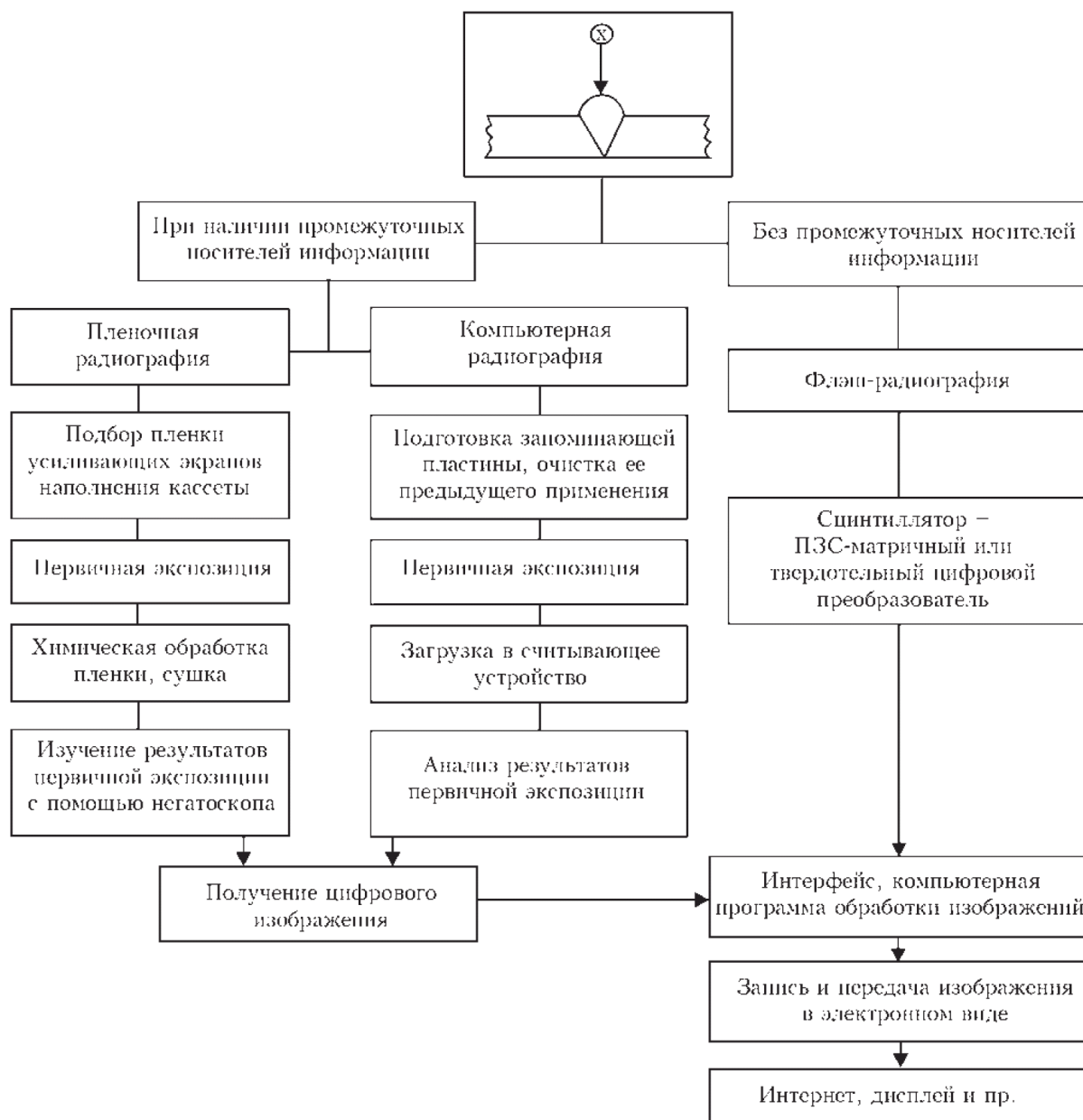


Рисунок 2.4 – Структурная схема технологических процедур получения результатов радиационного контроля в электронном виде при пленочной, компьютерной и флэш-радиографии

В случае технологии по рис. 2.3 параметры режима просвечивания могут уточняться в процессе просвечивания, наблюдая за изменениями в изображении на экране монитора. Так находятся оптимальные режимы, производится многоракурсное изучение образа внутреннего дефекта.

Схемы цифровой обработки ЦИ (рис. 2.4) независимо от способа их получения практически одинаковые. Они включают операции оценки

пригодности ЦИ, измерения интенсивности серого, оптической плотности и определения чувствительности. Цифровая шкала серого 16-битная [16], имеет 65 тыс. оттенков, а гистограмма ЦИ должна лежать примерно по центру этой шкалы, чтобы избежать недоэкспонирования или переэкспонирования. Центральное расположение гистограммы дает возможность более качественной цифровой обработки, т.е. позволяет проводить масштабирование интенсивности серого. Применяется операция калибровки по размеру, которая позволяет измерять дефекты, выполнять другие процедуры, несвойственные традиционной пленочной радиографии.

## 2.2 Анализ обнаруживаемости дефектов при использовании различных способов контроля качества

Рис. 2.5 представляет собой диаграмму, на которой показаны различные виды дефектов, которые обнаруживаются в очагах отказов трубопроводов. Различные методы контроля позволяют получить бездефектное соединение, вероятность получения которого показана на диаграмме (рис. 2.6).

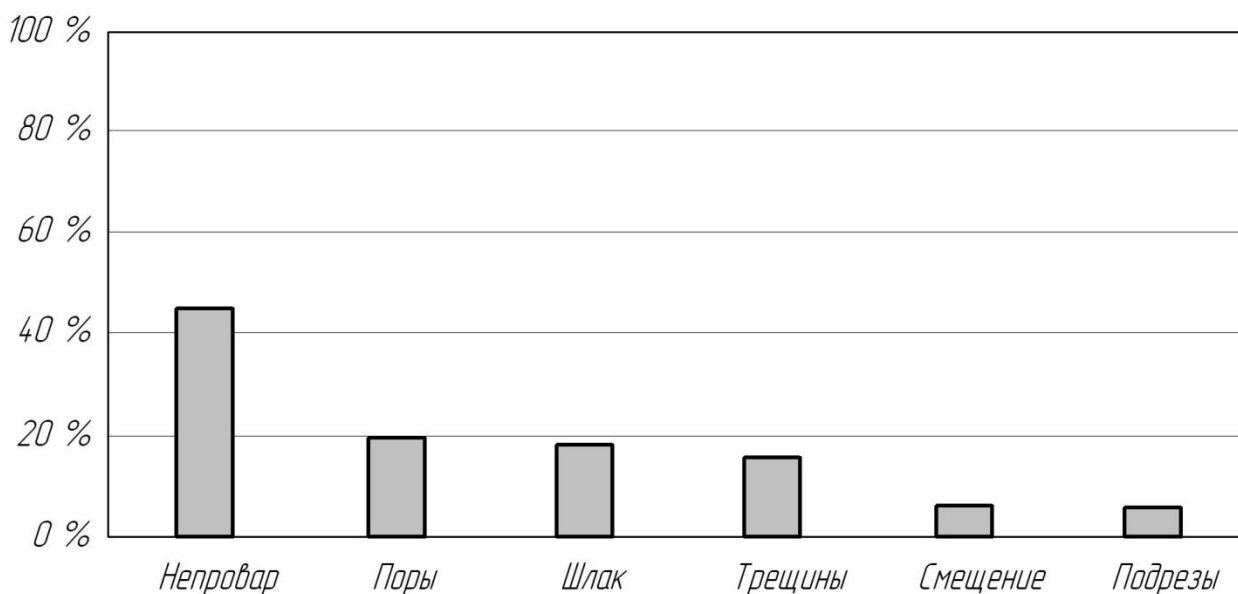


Рисунок 2.5 – Распределение дефектов в очагах отказов

Уменьшение отказов трубопроводов за счёт борьбы с дефектами в сварном шве в настоящее время происходит за счёт многократного увеличения объемов контроля качества. Такой подход не может считаться оптимальным, потому что имеет не интенсивный, а экстенсивный характер..

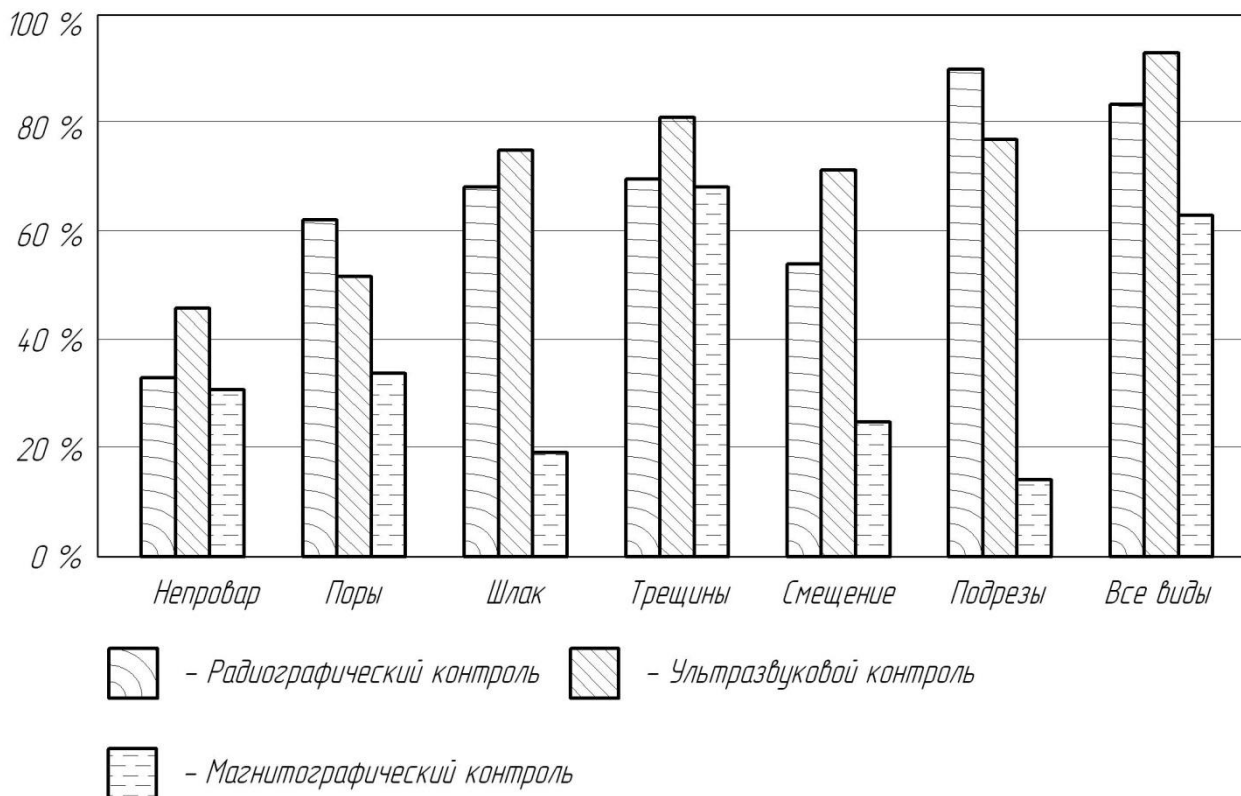


Рисунок 2.6 – Вероятность отсутствия дефектов с учетом применения различных методов контроля

Статистические данные позволяют заключить, что уменьшение до приемлемого уровня количества отказов до возможно без увеличения объема контроля. Интенсивный путь заключается в применении дифференциального подхода для выбора методик контроля качества. Во-первых, это повышает качество выполнения монтажно-строительных работ при строительстве трубопроводов. Во-вторых, снижается трудоемкость и затраты на осуществление контроля качества.

### **2.3 Российские достижения в области неразрушающего контроля сварных соединений**

Решение этой задачи позволило разработать такой алгоритм обработки информации, который восстанавливал бы объемное изображение только при сканировании в одной плоскости. Полученные теоретические результаты реализованы в ультразвуковом дефектоскопе-томографе СК-1 (рис. 2.6), оригинальная часть которого, кроме алгоритмов обработки получаемой информации, заключается в возможности использования трехмерной системы координат.

С помощью дефектоскопа-томографа получают полную информацию о дефектах. На его экране сварной шов отображается сверху (эквивалентно рентгенограмме, рис. 2.6 б), сбоку (сечение вдоль шва, рис. 2.6 г) и с торца (сечение поперек шва, рис. 2.6 д) с указанием эквивалентных размеров и координат дефектов. Прибор производит также автоматическое измерение полуосей интерполирующего эллипсоида (рис. 2.6 е). Дополнительно на экране отображается след сканирования (рис. 2.6 в), свидетельствующий о качестве акустического контакта, траектории и скорости перемещения преобразователя оператором. Кроме того, СК-1 предназначен для выполнения следующих функций:

- автоматической настройки чувствительности;
- измерения параметров и паспортизации преобразователей, применяемых совместно с дефектоскопом;
- накопления и сохранения результатов контроля в процессе его проведения с целью последующего внесения в базу данных или представления в виде документа.

Процедура контроля с помощью СК-1 состоит в перемещении преобразователя по поверхности объекта вдоль шва, с противоположной стороны которого расположены два приемных микрофона, и измерении функции  $F(x, t)$  электрического напряжения на выходе преобразователя в

каждом положении  $x$  из интервала  $x_0 < x < x_1$  и в каждый момент времени  $t$  из интервала  $t_0 < t < t_1$ , где  $x_0, x_1$  – соответственно начальные и конечные показания датчика положения преобразователя;  $t$  – интервал времени возможного появления эхо-сигналов в зоне контроля.

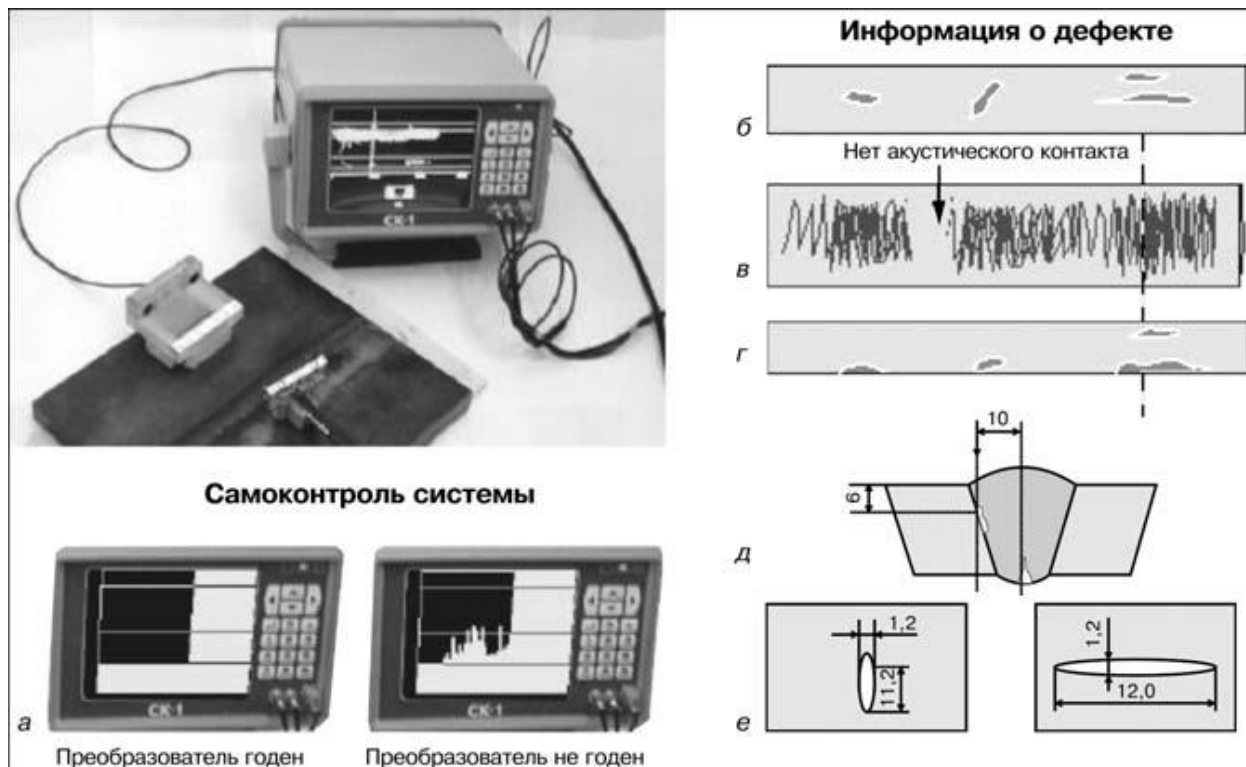


Рисунок 2.6 – Мультипрограммный портативный ультразвуковой дефектоскоп-томограф СК-1 (а) и примеры получения информации о дефектах с его помощью: б – вид сверху; в – след сканирования; г, д – соответственно продольное и поперечное сечение шва; е – томографическое изображение дефекта

Для существенного упрощения вычислений предлагается вынести источники рассеянного поля из области определения краевой задачи. Получающийся таким образом новый метод расчета можно назвать методом вынесения источников. Интенсивность каждого из источников остается конечной, как и количество источников, а поле, создаваемое вдоль рассеивающей поверхности каждым из них, является гладкой функцией.

Расчет методом вынесения источников заключается в следующем. Предполагается, как и при использовании любых численных методов, что

получаемое решение точно удовлетворяет поставленным условиям в конечном количестве точек рассеивающей поверхности. При увеличении их количества получаемые приближения сходятся к точному решению. Поскольку оно заранее неизвестно, то в качестве критерия сходимости берут точность удовлетворения данных приближенных условий на рассеивающей поверхности, которая является точностью интерполяции на поверхности  $S$  решения по его значениям в системе выбранных точек.

Сравнение предлагаемого метода расчета с другими методами и экспериментальными данными позволяет сделать вывод о его эффективности применительно к задачам рассеяния продольных и поперечных волн в упругой среде на различных отражателях.

Для изделий большой протяженности целесообразно использовать установку автоматизированного ультразвукового контроля «Автокон-МГТУ», производительностью более 1 м/мин (рис. 2 а). Она состоит из трех основных частей: роботизированного сканера на магнитных колесах, электронного блока и соединительного кабеля длиной 20 м. На сканере закреплен акустический блок из восьми пьезопреобразователей, которые обеспечивают прозвучивание сечения шва толщиной от 4 до 20 мм без поперечного сканирования с равномерной чувствительностью ( $\pm 2$  дБ). Эти же преобразователи используются для слежения за качеством акустического контакта. Благодаря наличию магнитных колес не требуется проведение крайне трудоемкой операции – установки дополнительных гибких направляющих для движения сканера.

Отличительной особенностью установки является наличие датчиков слежения за швом, которые обеспечивают погрешность + 1 мм от оси шва при смещении кромок и перегибов. На экране электронного блока отображается информация о сварном шве — сверху и поперек (рис. 2 б).

Алгоритм обработки поступающих сигналов с высокой достоверностью позволяет идентифицировать дефекты как плоскостные и объемные. На ультразвукограмме, помимо типа дефекта, указывается также

его протяженность и высота. «Автокон-МГТУ» предназначен для контроля труб или емкостей диаметром 500 мм и выше при толщине стенки 4... 20 мм. Рабочий температурный интервал составляет -40...+40 °С. Масса сканера 8 кг, а общая масса установки 18 кг.

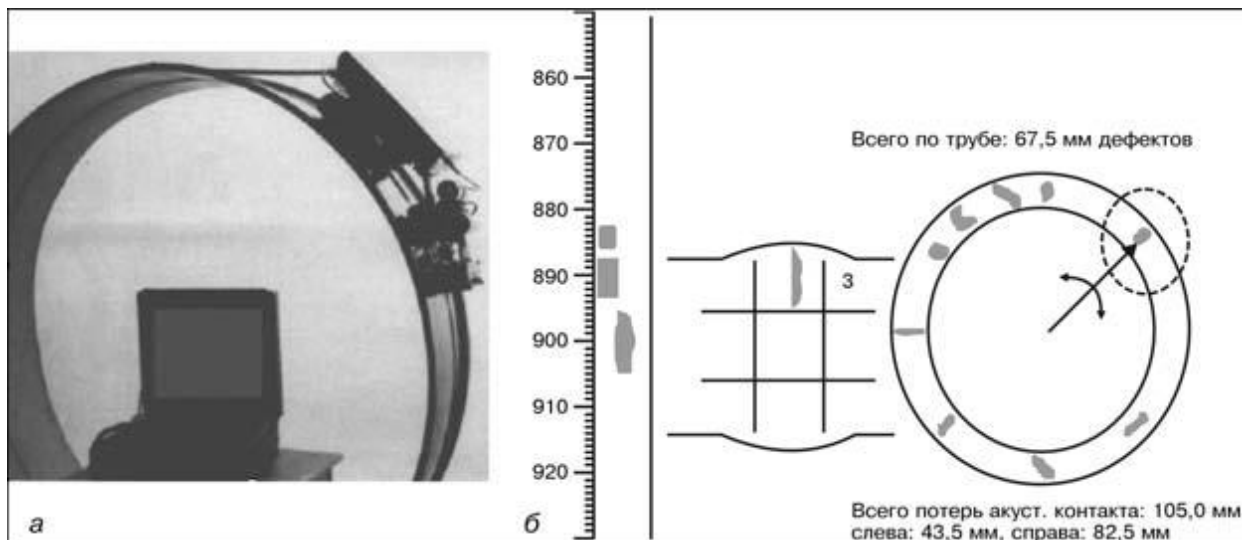


Рисунок 2.7 – Общий вид автоматической установки ультразвукового контроля «Автокон-МГТУ» (а) и отображение результатов контроля на экране монитора (б)

В настоящее время в МГТУ им. Н. Э. Баумана разработана новая модификация универсальной установки СК-2 (рис. 2.8). В отличие от известных многоканальных установок она позволяет производить с высокой степенью точности измерения колебаний амплитуды акустического контакта отдельно по каждому каналу без применения дополнительных акустических преобразователей. Это в значительной мере повышает достоверность автоматизированного контроля, поскольку удастся компенсировать потери акустического контакта по каждому каналу отдельно. Установка работает при температуре от -40 до +60 °С. Масса электронного блока составляет 5 кг.

Для оценки уровня работоспособности объекта не всегда достаточно знать форму и размеры имеющихся в нем локальных дефектов. Немалое влияние на остаточный ресурс объекта оказывает наличие остаточных напряжений в различных элементах его конструкции. Существует множество



приборов для оценки остаточных напряжений, основанных на измерении различных характеристик магнитных, электромагнитных или ультразвуковых полей. Их общим недостатком являются низкая точность измерения (20...25 %). В центре «Сварка и контроль» МГТУ им. Н. Э. Баумана разработан образец автоматизированной акустической системы, предназначенной для оценки структурных и прочностных характеристик материалов (рис. 4). Работа системы основана на анализе связи между параметрами спектров импульсов упругих волн, распространяющихся в исследуемом материале, и его физико-механическими и структурными характеристиками.



Рисунок 2.8 – Мультипрограммный восьмиканальный ультразвуковой дефектоскоп СК-2

В материал исследуемой детали или элемента конструкции излучаются упругие широкополосные акустические импульсы. Центральная частота спектра выбирается в диапазоне 1...15 МГц в зависимости от типа материала. В соответствии с толщиной исследуемого материала для анализа используют либо объемные, либо поверхностные волны.

Акустический импульс при распространении взаимодействует с основными компонентами структуры материала — зернами, микротрещинами, микропорами, внутренними напряжениями, влияющими на спектр сигнала. В процессе проведения комплекса обучающих экспериментов устанавливаются корреляционные или функциональные связи между спектрально-акустическими параметрами и структурно-

механическими характеристиками материала предполагаемого объекта обследования. В основу измерительного алгоритма положен способ определения временных задержек, фигурирующих в уравнениях, связывающих скорости распространения упругих волн с действующими упругими напряжениями.

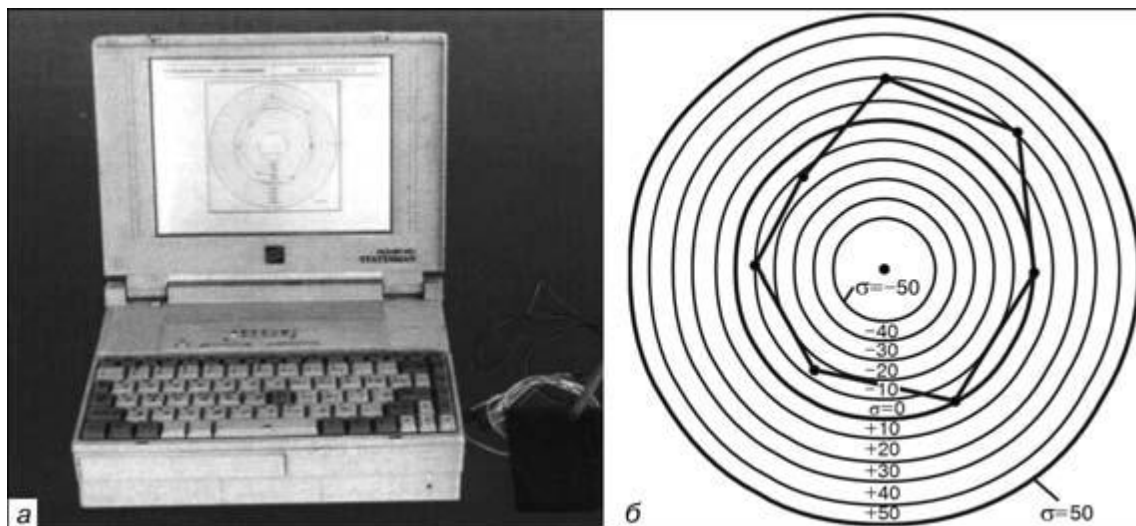


Рисунок 2.9 – Спектрально-акустическая система контроля механических напряжений «Астрон»: *а* – общий вид системы; *б* – определение напряжений по диаметру трубы

#### **2.4 Аппаратное обеспечение повышения эффективности методик контроля качества**

Для проведения автоматизированного контроля качества предложен аппаратный комплекс (рис. 2.10). В состав данного комплекса входит: съемная направляющая (1), каретка (2) с приводом для продольного движения, рама (3) с приводом для поперечного движения, механизм (4) перемещения искательных головок (6), держатель (5), датчик перемещения (7), дефектоскоп (8), блок питания (9), система анализа информации (10), кабель (12), катушка (11), подвеска (13), несущая емкость с контактной жидкостью, промежуточный кабель (25) и трубку для подачи жидкости (26).

Работа комплекса происходит следующим образом. Выполняют установку дефектоскопа 8, блока питания 9 и системы 10 анализа информации около контролируемого стыка на некотором от него расстоянии.

Далее выполняют закрепление на трубопроводе направляющей 1, на которую устанавливают каретку и все входящие в систему контроля элементы. Далее устанавливают подвеску 13, которую закрепляют с использованием прижимов. Размещают емкость с контактной жидкостью таким образом, чтобы она заняла вертикальное положение. В процессе установки подвески следует обеспечить длину петли, образуемой промежуточным жгутом 25 и гибкой трубкой 26, которая должна быть несколько больше, чем длина окружности стыка. С использованием ручного управления производят установку каретки 2 и рамки 3 в фиксированное исходное положение. Включение комплекса в работу осуществляется с дистанционного блока питания и управления 9.

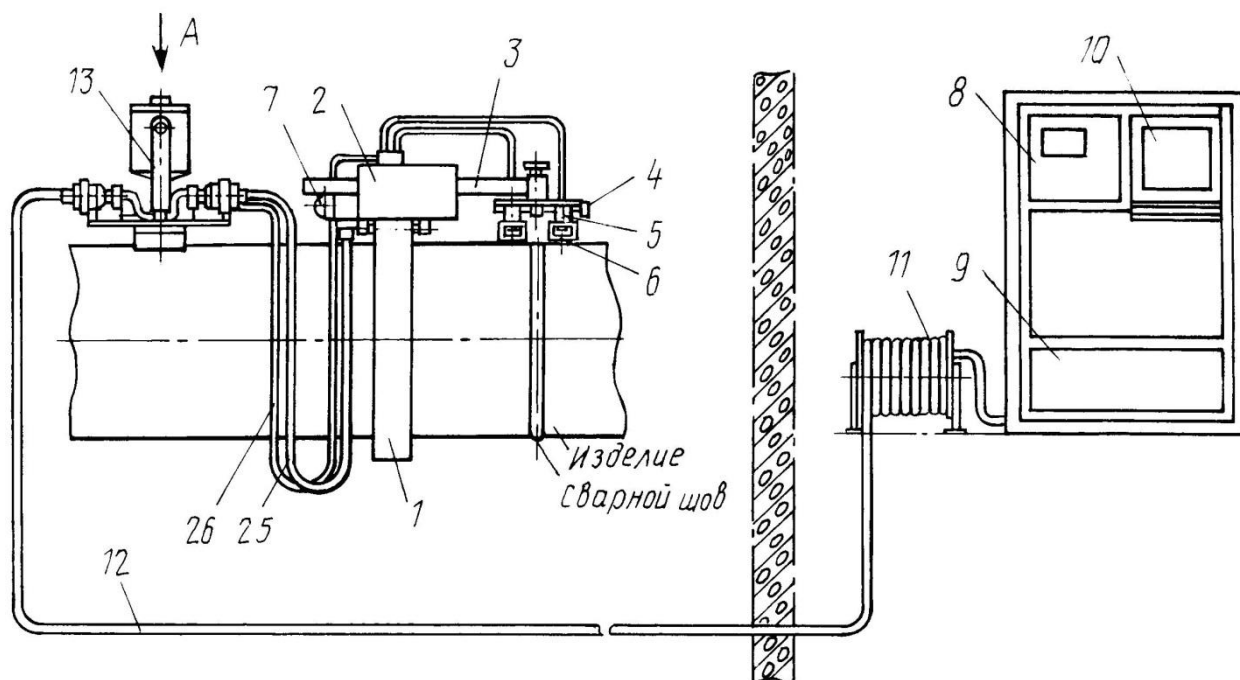
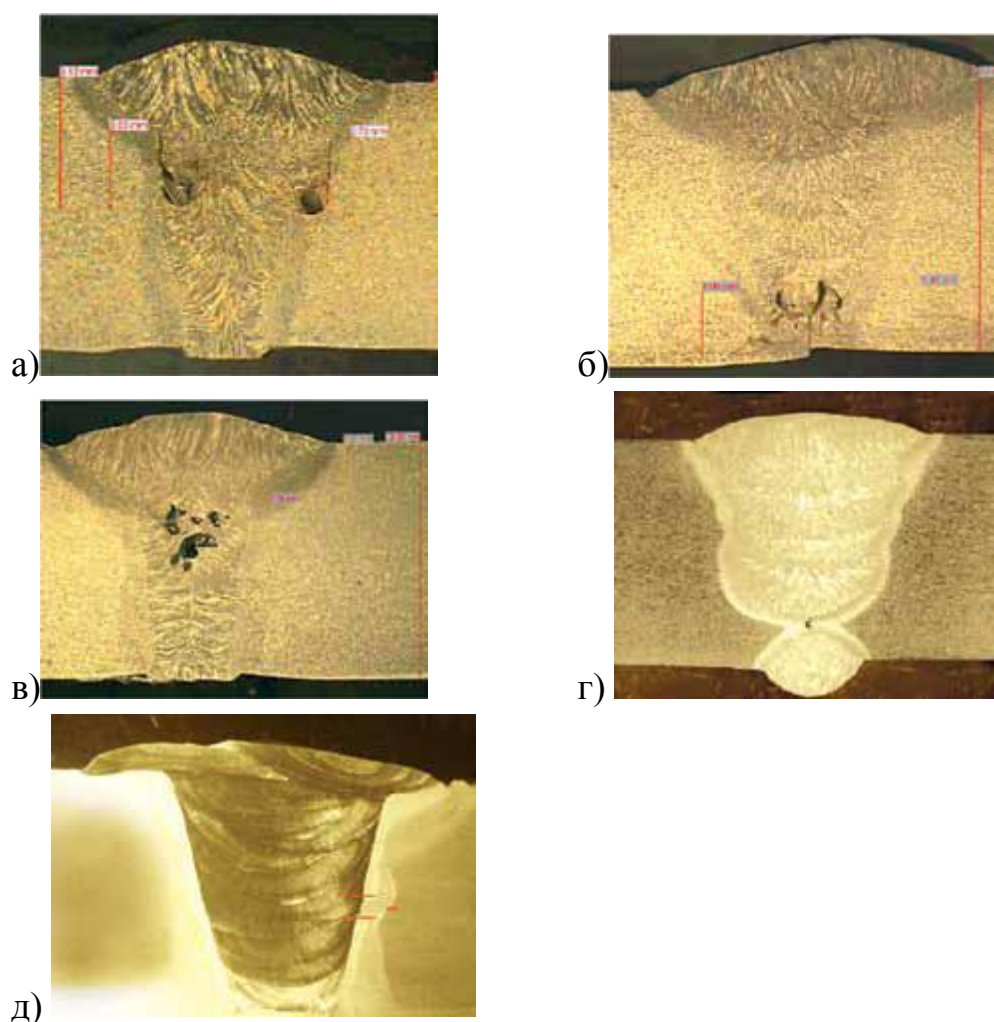


Рисунок 2.10 – Аппаратный комплекс для автоматизированного ультразвукового контроля кольцевых сварных соединений

После включения процесса контроля происходит включение насоса, и осуществляется подача контактной жидкости в искательные головки 6. После

того, как был установлен стабильный акустический контакт, производится включение приводов каретки 2 и рамы 3. Начинается перемещение по заданной траектории искательных головок согласно заложенной программе, выполняется прозвучивание всего сечения сварного шва. Обработка и регистрация сигналов от дефектов и от датчиков координат осуществляется системой 10. При движении каретки происходит уменьшение длины петли жгута 25, который в конце хода полностью выбирается, охватывая изделие. После окончания процесса контроля стыка происходит отключение приводов и насоса. Далее каретку, подвеску и направляющую снимают и переводят к следующему стыку.



а) несплавления, б) дефекты корня, в) скопления пор, г) непровар,  
д) несплавление по кромке

Рисунок 2.11 – Дефекты сварных швов, выявляемых в процессе автоматизированного ультразвукового контроля

## **3 Безопасность и экологичность технического объекта**

### **3.1 Технологическая характеристика объекта**

Технологии, в которых предусмотрено в качестве основной операции выполнение сварки представляют собой источник опасных и вредных производственных факторов. Этот факт приводит к дополнительному усложнению и повышению стоимости оборудования для сварки. В связи с этим становится необходимым проведение исследований, направленных на изучение взаимосвязи энергетических параметров процесса сварки (ток и напряжения на дуге), особенностей протекания процесса сварки и внешних условий, при котором он протекает, объемов выделений сварочного аэрозоля и других вредных веществ.

Влияние процесса сварки и контроля качества на гигиенические характеристики изучено в недостаточной мере. В экологическом разделе настоящей выпускной квалификационной работы будет выполнена сравнительная гигиеническая оценка технологии сварки и контроля качества и предложены меры защиты персонала от возникающих опасных и вредных факторов, сопровождающих проектную технологию.

Ручная дуговая сварка покрытыми электродами на сегодня востребована и, по прогнозам специалистов [29, 30], продолжит свое существование благодаря ряду преимуществ: относительно невысокой цене процесса и расходных материалов, возможности сварки во всех положениях и в труднодоступных местах, отсутствию жестких требований к квалификации сварщика. Вместе с тем уже более 50 лет продолжают поиски путей улучшения санитарно-гигиенических характеристик электродов. Определены факторы, влияющие на уровень выделения аэрозоля [31], который состоит из газообразной составляющей сварочного аэрозоля и твердой составляющей сварочного аэрозоля. Одним из главных факторов, определяющим уровень удельных выделений и химический состав твердой составляющей сварочного аэрозоля, является состав электродного покрытия,

поскольку именно оно при нагреве и плавлении является главным источником аэрозоля — 35...70 % от общего объема в зависимости от вида электродного покрытия [31, 32].

Таблица 3.1 - Технологический паспорт объекта

Операция, осуществляемая в рамках рассматриваемого технологического процесса	Должность работника, выполняющего данную операцию рассматриваемого технологического процесса	Оборудование, устройства и приспособления, которые будут применены при реализации данной операции рассматриваемого технологического процесса	Вещества и материалы, которые будут применены при реализации данной операции рассматриваемого технологического процесса
1. Подготовительная операция	Слесарь-сборщик	Кромкострогальный станок, машинка шлифовальная	СОЖ, абразивный круг
2. Сборочная операция	Слесарь-сборщик	Центратор типа ЦН	Сжатый воздух
3. Проведение предварительного подогрева собранного стыка труб	Электросварщик на автоматических и полуавтоматических машинах	Подогреватель стыков индукционный	-
4. Осуществление сварки стыка на трубопроводе	Электросварщик на автоматических и полуавтоматических машинах	Источник питания сварочной дуги, центратор типа ЦН, сварочный полуавтомат	Проволока присадочная, электроды LB-62
5. Проведение зачистки сварного шва	Слесарь-сборщик	машинка шлифовальная, зубило, молоток	Абразивный круг
6. Проведение контроля качества сварных стыков труб	Дефектоскопист рентгенографирования	Аппарат рентгеновский Арина 7	Плѐнка типа РП

### 3.2 Персональные риски, возникающие при реализации технологического процесса

Таблица 3.2 –Профессиональные риски, возникающие при реализации технологического процесса

Операция, осуществляемая в рамках рассматриваемого технологического процесса	Формулировка опасных и вредных производственных факторов, возникающих в процессе выполнения данной операции при реализации технологического процесса	Источник рассматриваемого фактора, возникающего в процессе выполнения данной операции при реализации технологического процесса
1	2	3
1. Подготовительная операция	- наличие на внешних поверхностях применяемого оборудования, приспособлений и инструмента острых кромок, заусенцев; - перемещающиеся в процессе выполнения подготовительной операции детали и узлы применяемого оборудования, приспособлений;	Кромкострогальный станок, машинка шлифовальная
2. Сборочная операция	- наличие на внешних поверхностях применяемого оборудования, приспособлений и инструмента острых кромок, заусенцев; - перемещающиеся в процессе выполнения сборочной операции детали и узлы применяемого оборудования, приспособлений;	Центратор типа ЦН
3. Проведение предварительного подогрева собранного стыка труб	- опасность замыкания на тело рабочего высокого напряжения, питающего производственное оборудование; - нагрев внешних поверхностей применяемого на операции оборудования, приспособлений, инструмента, свариваемых труб до высоких температур	Подогреватель стыков индукционный
4. Осуществление сварки стыка на трубопроводе	- опасность замыкания на тело рабочего высокого напряжения, питающего производственное оборудование; - нагрев внешних поверхностей применяемого на операции оборудования, приспособлений, инструмента, свариваемых труб до высоких температур; - ультрафиолетовое излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений; - инфракрасное излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений уровня инфракрасной радиации	Источник питания сварочной дуги, центратор типа ЦН, сварочный полуавтомат

Продолжение таблицы 3.2

1	2	3
5. Проведение зачистки сварного шва	- наличие на внешних поверхностях применяемого оборудования, приспособлений и инструмента острых кромок, заусенцев; - перемещающиеся в процессе выполнения сборочной операции детали и узлы применяемого оборудования, приспособлений; - опасность замыкания на тело рабочего высокого напряжения, питающего производственное оборудование;	машинка шлифовальная, зубило, молоток
6. Проведение контроля качества сварных стыков труб	- ионизирующее излучение в рабочей зоне сверх значений безопасных для здоровья. -	Аппарат рентгеновский Арина 7

### **3.3 Разработанные технические и организационные предложения по уменьшению выявленных при анализе проектной технологии профессиональных рисков**

Таблица 3.3 – Предложения по защите от вредных факторов производственного персонала

Перечень опасных и вредных производственных факторов, возникающих в процессе выполнения данной операции при реализации технологического процесса	Разработанные технические и организационные предложения, обеспечивающие минимальное действие вредного фактора на производственный персонал	Предлагаемые защитные средства для снижения действия вредного фактора на производственный персонал
1	2	3
1. Наличие на внешних поверхностях применяемого оборудования, приспособлений и инструмента острых кромок, заусенцев;	Инструктаж производственного персонала	Защитные перчатки, защитная одежда.



Продолжение таблицы 3.3

1	2	3
2. Перемещающиеся в процессе выполнения сборочной операции детали и узлы применяемого оборудования, приспособлений;	Ограждения перемещающихся деталей и узлов и их предохранительная окраска, предупреждающие плакаты.	-
3. Нагрев внешних поверхностей применяемого на операции оборудования, приспособлений, инструмента, свариваемых труб до высоких температур	Инструктаж производственного персонала	Защитные перчатки, защитная одежда.
4. Опасность замыкания на тело рабочего высокого напряжения, питающего производственное оборудование;	Устройство и периодический контроль заземления электрических машин и изоляции	-
5. Ультрафиолетовое излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений;	Осуществление экранирования зоны сварки с использованием щитов	Защитные перчатки и одежда, защитная маска.
6. Инфракрасное излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений уровня инфракрасной радиации	Экранирование зоны сварочных работ	Защитные перчатки и одежда, защитная маска.
7. Ионизирующее излучение в рабочей зоне сверх значений безопасных для здоровья.	Предупреждающие плакаты, обеспечение безопасного расстояния от источника излучения до оператора и безопасного времени пребывания в оператора в зоне излучения	-

### 3.4 Разработанные технические и организационные предложения по обеспечению пожарной безопасности на участке сварки

Таблица 3.4 – Предложения технического характера по обеспечению пожарной безопасности на участке сварки

Средства для тушения возгораний в начальной стадии	Перечень мобильных средств для проведения тушения возгорания	Перечень стационарных систем пожаротушения	Системы пожарной автоматика для проведения тушения возгорания	Пожарное оборудование на участке сварки	Средства индивидуальной защиты и спасения производственного персонала	Установленный на участке инструмент для ликвидации возгораний	Системы связи и оповещения на участке сварки
Ящики с песком, кошма, огнетушитель ОП-5	Специализированные автомобили (вызываются)	Нет	Нет	-	План эвакуации,	Ведро, лопата, багор, топор	Тревожная кнопка

Таблица 3.5 – Анализ опасных факторов возможного пожара участка сварки

Участок, подразделение	Производственное оборудование участка	Возможный класс пожара	Опасные факторы пожара	Дополнительные проявления факторов пожара
Участок, на котором осуществляется сварка стыков трубопровода	Кромкострогальный станок, машинка шлифовальная, источник питания сварочной дуги, генератор типа ЦН, сварочный полуавтомат, аппарат рентгеновский Арина 7	пожары, которые происходят за счет воспламенения и горения веществ и материалов на электроустановках, запитанных электрическим напряжением (Е)	Резкое повышение температуры на участке и вокруг него; выделение при горении токсичных продуктов и угарного газа; выделение аэрозолей, снижающих видимость на участке и вокруг него.	Короткие замыкания на оборудовании, запитанном высоким электрическим напряжением; действие на людей, находящихся в районе возгорания продуктов разложения составов, используемых для пожаротушения.

Таблица 3.6 – Разработанные организационные мероприятия для исключения возгораний на участке сварки

Перечень операций, осуществляемых в рамках разработанного технологического процесса	Наименование мероприятий	Наименование противопожарного оборудования, которым должен быть укомплектован участок
Подготовительная операция, сборочная операция, операция предварительного подогрева, операция сварки стыка, контрольные операции.	Обучение производственного персонала правилам Пожарной безопасности, размещение на территории производственного участка наглядной агитации по обеспечению пожарной безопасности. Обучение производственного персонала действиям в случае возгорания на производственном участке в режиме учений.	Необходимо следить за наличием на участке средств, предназначенных для тушения пожара в начальной стадии, исправностью тревожной кнопки системы оповещения о пожаре.

### 3.5 Оценка безопасности для природной среды предлагаемых технических решений

Таблица 3.7 – Анализ негативно влияющих на природную среду факторов предлагаемых технических решений

Анализируемый технологический процесс	Операции, осуществляемые в рамках анализируемого технологического процесса	Факторы, негативно влияющие на атмосферу	Факторы, негативно влияющие на гидросферу	Факторы, негативно влияющие на литосферу
Сварки трубопровода	Подготовительная операция, сборочная операция, операция предварительного подогрева, операция сварки стыка, контрольные операции	Выделяемые в процессе горения сварочной дуги аэрозоли, частицы сажи и газообразные частицы	Химикаты, используемые в процессе проявления рентгеновской пленки и закрепления полученного изображения.	Упаковочный материал от присадочных материалов, мусор – бытовой и производственный.

Таблица 3.8 – Предлагаемые организационно-технические мероприятия, по уменьшению негативно влияющих на природную среду факторов предлагаемых технических решений

Рассматриваемый технический объект в рамках проектной технологии	Сварка трубопровода
Мероприятия, уменьшающие негативное влияние на литосферу	На участке следует установить контейнеры, обеспечивающие селективный сбор мусора бытового и мусора производственного. Кроме того, отдельный контейнер необходим для сбора металлолома. Производственный персонал следует подробно проинструктировать по правилам сбора мусора и металлолома. На контейнерах должны быть вывешены таблички, разъясняющие их предназначение. .

### 3.6 Заключение по разделу

При выполнении экологического раздела настоящей выпускной квалификационной работы сформулированы опасные и вредные производственные факторы, возникающие в процессе выполнения операций при реализации технологического процесса. Выполнен поиск и анализ мероприятий, которые позволят устранить и уменьшить опасные и вредные производственные факторы. В ходе выполнения экологического раздела удалось установить, что возникающие в процессе реализации технологии сварки и контроля, опасные и вредные факторы устраняются или уменьшаются до приемлемого уровня путём применения стандартных средств по обеспечению безопасности и санитарии производства. Применительно к рассматриваемой технологии нет необходимости в разработке дополнительных средств и методик по защите персонала и окружающей среды. При внедрении проектной технологии возможно возникновение угроз экологической безопасности. Устранение этих угроз произойдёт при условии соблюдения технологического регламента и производственной санитарии.

## **4 Оценка экономической эффективности выпускной квалификационной работы**

### **4.1 Исходные данные для выполнения расчетов**

Выпускная квалификационная работа посвящена разработке технологических мероприятий по повышению производительности и качества операций контроля при строительстве магистрального трубопровода. Выполнение операций базового технологического процесса предусматривает применение ручной дуговой сварки штучными электродами. Это вызывает возникновение значительного числа дефектов и является причиной дополнительных временных затрат на ремонт дефектных участков. Проектный вариант технологии предусматривает применение автоматического контроля и дифференцированного подхода к объёму и выбору методик контроля качества стыков трубопровода. Предложенные технологические решения позволят уменьшить трудоемкость выполнения сварочных работ, достичь повышения стабильности качества соединений.

Расчёт экономической эффективности целесообразно провести на один сварной стык, учитывая операции технологии, подвергающиеся изменению по сравнению с базовым вариантом технологического процесса. Базовая и проектная технологии предусматривают выполнение следующих операций: заготовительной (первая операция); сборочной (вторая операция); предварительный нагрев (третья операция); сварочная (четвёртая операция); контроль качества (пятая операция).

В таблице 4.1 собраны и систематизированы коэффициенты, и иные данные, которые могут понадобиться при выполнении расчетов.

Таблица 4.1 – Исходные данные для выполнения расчетов

Наименование и сущность экономического показателя	Принятое в расчётах условное обозначение для показателя	Единица измерения рассматриваемого экономического показателя	Величина рассматриваемого показателя в соответствии с вариантом технологического процесса	
			Базовая	Проектная
1	2	3	4	5
Принятое число рабочих смен	Ксм	-	2	2
Значение нормы амортизационных отчислений применительно к рассматриваемому в соответствующей технологии оборудованию	На	%	21,5	21,5
Разряд сварщика	Р.р.		V	V
Значение часовой тарифной ставки	Сч	Р/час	200	200
Величина коэффициента, определяющего долю отчислений на формирование дополнительной заработной платы	Кдоп	%	12	12
Величина коэффициента, определяющего долю доплат к основной заработной плате	Кд		1,88	1,88
Величина коэффициента, определяющего долю отчислений на обеспечение социальных нужд	Ксн	%	30	30
Величина коэффициента, определяющего долю затрат на амортизационные отчисления на площади	На.пл.	%	5	5
Принятое значение стоимости эксплуатации производственных площадей	Сзксп	(Р/м <sup>2</sup> )/год	2000	2000
Цена приобретения производственных площадей	Цпл	Р/м <sup>2</sup>	3000	3000
Суммарная площадь, занимаемая оборудованием для обеспечения соответствующей технологии	S	м <sup>2</sup>	20	20
Величина коэффициента, определяющего долю транспортно-заготовительных расходов	Кт -з	%	5	5

Продолжение таблицы 4.1

1	2	3	4	5
Величина коэффициента, определяющего долю затраты на осуществление монтажа и демонтажа оборудования	Кмонт Кдем	%	3	5
Величина рыночной стоимости технологического оборудования для обеспечения соответствующей технологии: - Труборезный станок FPM-3456 - Источник питания DC-400 ideal arc - Установка рентгеновского контроля «Кроулер» С-300 - Центратор внешний - Газовый подогреватель стыка - Установка автоматического ультразвукового контроля	Цоб	Руб.	6863 тыс.	5663 тыс.
Величина коэффициента, определяющего долю затрат на дополнительную производственную площадь	Кпл	-	3	3
Задаваемое значение потребляемой мощности технологического оборудования	Муст	кВт	200	200
Принятое значение стоимости электрической энергии для обеспечения соответствующей технологии	Цэ-э	Р/ кВт	3,02	3,02
Величина коэффициента, определяющего временные затраты на выполнение нормы	Квн	-	1,1	1,1
Величина коэффициента полезного действия	КПД	-	0,7	0,7
Величина коэффициента, определяющего эффективность капитальных вложений	Ен	-	0,33	0,33
Величина коэффициента, определяющего долю цеховых расходов	Кцех	-	1,5	1,5
Величина коэффициента, определяющего долю заводских расходов	Кзав	-	1,15	1,15

## 4.2 Расчёт фонда времени

Значение годового фонда времени, в течение которого происходит работа рассматриваемого а базовой и проектной технологии оборудования, вычисляем согласно формуле:

$$F_H = (D_P \cdot T_{CM} - D_{II} \cdot T_{II}) \cdot C, \quad (4.1)$$

где  $T_{CM}$  – продолжительность в часах рабочей смены;

$D_P$  – суммарное для одного года число рабочих дней;

$D_{II}$  – суммарное для одного гола число предпраздничных дней;

$T_{II}$  – предполагаемые потери рабочего в часах времени от предпраздничных дней;

$C$  – принятое число рабочих смен.

После подстановки соответствующих значений в формулу (4.1) результаты вычисления:

$$F_H = (277 \cdot 8 - 7 \cdot 1) \cdot 2 = 4418 \text{ ч.}$$

Значение эффективного фонда времени, в течение которого происходит работа оборудования по базовому и проектному вариантам технологии вычисляем согласно формуле:

$$F_Э = F_H \cdot \left(1 - \frac{B}{100}\right), \quad (4.2)$$

где  $B$  – величина плановых потерь рабочего времени.

После подстановки соответствующих значений в формулу (4.2) результаты вычисления:

$$F_Э = 4418 \cdot \left(1 - \frac{7}{100}\right) = 4108 \text{ ч.}$$

## 4.3 Расчет нормы штучного времени на изменяющиеся операции технологического процесса

Определение временных затрат, требуемых для выполнения операций технологического процесса по базовому и проектному варианту технологий выполняем согласно формуле:



$$t_{\text{шт}} = t_{\text{МАШ}} + t_{\text{ВСП}} + t_{\text{ОБСЛ}} + t_{\text{ОТЛ}} + t_{\text{П-З}}, \quad (4.3)$$

где  $t_{\text{шт}}$  – общий объём времени, затрачиваемого работающим персоналом на операции базовой и проектной технологии;

$t_{\text{МАШ}}$  – объём времени, затрачиваемого рабочим персоналом основные технологические операции базовой и проектной технологии;

$t_{\text{ВСП}}$  – объём времени, затрачиваемого рабочим персоналом на подготовительные операции по базовой и проектной технологии, составляющие 10% от  $t_{\text{МАШ}}$ ;

$t_{\text{ОБСЛ}}$  – объём времени, затрачиваемы рабочим персоналом на проведение обслуживания, текущего и мелкого ремонта оборудования, составляющие 5%  $t_{\text{МАШ}}$ ;

$t_{\text{ОТЛ}}$  – объём времени, затрачиваемого рабочим персоналом на выполнение потребностей в личном отдыхе, составляющий 5%  $t_{\text{МАШ}}$ ;

$t_{\text{П-З}}$  – объём времени, затрачиваемого рабочим персоналом на выполнение подготовительно – заключительных операций, составляющий 1%  $t_{\text{МАШ}}$ .

После подстановки соответствующих значений в формулу (4.3) результаты вычисления:

$$t_{\text{шт.баз}} = 2,07 \cdot (100\% + 10\% + 5\% + 5\% + 1\%) = 2,5 \text{ ч.}$$

$$t_{\text{шт.проектн.}} = 1,49 \cdot (100\% + 10\% + 5\% + 5\% + 1\%) = 1,8 \text{ ч.}$$

Размер годовой программы проводимого объема работ вычисляем согласно формуле:

$$П_{\Gamma} = \frac{F_{\text{Э}}}{t_{\text{шт}}} \quad (4.4)$$

где  $F_{\text{Э}}$  – значение эффективного фонда времени оборудования, принимаемого для реализации проектной и базовой технологии;

$t_{\text{шт}}$  – штучное время, затрачиваемое на выполнение одного стыка;

После подстановки соответствующих значений в формулу (4.4) результаты вычисления:

$$Пг_{\text{баз.}} = 4108/2,5 = 1643 \text{ стыков за год};$$

$$Пг_{\text{проектн.}} = 4108/1,8 = 2282 \text{ стыков за год.}$$

Выполнение дальнейшего экономического расчёта будем вести исходя из принятого значения  $Пг = 1500$  стыков за год.

Необходимое количество оборудования для реализации проектного и базового технологического процесса вычисляем согласно формуле::

$$n_{\text{РАСЧ}} = \frac{t_{\text{шт}} \cdot Пг}{F_{\text{Э}} \cdot K_{\text{ВН}}} \quad (4.5)$$

где  $t_{\text{шт}}$  – штучное время, затрачиваемое на выполнение одного стыка;

$Пг$  – принятая годовая программа;

$F_{\text{Э}}$  – значение эффективного фонда времени оборудования, принимаемого для реализации проектной и базовой технологии;

$K_{\text{ВН}}$  – значение коэффициента, определяющего временные затраты на выполнение нормы.

После подстановки соответствующих значений в формулу (4.5) результаты вычисления:

$$n_{\text{баз.}} = \frac{2,5 \cdot 1500}{4108 \cdot 1,03} = 0,89$$

$$n_{\text{проектн.}} = \frac{1,8 \cdot 1500}{4108 \cdot 1,03} = 0,64$$

По результатам проведённых расчётов следует принять по одной единице технологического оборудования при реализации базовой технологии и проектной технологии.

Значение коэффициента загрузки оборудования вычисляем согласно формуле:

$$K_z = n_{\text{расч}}/n_{\text{пр}} \quad (4.6)$$

где  $n_{\text{РАСЧ}}$  – рассчитанное по (4.5) количество оборудования;

$n_{\text{пр}}$  – принятое количество оборудования.

После подстановки соответствующих значений в формулу (4.6) результаты вычисления:

$$K_{зб} = 0,89/1 = 0,89$$

$$K_{зп} = 0,64/1 = 0,64.$$

#### **4.4 Расчет заводской себестоимости базового и проектного вариантов технологии**

Размер затрат на материалы, которые требуются для реализации базовой и проектной технологии, вычисляем согласно формуле:

$$M = C_M \cdot H_p \cdot K_{т-з}, \quad (4.7)$$

где  $C_M$  – рыночная стоимость соответствующего сварочного материала;

$K_{т-з}$  – величина коэффициента, определяющего долю транспортно-заготовительных расходов.

Выполнение базового варианта технологического процесса сварки при строительстве магистрального трубопровода предусматривает применение ручной дуговой сварки штучными электродами. Это вызывает возникновение значительного числа дефектов и является причиной дополнительных временных затрат на ремонт дефектных участков. Проектный вариант технологии предусматривает применение автоматического контроля и дифференцированного подхода к объёму и выбору методик контроля качества стыков трубопровода. Предложенные технологические решения позволят уменьшить трудоемкость выполнения сварочных работ, достичь повышения стабильности качества соединений. На основании этого можно предположить, что масса наплавленного металла в базовой технологии будет превышать массу наплавленного металла в проектной технологии:

$$M_{\text{баз.}} = 300 \cdot 12,75 \cdot 1,05 = 4016,26 \text{ рублей}$$

$$M_{\text{проектн.}} = 300 \cdot 9,18 \cdot 1,05 = 2891,70 \text{ рублей}$$

Размер фонда заработной платы (ФЗП) является суммой основной зарплаты и дополнительной зарплаты. Размер основной зарплаты вычисляем согласно формуле:

$$З_{осн} = t_{шт} \cdot C_{ч} \cdot K_{д} \quad (4.8)$$

где  $C_{ч}$  – принятая тарифная ставка;

$K_{д}$  – величина коэффициента, определяющего долю доплат к основной заработной плате.

После подстановки соответствующих значений в формулу (4.8) результаты вычисления:

$$З_{осн.баз.} = 2,5 \cdot 200 \cdot 1,88 = 940,00 \text{ руб.}$$

$$З_{осн.проектн.} = 1,8 \cdot 200 \cdot 1,88 = 676,80 \text{ руб.}$$

Размер дополнительной заработной платы вычисляем согласно формуле:

$$З_{доп} = \frac{K_{доп}}{100} \cdot З_{осн} \quad (4.9)$$

где  $K_{доп}$  – величина коэффициента, определяющего долю отчислений на дополнительную заработную плату

После подстановки соответствующих значений в формулу (4.9) результаты вычисления:

$$З_{доп.базов.} = 940,00 \cdot 12/100 = 112,80 \text{ рублей;}$$

$$З_{доп.проектн.} = 676,80 \cdot 12/100 = 81,22 \text{ рублей;}$$

$$\PhiЗП_{базов..} = 940,0 + 112,8 = 1052,8 \text{ рублей;}$$

$$\PhiЗП_{проектн.} = 676,80 + 81,22 = 758,02 \text{ рублей.}$$

Размер отчислений на социальные нужды вычисляем согласно формуле:

$$Осн = \PhiЗП \cdot K_{сн} / 100, \quad (4.10)$$

где  $K_{сн}$  – величина коэффициента, определяющего долю затрат на обеспечение социальных нужд.

После подстановки соответствующих значений в формулу (4.10) результаты вычисления:

$$Осс_{баз.} = 1052,8 \cdot 30/100 = 357,95 \text{ руб.}$$

$$Осс_{проектн.} = 758,02 \cdot 30/100 = 257,73 \text{ руб.}$$

Размер затрат на содержание и эксплуатацию технологического оборудования вычисляем согласно формуле:

$$Z_{об} = A_{об} + P_{э-э}, \quad (4.11)$$

где  $A_{об}$  – амортизация оборудования;

$P_{э-э}$  – размер затрат на электрическую энергию;

Размер амортизации оборудования вычисляем согласно формуле:

$$A_{об} = \frac{Ц_{об} \cdot На \cdot t_{МАШ}}{F_{э} \cdot 100} \quad (4.12)$$

где  $Ц_{об}$  – рыночная стоимость оборудования для реализации проектной и базовой технологии;

$На$  – норма амортизации технологического оборудования для реализации проектной и базовой технологии.

После подстановки соответствующих значений в формулу (4.12) результаты вычисления:

$$\dot{A}_{i \dot{a}} \dot{a} = \frac{6863000 \cdot 21,5 \cdot 2,5}{4108 \cdot 100} = 897,97 \text{ рублей}$$

$$\dot{A}_{i \dot{a}} \dot{i} \dot{\delta} = \frac{5663000 \cdot 21,5 \cdot 1,8}{4108 \cdot 100} = 533,49 \text{ рублей}$$

Размер расходов на электроэнергию вычисляем согласно формуле:

$$P_{э-э} = \frac{M_{уст} \cdot t_{маш} \cdot Ц_{э-э}}{КПД} \quad (4.13)$$

где  $M_{уст}$  – мощность оборудования для реализации проектной и базовой технологии;

$Ц_{э-э}$  – стоимость электрической энергии при реализации проектной и базовой технологии;

КПД – значение коэффициента полезного действия оборудования для реализации проектной и базовой технологии.

После подстановки соответствующих значений в формулу (4.13) результаты вычисления:

$$P_{\text{э-эб}} = \frac{200 \cdot 2,5 \cdot 3,02}{0,7} = 1250,00 \text{ рублей}$$

$$P_{\text{э-эпр}} = \frac{200 \cdot 1,8 \cdot 3,02}{0,7} = 900,00 \text{ рублей}$$

$$Зоб_{\text{баз.}} = 897,97 + 1250,00 = 2147,97 \text{ рублей}$$

$$Зоб_{\text{проектн.}} = 533,49 + 900,00 = 1433,49 \text{ рублей}$$

Размер технологической себестоимости вычисляем согласно формуле:

$$C_{\text{ТЕХ}} = M + \PhiЗП + O_{\text{сс}} + З_{\text{об}} \quad (4.14)$$

После подстановки соответствующих значений в формулу (4.14) результаты вычисления:

$$C_{\text{ТЕХБаз.}} = 4016,26 + 1052,8 + 357,95 + 2147,97 = 7574,98 \text{ руб.}$$

$$C_{\text{ТЕХПроектн.}} = 2891,70 + 758,02 + 257,73 + 1433,49 = 5340,94 \text{ руб.}$$

Размер цеховой себестоимости вычисляем согласно формуле:

$$C_{\text{ЦЕХ}} = C_{\text{ТЕХ}} + З_{\text{осн}} \cdot K_{\text{ЦЕХ}} \quad (4.15)$$

где  $K_{\text{ЦЕХ}}$  – величина коэффициента, определяющего долю цеховых расходов при реализации проектной и базовой технологии.

После подстановки соответствующих значений в формулу (4.15) результаты вычисления:

$$C_{\text{ЦЕХБаз.}} = 7574,98 + 1,5 \cdot 940,0 = 7574,98 + 1410,0 = 8984,98 \text{ руб.},$$

$$C_{\text{ЦЕХПроектн.}} = 5340,94 + 1,5 \cdot 676,80 = 5340,94 + 1015,20 = 6356,14 \text{ руб.}$$

Размер заводской себестоимости вычисляем согласно формуле:

$$C_{\text{ЗАВ}} = C_{\text{ЦЕХ}} + З_{\text{осн}} \cdot K_{\text{ЗАВ}} \quad (4.16)$$

где  $K_{\text{ЗАВ}}$  – величина коэффициента, определяющего долю заводских расходов при реализации проектной и базовой технологии.

После подстановки соответствующих значений в формулу (4.19) результаты вычисления:

$$C_{\text{ЗАВБаз.}} = 8984,98 + 1,15 \cdot 940,0 = 8984,98 + 1081 = 10065,98 \text{ руб.},$$

$$C_{\text{ЗАВПроектн.}} = 6356,14 + 1,15 \cdot 676,80 = 6356,14 + 778,32 = 7134,46 \text{ руб.}$$

#### 4.5 Калькуляция заводской себестоимости базовой и проектной технологии

Таблица 4.2 – Заводская себестоимость сварки

№ п/п	ПОКАЗАТЕЛИ	Услов. обозн.	Калькуляция., руб	
			Базовый	Проектн.
1	Материалы	М	4016,26	2891,70
2	Фонд заработной платы	ФЗП	1052,8	758,02
3	Отчисления на соц. нужды	О <sub>сн</sub>	357,95	257,73
4	Затраты на оборудование	Зоб	2147,97	1433,49
	Себестоимость технологич.	Стех	7574,98	5340,94
6	Расходы цеховые	Рцех	1410,0	1015,20
	Себестоимость цеховая	Сцех	8984,98	6356,14
7	Расходы заводские	Рзав	1081	778,32
	Себестоимость заводская	С <sub>зав</sub>	10065,98	7134,46

#### 4.6 Капитальные затраты по базовому и проектной технологиям

Размер капитальных затрат, требующихся для реализации базовой технологии, вычисляем согласно формуле:

$$K_{\text{ОБЩБ}} = K_{\text{ОББ}} = n \cdot Ц_{\text{ОБ.Б}} \cdot K_{\text{З.Б.}}, \quad (4.17)$$

где  $K_{\text{З}}$  – величина коэффициента, определяющего долю загрузки технологического оборудования;

$Ц_{\text{ОБ.Б}}$  – размер в рублях остаточной стоимости оборудования, определяемый согласно сроку службы;

$n$  – принятое количество единиц оборудования для выполнения заданной производственной программы по базовой технологии.

$$Ц_{\text{ОБ.Б}} = Ц_{\text{ПЕРВ.}} - (Ц_{\text{ПЕРВ.}} \cdot T_{\text{СЛ}} \cdot N_A / 100), \quad (4.18)$$

где  $Ц_{\text{ПЕРВ}}$  – рыночная стоимость в рублях приобретения технологического оборудования для реализации базовой технологии;

$T_{\text{СЛ}}$  – срок службы в годах оборудования для реализации базовой технологии на начало внедрения предлагаемых в выпускной квалификационной работе технических решений;

$N_A$  – норма амортизации в процентах оборудования для реализации базового технологического процесса.

После подстановки соответствующих значений в формулу (4.20) и в формулу (4.21) результаты вычисления:

$$\text{Ц}_{\text{ОБ.Баз.}} = 6863000 - (6863000 \cdot 3 \cdot 21,5/100) = 2436365 \text{ рублей}$$

$$\text{К}_{\text{ОБЩБаз.}} = 1 \cdot 2436365 \cdot 0,89 = 2168364 \text{ рублей}$$

Размер общих капитальных затрат для реализации проектной технологии вычисляем согласно формуле:

$$\text{К}_{\text{ОБЩПР}} = \text{К}_{\text{ОБПР}} + \text{К}_{\text{ПЛПР}} + \text{К}_{\text{СОППР}} \quad (4.19)$$

где  $\text{К}_{\text{ОБ}}$  – принятая величина капитальных вложений в технологическое оборудование;

$\text{К}_{\text{ПЛ}}$  – принятая величина капитальных вложений в площади (поскольку базовый и проектный вариант технологии предполагает использование одной и той же площади, размеры площади не изменились, поэтому расчёта капитальных вложений в площади не производим);

$\text{К}_{\text{СОП}}$  – принятая величина сопутствующих капитальных вложений.

$$\text{К}_{\text{ОБПроектн.}} = \text{Ц}_{\text{ОБПР}} \cdot \text{К}_{\text{Т-З}} \cdot \text{К}_{\text{ЗБ}} \quad (4.20)$$

После подстановки соответствующих значений в формулу (4.20) результаты вычисления:

$$\text{К}_{\text{ОБПроектн.}} = 5663000 \cdot 1,05 \cdot 0,64 = 3805536 \text{ руб.}$$

$$\text{К}_{\text{СОП}} = \text{К}_{\text{ДЕМ}} + \text{К}_{\text{МОНТ}} \quad (4.21)$$

где  $\text{К}_{\text{ДЕМ}}$  – размер затрат на демонтаж оборудования для реализации базовой технологии;

$\text{К}_{\text{МОНТ}}$  – величина коэффициента, определяющего долю расходов на монтаж оборудования.

$$\text{К}_{\text{ДЕМ}} = \text{Ц}_B \cdot \text{К}_{\text{ДЕМ}} \quad (4.22)$$



где  $K_{\text{ДЕМ}}$  – величина коэффициента, определяющего долю расходов на демонтаж оборудования.

После подстановки соответствующих значений в формулу (4.25) результаты вычисления:

$$K_{\text{ДЕМ}} = 1 \cdot 6863000 \cdot 0,05 = 343150 \text{ руб.}$$

$$K_{\text{МОНТ}} = \Pi_{\text{ПР}} \cdot K_{\text{МОНТ}}, \quad (4.23)$$

где  $K_{\text{МОНТ}}$  – величина коэффициента, определяющего долю затрат на монтаж оборудования для реализации проектной технологии.

После подстановки соответствующих значений в формулу (4.21) и в формулу (4.22) результаты вычисления:

$$K_{\text{МОНТ}} = 5663000 \cdot 0,05 = 283150 \text{ руб.}$$

$$K_{\text{СОП}} = 343150 + 283150 = 626300 \text{ руб.}$$

$$K_{\text{ОБЩПроектн.}} = 3805536 + 626300 = 4431836 \text{ руб.}$$

Размер дополнительных капитальных вложений вычисляем согласно формуле:

$$K_{\text{ДОП}} = K_{\text{ОБЩПР}} - K_{\text{ОБЩБ}}. \quad (4.24)$$

После подстановки соответствующих значений в формулу (4.24) результаты вычисления:

$$K_{\text{ДОП}} = 4431836 - 2168364 = 2263472 \text{ руб.}$$

Размер удельных капитальных вложений вычисляем согласно формуле:

$$K_{\text{УД}} = \frac{K_{\text{ОБЩ}}}{\Pi_{\text{Г}}}, \quad (4.25)$$

где  $\Pi_{\text{Г}}$  – принятое значение годовой программы.

После подстановки соответствующих значений в формулу (4.25) результаты вычисления:

$$K_{\text{УДБаз.}} = 2168364 / 1500 = 1445 \text{ руб./ед.}$$

$$K_{\text{УДПроектн.}} = 4431836 / 1500 = 2954 \text{ руб./ед.}$$

#### 4.7 Показатели экономической эффективности проектной технологии

Снижения трудоемкости вычисляем согласно формуле:

$$\Delta t_{\text{ШП}} = \frac{t_{\text{ШПБ}} - t_{\text{ШППР}}}{t_{\text{ШПБ}}} \cdot 100\% \quad (4.26)$$

После подстановки соответствующих значений в формулу (4.29) результаты вычисления:

$$\Delta t_{\phi \delta} = \frac{2,5 - 1,8}{2,5} \cdot 100\% = 28\%$$

Показатель повышения производительности труда вычисляем согласно формуле:

$$П_{\Gamma} = \frac{100 \cdot \Delta t_{\text{ШП}}}{100 - \Delta t_{\text{ШП}}} \quad (4.27)$$

После подстановки соответствующих значений в формулу (4.30) результаты вычисления:

$$\dot{I}_{\phi \delta} = \frac{100 \cdot 28}{100 - 28} = 39\%$$

Снижение технологической себестоимости труда вычисляем согласно формуле:

$$\Delta C_{\text{ТЕХ}} = \frac{C_{\text{ТЕХБ}} - C_{\text{ТЕХПР}}}{C_{\text{ТЕХБ}}} \cdot 100\% \quad (4.28)$$

После подстановки соответствующих значений в формулу (4.31) результаты вычисления:

$$\Delta \tilde{N}_{\phi \delta} = \frac{7574,98 - 5340,94}{7574,98} \cdot 100\% = 29,5\%$$

Условно-годовую экономию (ожидаемую прибыль) вычисляем согласно формуле:

$$Пр_{\text{ож.}} = \mathcal{E}_{\text{у.г.}} = \left( C_{\text{зав}}^{\text{б}} - C_{\text{зав}}^{\text{пр}} \right) \cdot П_{\Gamma} \quad (4.29)$$

После подстановки соответствующих значений в формулу (4.32) результаты вычисления:

$$\text{Э}_{\text{УГ}} = (10065,98 - 7134,46) \cdot 1500 = 4397280 \text{ руб.}$$

Срок окупаемости дополнительных капитальных вложений вычисляем согласно формуле:

$$T_{\text{ОК}} = \frac{K_{\text{Доп}}}{\text{Э}_{\text{УГ}}} \quad (4.33)$$

После подстановки соответствующих значений в формулу (4.33) результаты вычисления:

$$\dot{O}_{\text{ГЭ}} = \frac{2263472}{4397280} = 0,51$$

Годовой экономический эффект в сфере производства вычисляем согласно формуле:

$$\text{ЭГ} = \text{Э}_{\text{УГ}} - \text{Ен} \cdot K_{\text{Доп}} \quad (4.34)$$

После подстановки соответствующих значений в формулу (4.34) результаты вычисления:

$$\text{ЭГ} = 4397280 - 0,33 \cdot 2263472 = 3650334 \text{ руб.}$$

#### **4.8 Заключение по экономическому разделу**

Экономический раздел настоящей выпускной квалификационной работы посвящён определению основных экономических показателей, которые могут охарактеризовать проектную и базовую технологии: технологической и заводской себестоимости сварки.

В ходе выполнения расчётов установлено, что проектная технология при внедрении в производство позволит получить положительные эффекты: уменьшить трудоемкость на 28 %, увеличить производительность труда на 39 %, уменьшить технологическую себестоимость на 29,5 %. Размер расчётной величины условно-годовой экономии составил 4,397 млн. рублей.

Размер годового экономического эффекта, оцененный с учетом капитальных вложений в приобретаемое технологическое оборудование, составил 3,650 млн. рублей. Финансовые затраты на капитальные вложения в технологическое оборудование окупятся за 0,5 года.

Вышеизложенное позволяет сделать вывод о высокой экономической эффективности предлагаемых в выпускной квалификационной работе технологических решений.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей выпускной квалификационной работе была поставлена цель – повышение надёжности магистральных трубопроводов за счёт разработки методики контроля качества их сварки.

На основании проведённого анализа были сформулированы задачи выпускной квалификационной работы, последовательное выполнение которых позволит достигнуть поставленной цели:

1) Выполнить анализ возникающих при сварке магистральных трубопроводов дефектов, выявить наиболее опасные дефекты.

2) На основании анализа применяемых способов контроля качества сварки магистральных трубопроводов предложить меры по повышению эффективности методик неразрушающего контроля.

3) Предложить перспективный способ контроля качества сварки магистральных трубопроводов.

По результатам поиска и анализа источников научно-технической информации принято решение, что самыми информативными, имеющими легко понимаемые результаты, являются радиографический и ультразвуковой методы контроля сварных соединений

Анализ статистических данных позволил произвести оценку выявляемости дефектов при применении различных методик контроля качества сварных соединений. Установлено, что такие дефекты как непровар и поры являются самыми трудновыявляемыми. Анализ статистических данных позволил произвести оценку влияния дефектов на характер и частоту разрушения магистральных трубопроводов. Установлено, что как раз поры и непровары вносят наибольший вклад в отрицательную статистику по авариям на магистральных трубопроводах.

В выпускной квалификационной работе предложены принципы построения аппаратуры для проведения автоматического ультразвукового контроля качества сварки стыков магистральных трубопроводов.

В ходе выполнения экологического раздела выполнен анализ экологической безопасности предлагаемых в выпускной квалификационной работе технических решений и предложены меры по защите персонала от вредных и опасных факторов, которые возникают при реализации проектной технологии.

Анализ экономической эффективности предложенных решений позволил установить, что внедрение результатов выпускной квалификационной работы в производство позволит получить годовой экономический эффект в размере 3,65 млн. рублей.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1) Головкин, В.В. Моделирование состава неметаллических включений в металле сварных швов высокопрочных низколегированных сталей / В.В. Головкин // Автоматическая сварка. – 2001. – № 5. – С. 3–7.

2) Головкин, В.В. Влияние неметаллических включений на формирование структуры металла сварных швов высокопрочных низколегированных сталей / В.В. Головкин, И.К. Походня // Автоматическая сварка. – 2013. – № 6. – С. 3–11.

3) Алёшин, Н.П. Новые информационные системы неразрушающего контроля и диагностики сварных конструкций / Н.П. Алёшин // Автоматическая сварка. – 2003. – № 10–11. – С. 64–69.

4) Ланге, Б.С. Разработка методологии комплексной оценки качества магистральных трубопроводов в процессе строительного контроля: Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. – Москва: Российской государственной университет нефти и газа им. И.М. Губкина. – 2012.

5) Ковалевич, О.М. Риск в техногенной сфере. М. Издательский дом МЭИ, 2006. – 148 с.

6) Стеклов, О.И. Анализ рисков магистральных газопроводов России по данным мониторинга результатов внутритрубной диагностики / О.И. Стеклов, Д.П. Варламов // Сварочное производство. – 2013. - № 9.

7) Варламов, Д.П. Мониторинг дефектности магистральных газопроводов / Д.П. Варламов, В.А. Канайкин, А.Ф. Матвиенко. – Екатеринбург: УрО РАН, 2008. – 120 с.

8) Варламов, Д.П. Повышение надёжности магистральных газопроводов при использовании многократной внутритрубной дефектоскопии / Д.П. Варламов, В.Н. Дедешко, В.А. Канайкин, О.И. Стеклов // Автоматическая сварка. – 2012. – № 3. – С. 28–34.

9) Шлепаков, В.Н. Современные электродные материалы и способы электродуговой сварки плавлением / В.Н. Шлепаков // Автоматическая сварка. – 2011. – № 1. – С. 31–35.

10) Троицкий, В.А. Новые возможности радиационного контроля качества сварных соединений / В.А. Троицкий // Автоматическая сварка. – 2015. – № 7. – С. 56-60.

11) Троицкий, В.А. Флэш-радиография // Территория ND. – 2013. – октябрь–декабрь. – С. 44–49.

12) Майоров, А.А. Цифровые технологии в радиационном контроле // В мире неразрушающего контроля. – 2009. – № 3. – С. 21–24.

13) Троицкий, В.А. Современные системы радиационного неразрушающего контроля / В.А. Троицкий, С.Р. Михайлов, Р.А. Пастовенский, Д.С. Шило // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2015. – № 1. – С. 23–35.

14) Степанов, А.В., Ложкова Д.С., Косарина Е.С. Компьютерная радиография результатов практических исследований возможности замены пленочных технологий. – М.: ВИАМ, 2010. – С. 11–14.

15) Грудский, А.Я., Величко В.Я. Оцифровка радиографических снимков – это не очень просто // В мире неразрушающего контроля. – 2011. – № 4. – С. 32–34.

16) Особенности применения комплексов цифровой радиографии при неразрушающем контроле корпусного производства / Н.К. Цветкова, К.А. Новицкая, А.В. Кологов, В.Г. Смирнов // Технология машиностроения. – 2014. – № 7. – С. 47–50.

17) Варламов, А.Н. Опыт эксплуатации комплекса цифровой радиографии в полевых условиях // В мире неразрушающего контроля. – 2014. – 63. – С. 25–28.

18) Майоров, А.А. Рентгеновское телевидение в промышленном НК // В мире неразрушающего контроля. – 2007. – № 1(35). – С. 4–9.



19) Zscherpel U., Ewert U., Bavendiek K. Possibilities and Limits of Digital Industrial Radiology: The new high contrast sensitivity technique – Examples and system theoretical analysis. – Lyon, June, 2007.

20) ГОСТ 27947–88. Контроль неразрушающий. Рентгентелевизионный метод. Общие требования. – М., 1988. – 11 с.

21) ГОСТ 29025–91. Дефектоскопы рентгентелевизионные. Общие технические требования. – М., 1991. – 12 с.

22) Сенцов, С.И. Влияние системы менеджмента качества строительства на безотказность работы магистральных трубопроводов: диссертация на соискание учёной степени доктора технических наук. – Москва: Российской государственной университет нефти и газа им. И.М. Губкина. – 2009.

23) Амирджанова, И.Ю. Правила оформление выпускных квалификационных работ: учебно-методическое пособие / И.Ю. Амирджанова, Т.А. Варенцова, В.Г. Виткалов, А.Г. Егоров, В.В. Петрова – Тольятти : ТГУ, 2019. – 145 с.

24) Горина, Л. Н. Обеспечение безопасных условий труда на производстве: учебное пособие / Л. Н. Горина. – Тольятти: ТолПИ, 2000. – 68 с.

25) Белов, С. В. Охрана окружающей среды / С. В. Белов. – М.: Машиностроение, 1990. – 372с.

26) Брауде, М. З. Охрана труда при сварке в машиностроении / М. З. Брауде, Е. И. Воронцова, С. Я. Ландо. – М.: Машиностроение, 1978. – 144 с.

27) Манойлов, В. Е. Основы электробезопасности / В. Е. Манойлов. – Л.: Энергоатомиздат, Ленинградское отделение, 1991. – 480 с.

28) Головатюк, А.П. Интенсивность образования аэрозолей при ручной сварке модулированным током / А.П. Головатюк, В.С. Сидорук, О.Г. Левченко и др. // Автоматическая сварка. – 1985. – № 2. – С. 39–40.

29) Походня, И.К. Сварочные материалы: состояние и тенденции развития // Автоматическая сварка. – 2003. – № 3. – С. 9–20.

30) Маковецкая, О.К. Основные тенденции на рынке сварочной техники в 2008–2011 гг. и прогноз его развития // Автоматическая сварка. – 2012. – № 6. – С. 44–50.

31) Voitkevich V. Welding fumes: formation, properties and biological effects. – Cambridge: Abington publ., 1995. – 110 p.

32) Походня, И.К. Металлургия дуговой сварки. Процессы в дуге и плавление электродов / И.К. Походня, В.Н. Горпенюк, С.С. Миличенко [и др.]; под ред. акад. И.К. Походни. – Киев: Наук. думка, 1990. – 222 с.