

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)

15.03.01 «Машиностроение»
(код и наименование направления подготовки, специальности)

«Современные технологические процессы изготовления деталей
в машиностроении»
(направленность (профиль)/специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему Технологический процесс и оборудование для восстановительной
наплавки вала гидротурбины

Студент

М.Ю. Паньшинский

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент К.В. Моторин

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

Консультанты

к.т.н., доцент Н.В. Зубкова

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

к.т.н., доцент О.М. Сярдова

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

Тольятти 2022

Аннотация

В настоящее время российские ГЭС обеспечивают стабильность работы, используя принцип планово-предупредительного ремонта или профилактического обслуживания. При проведении этих работ учитываются требования нормативной документации. Поскольку вследствие развития технологий производства и ремонта деталей машин срок службы элементов оборудования увеличивается, на первое место выходят вопросы обеспечения надёжности их эксплуатации.

Цель выпускной квалификационной работы – повышение производительности и качества восстановительной наплавки валов гидротурбин.

Достижение поставленной цели осуществлялось путём решения следующих задач:

- обоснование выбора способа ремонтной наплавки вала гидротурбины (для этого необходимо было провести анализ преимуществ и недостатков рассматриваемых способов и выбрать способ с учётом выставленных экспертных оценок);
- построение проектной технологии ремонтной наплавки вала гидротурбины (необходимо было привести перечень операций, назначить параметры режима, выбрать основное и вспомогательное оборудование);

При выполнении экологического раздела выполнен анализ предлагаемых технологических решений на предмет безопасности труда, пожарной безопасности и экологической безопасности.

При выполнении экономического раздела проведены экономические расчёты по затратам на осуществление базовой и проектной технологий, на основании которых следует сделать вывод о экономической эффективности предлагаемых в выпускной квалификационной работе решений.

Содержание

| | |
|--|----|
| Введение | 5 |
| 1 Современное состояние восстановления валов гидротурбин. | 7 |
| 1.1 Сведения о детали, условиях эксплуатации и возникающих дефектах. | 7 |
| 1.2 Сведения о материале детали. | 9 |
| 1.3 Особенности базовой технологии ремонтной наплавки вала гидротурбины. | 12 |
| 1.4 Анализ источников научно-технической информации по вопросу восстановительной наплавки валов гидротурбин. | 16 |
| 1.5 Формулировка задач выпускной квалификационной работы | 18 |
| 2 Оборудование и технология для наплавки вала гидротурбины. | 20 |
| 2.1 Схема восстановления работоспособности детали и формулировка возможных способов наплавки | 20 |
| 2.2 Ручная дуговая наплавка. | 21 |
| 2.3 Наплавка под флюсом | 22 |
| 2.4 Плазменная наплавка. | 24 |
| 2.5 Вибродуговая наплавка. | 26 |
| 2.6 Наплавка в защитных газах плавящимся электродом | 28 |
| 2.7 Наплавка в инертных газах неплавящимся электродом | 31 |
| 2.8 Обоснование выбора способа восстановительной наплавки изделия. | 33 |
| 2.9 Проектная технология восстановительной наплавки валов гидротурбин | 37 |
| 3 Экологическая экспертиза результатов выпускной квалификационной работы. | 45 |
| 3.1 Технологическая характеристика объекта | 45 |
| 3.2 Идентификация профессиональных рисков | 47 |

| | |
|---|----|
| 3.3 Предлагаемые меры по уменьшению воздействия на персонал негативных производственных факторов. | 48 |
| 3.4 Пожарная безопасность на производстве. | 50 |
| 3.5 Экологическая безопасность проектной технологии. | 52 |
| 4 Экономическое обоснование предлагаемых в выпускной квалификационной работе технологических решений. | 55 |
| 4.1 Исходные данные для выполнения расчётов по экономической эффективности. | 55 |
| 4.2 Расчёт объёмов фонда времени. | 58 |
| 4.3 Расчет штучного времени | 59 |
| 4.4 Заводская себестоимость проектного и базового вариантов технологии. | 61 |
| 4.5 Капитальные затраты по проектному и базовому вариантам технологии. | 65 |
| 4.6 Показатели экономической эффективности проектного варианта технологии. | 67 |
| Заключение | 71 |
| Список используемой литературы и используемых источников. | 73 |

Введение

Как показывают прогнозы [16], в XXI столетии ожидается удвоение общего энергопотребления. При этом наиболее интенсивно будет расти производство электрической энергии, к 2030 году оно будет потреблять до 40 % всех добываемых энергоресурсов. Повышение экологических требований делает актуальным повышение роли гидроэлектростанций, которые не загрязняют окружающую среду отходами сжигания угля, нефти и газа.

В настоящее время российские ГЭС обеспечивают стабильность работы, используя принцип планово-предупредительного ремонта или профилактического обслуживания. При проведении этих работ учитываются требования нормативной документации [23], [24]. Поскольку вследствие развития технологий производства и ремонта деталей машин срок службы элементов оборудования увеличивается, на первое место выходят вопросы обеспечения надёжности их эксплуатации.

Также необходимо принимать во внимание, что длительная эксплуатация приводит к старению элементов оборудования, которое проявляется не только в накоплении дефектов, но и индивидуальных отличий каждого типового элемента, что приводит к существенным отличиям между проектируемыми условиями его работы и фактическими условиями, в которых происходит эксплуатация детали. В стареющей детали происходит активизация процессов деградации, изменения её геометрии. Это приводит к существенному отклонению её поведения от моделируемого поведения при проектировании электростанций.

В настоящее время следует признать актуальность вопроса повышения надёжности элементов гидроагрегатов, к которым относится вал гидротурбины. Большинство агрегатов, применяющихся на российских ГЭС, имеют срок службы 30 лет и уже выработали свой ресурс [5]. Значительное количество агрегатов введено в эксплуатацию в 60...70 года XX столетия и

имеют наработку более 350 тысяч часов, что составляет срок службы 40...50 лет.

Безопасная эксплуатация такого оборудования требует обеспечения выполнения своих функций без возникновения недопустимых рисков для окружающей среды и персонала. В связи с этим ресурс вала гидротурбины должен определяться моментом перехода в предельное состояние, при котором дальнейшая безопасная эксплуатация невозможна. Срок перехода в предельное состояние определяется индивидуально для каждого вала гидротурбины и может быть отодвинут за счёт применения восстановительных технологий.

При восстановлении вала гидротурбины и уплотнении прилегания его элементов широко применяется наплавка нержавеющей сталей на рабочие поверхности валов [8]. При этом глубина наплавки может составлять 5 мм и более.

Использование элементов оборудования с превышением нормативного срока службы на силовых гидравлических агрегатах приводит к возникновению нежелательных последствий:

- повышение вероятности возникновения техногенных катастроф;
- возникновение угрозы жизни и здоровью населения;
- нарушение стабильности обеспечения жителей электрической энергией;
- повышение материальных затрат на устранение аварий элементов оборудования;
- повышение времени простоя оборудования из-за увеличения сроков ремонта.

На основании вышеизложенного следует признать актуальной целью выпускной квалификационной работы – повышение производительности и качества восстановительной наплавки валов гидротурбин.

1 Современное состояние восстановления валов гидротурбин

1.1 Сведения о детали, условиях эксплуатации и возникающих дефектах

На рисунке 1 представлен вал гидротурбины. Вал гидротурбины должен выполняться кованым (сварнокованным) полым из качественной низколегированной стали. Нижним фланцем вал соединяется с рабочим колесом, верхним – со втулкой или валом гидрогенератора.

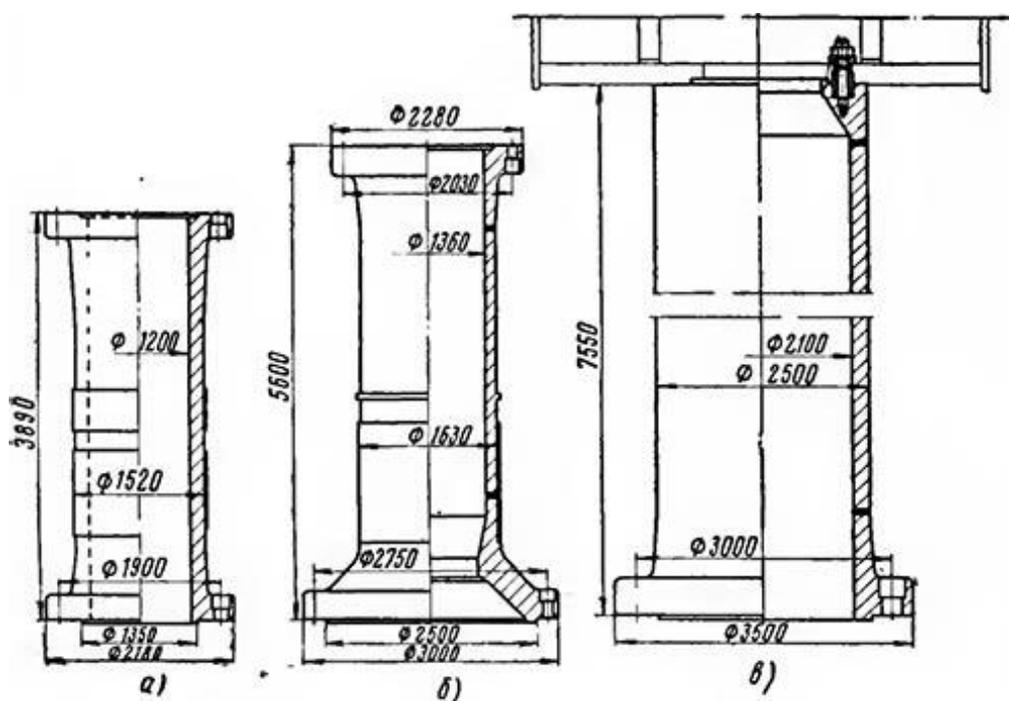


Рисунок 1 – Вали гидравлических турбин: кованный (а), сварной (б), сварной для турбин большой мощности (в)

Конструкция вала гидротурбины представляет собой обечайку, которая имеет толстые стенки и снабжена фланцами по концам. Отверстие в центре вала служит для осмотра его внутренней поверхности при контроле состояния и подвода масла к рабочему колесу.

В зависимости от конструкции агрегата вал гидротурбины может состоять из двух частей (первая часть - вал турбины, вторая часть - вал

генератора) или из трёх частей (первая часть – вал турбины, вторая часть – промежуточный вал, третья часть – вал генератора). Для соединения частей вала турбины между собой и с рабочим колесом турбины применяется фланцевое соединение. Всё большее распространение получает общий вал, конструкция которого позволяет уменьшить количество фланцевых соединений, упростить конструкцию вала и уменьшить его массу.

Вал турбины является её основным узлом. На рисунке 2 представлен вал поворотно-лопастной гидротурбины мощностью 250 МВт. Диаметр вала составляет 1 метр, длина вала составляет 4,5 метра. Масса вала турбины составляет порядка 12 тонн.



Рисунок 2 – Вал гидротурбины мощностью 250 мВт

При эксплуатации вала турбины он подвергается коррозионному, кавитационному и гидроабразивному изнашиванию. Особенно сильное изнашивание наблюдается в области шеек вала, которые располагаются под подшипниками и сальниками.

Вал в зоне шейки турбинного подшипника на водяной смазке должен иметь наплавку из нержавеющей стали толщиной не менее 7,5 мм (после обработки), выполненную методом наплавки или нержавеющей облицовку толщиной не менее 25 мм после обработки.

1.2 Сведения о материале детали

Вал турбины изготавливается из стали 20ГС. Наплавляемый слой должен быть по составу схож со сталью 12Х18Н10Т. Таким образом, в рамках выполнения настоящей выпускной квалификационной работы рассмотрим эти стали на предмет свариваемости и особенностей наплавки.

Сталь 20ГС, из которого выполнены детали вала гидротурбины, относится к конструкционной низколегированной стали. Содержание химических элементов в стали представлено в таблице 1. Сталь 20ГС сваривается без ограничений.

Облицовка вала турбины имеет состав, близкий к стали 12Х18Н10Т, содержание химических элементов в которой представлено в таблице 2.

Таблица 1 – Содержание химических элементов в стали 20ГС [22]

| C | Si | Mn | Ni | S | P | Cr | Cu |
|-----------|-------|-------|--------|---------|---------|--------|--------|
| 0,17-0,22 | 1-1,5 | 1-1,5 | до 0,3 | до 0,04 | до 0,04 | до 0,3 | до 0,3 |

Таблица 2 – Содержание химических элементов в стали 12Х18Н10Т [22]

| C | Si | Mn | Ni | Ti | S | P | Cr | Cu |
|---------|--------|------|------|-------|---------|----------|-------|--------|
| до 0,12 | до 0,8 | до 2 | 9-11 | 0,4-1 | до 0,02 | до 0,035 | 17-19 | до 0,3 |

Поскольку легирование стали 12Х18Н10Т выполнено хромом, никелем и титаном, её сварка сопровождается трудностями [21], [22]. В качестве первой трудности сварки стали следует отметить образование горячих трещин, что происходит по причине того, что сварной шов имеет аустенитную структуру. Второй трудностью следует признать охрупчивание металла сварного шва при длительной эксплуатации.

Внешний вид горячих трещин представлен на рисунке 3, примеры межкристаллитной коррозии представлены на рисунке 4.



Рисунок 3 – Внешний вид горячих трещин на стали 12X18H10T

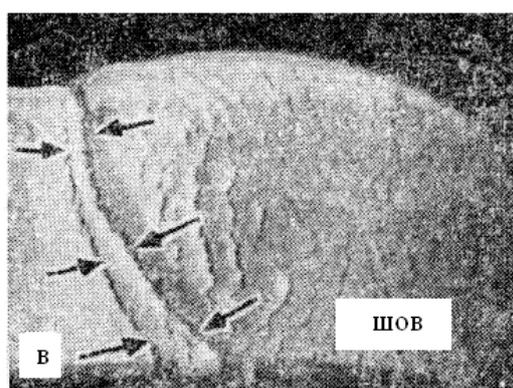
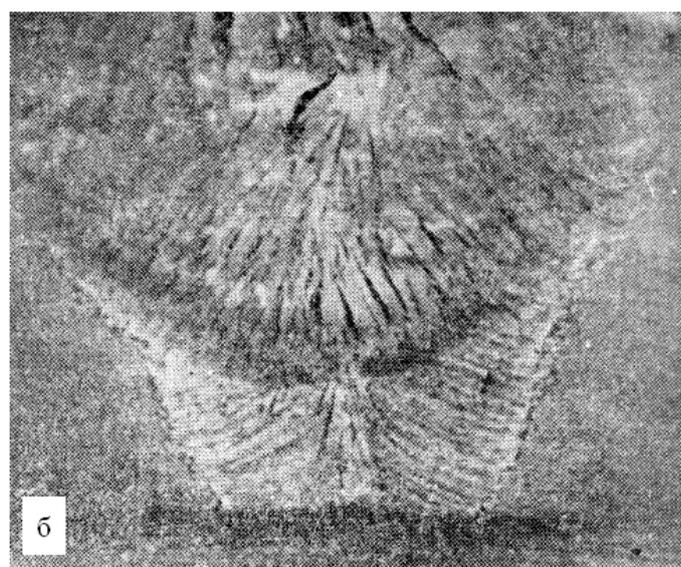
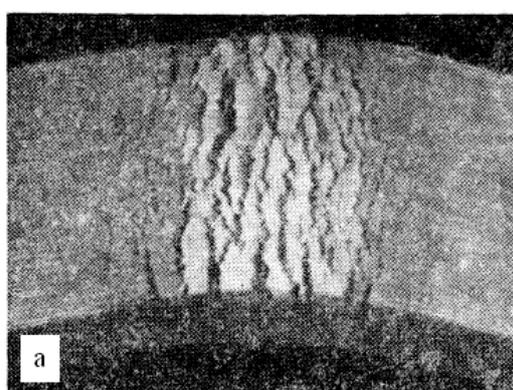


Рисунок 4 – Примеры межкристаллитной коррозии при сварке стали 12X18H10T: однопроходной шов (а), многослойный шов (б) и сосредоточенная коррозия на границе швов (в)

Третьей трудностью при сварке стали 12X18H10T следует признать высокий уровень остаточных напряжений и деформаций, который наблюдается по причине малой теплопроводности стали, которая

значительно меньше, чем у низкоуглеродистых сталей. Кроме того, на уровень остаточных напряжений и деформаций оказывает негативное влияние высокий коэффициент термического расширения стали 12X18H10T.

Сварка конструкций из стали 12X18H10T должна проводиться со строгим соблюдением техники сварки и поддержанием заданных параметров режима. Если вследствие неправильно назначенных параметров режима сварки произошёл перегрев основного металла, усиливается межкристаллитная коррозия, что является ещё одной трудностью при сварке стали 12X18H10T.

При многопроходной сварке следует ожидать полного остывания ранее сваренного валика перед тем, как выполнять сварку следующего прохода. В противном случае наблюдается переход из основного металла в металл сварного шва углерода. При этом происходит реакция хрома с углеродом, и сварной шов обедняется хромом [13].

Пятой трудностью сварки стали 12X18H10T является выгорание легирующих элементов. Чтобы этого не происходило, сварку следует проводить максимально короткой дугой. Если выполнять сварку на длинной дуге, интенсифицируется выгорание легирующих элементов.

Таким образом, для того, чтобы получить качественный шов при сварке стали 12X18H10T необходимо при сварке накладывать швы узкими валиками. Также при сварке следует использовать максимально короткую дугу. Начинать сварку следующего валика следует после полного остывания предыдущего валика.

При сварке необходимо получить аустенитную структуру в шве, так как ферритная фаза снижает пластичность металла.

Необходимо тщательно подбирать сварочные материалы. Ручная дуговая сварка стали может быть выполнена электродами ЦЛ-11, ЗИО-9 или ЦТ-15. Автоматическая сварка под флюсом может быть выполнена проволокой Св-07X18H9ТЮ с применением флюса АН-26С [21].

1.3 Особенности базовой технологии ремонтной наплавки вала гидротурбины

Длительное время при восстановлении валов гидротурбин применялось бандажирование. При этом из листов стали 12Х18Н10Т выполняли бандажи толщиной 10...12 мм. Технология изготовления бандажа включала в себя резку, вальцовку, сварку и механическую обработку. При этом на бандажирование одной шейки вала диаметром 1 метр требуется две-три недели.

Для повышения производительности ремонта валов гидротурбин ранее было предложено использовать ручную дуговую наплавку. Схема восстановления вала турбины предусматривает следующие операции:

- внешний осмотр и дефектация,
- механическая обработка под наплавку,
- ультразвуковой контроль состояния поверхности перед наплавкой,
- ручная дуговая наплавка,
- токарная обработка,
- ультразвуковой контроль качества наплавки,
- шлифовка поверхности вала.

Правильность выполнения наплавки валов гидротурбин определяет возможность получения заданных параметров и технологических свойств. При этом на качество наплавленного слоя и его износостойкость кроме основной операции (наплавка) оказывают существенное влияние подготовительные операции.

Для проведения восстановительной наплавки необходимо предварительно внешний осмотр и дефектацию. Для этого проводят неразрушающий ультразвуковой контроль и проверку капиллярно-цветным методом. Проверяют состояние шеек. Контроль предназначен для выявления

кольцевых и радиальных трещин, которые могут возникнуть при эксплуатации вала под усталостно-силовым воздействием.

Перед проведением восстановительной наплавки следует провести токарную операцию, заключающуюся в обточке поверхности вала. Обточку вала выполняют на глубину 10 мм. Обточку ведут на многофункциональном токарном станке GGTRONIC, который представлен на рисунке 5.



Рисунок 5 – Обточка валов гидротурбин на станке GGTRONIC

После выполнения токарной обработки оставшиеся дефекты удаляют зачисткой с применением абразивных кругов. После механической обработки проводят ультразвуковой контроль поверхности вала на предмет наличия скрытых дефектов. После проведения механической обработки диаметр вала составляет 1000 мм, при этом номинальный диаметр вала составляет 1020 мм.

Для ручной дуговой наплавки применяются электроды ЭА-606/11. Наплавку ведут на постоянном токе обратной полярности. Применяются электроды диаметром 4 мм, наплавку ведут в нижнем положении на токе 120...140 А. Перед сваркой следует выполнить прокалику электродов при температуре 300...350 °С в течение 1 часа.

При прокалике электродов их помещают в печь, разогретую до температуры 300...350 °С, и выдерживают там в течение 1 часа. После выполнения прокалики необходимо поместить прокаленные электроды в разогретую до 80...100 °С резервную печь. Выемку электродов из резервной

печи выполняют непосредственно перед проведением сварки. В случае, если часть электродов не была использована, необходимо выполнить повторную прокалку этих электродов. Общее количество прокалок электродов не должно превышать трёх, так как после трёх прокалок электроды считаются непригодными для сварки.

Наплавку ведут узкими валиками по образующей. При наплавке выдерживают короткую дугу. Перекрытие наплавленных валиков должно быть не менее 1/3 от ширины валика. Перед наложением очередного валика необходимо дождаться остывания предыдущего валика.

В качестве источника питания применяется сварочный выпрямитель ВС-300Б, представленный на рисунке 6



Рисунок 6 – Сварочный выпрямитель ВС-300 Б

Для визуально-измерительного контроля применяется оборудование, которое представлено на рисунке 7-а. В состав комплекта для проведения визуально-измерительного контроля входят: инструкция РД 03-606-03, лупа просмотровая с подсветкой 3,5х, лупы просмотровые 4х и 7х, лупа измерительная ЛИЗ-10х, универсальный шаблон сварщика УШС-3, наборы щупов и радиусных шаблонов, маркер по металлу, штангенциркуль

ЩЦ-1-125-0,1 с глубиномером, фонарик, линейка металлическая Л-300 (300 мм), футляр для хранения, рулетка, угольник металлический.

Ультразвуковой контроль выполняют с применением дефектоскопа UCD-50, который представлен на рисунке 7-б. Также в набор для проведения ультразвукового контроля входит гель для УЗК и набор стандартных образцов.

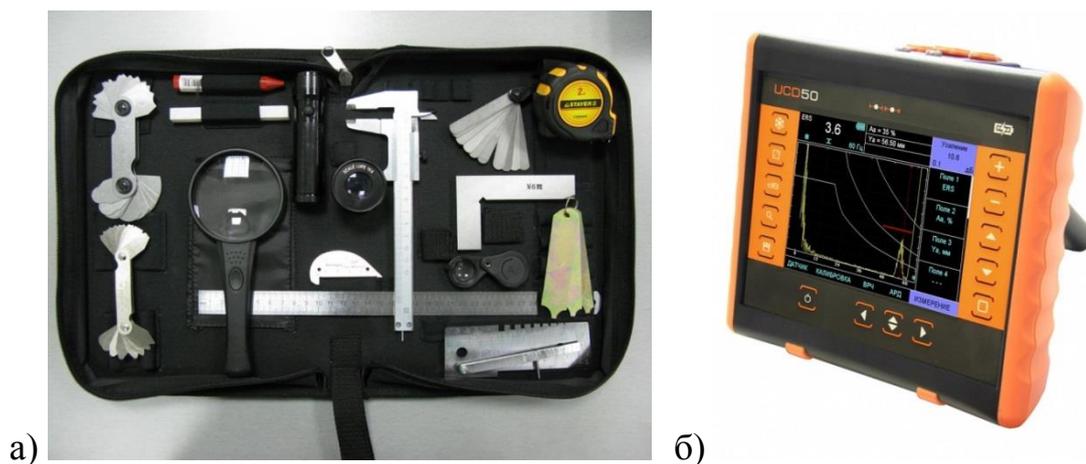


Рисунок 7 – Оборудование для проведения визуально-измерительного контроля (а) и ультразвукового контроля (б) сварных швов

Применяемая в базовой технологии наплавка штучными электродами обладает рядом недостатков. Во-первых, следует признать низкую производительность ручной дуговой наплавки, которая не может быть увеличена путём корректировки параметров режима и состава сварочных электродов. Во-вторых, при ручной дуговой наплавке наблюдается низкая стабильность качества, что объясняется непроварами, пористостью и трещинами. В-третьих, при ручной дуговой наплавке сварщику приходится работать в тяжёлых условиях, которые усугубляются вредным воздействием образующегося при горении дуги сварочного аэрозоля. В-четвёртых, расход электродов на огарки, разбрызгивание и угар приводят при ручной дуговой наплавке к увеличению расходов на сварочные материалы.

1.4 Анализ источников научно-технической информации по вопросу восстановительной наплавки валов гидротурбин

Был выполнен поиск источников научно-технической информации в сети ИНТЕРНЕТ по ключевым словам «наплавка валов», «восстановление деталей машин», «диссертация», «гидротурбина», «Автоматическая сварка», «Сварочное производство».

Кроме поисковой системы GOOGLE поиск вёлся в таких базах данных, как «Киберленинка» (база научных статей), «freepatent.ru» (база данных патентов РФ и авторских свидетельств СССР), «DisserCat» (база данных диссертаций).

В первой работе [5] показана актуальность вопроса проведения ремонта и оценки состояния элементов энергетического оборудования. Показано, что повышение достоверности оценки индивидуального состояния каждого агрегата позволяет обоснованно увеличивать срок его безопасной эксплуатации до перехода в пограничное состояние. Для проведения такой индивидуальной оценки состояния предложена методика, которая сочетает в себе проведение экспериментов и математическое моделирование с учётом конструктивных и технологических особенностей каждого элемента оборудования. Безотказная работа элементов оборудования за пределами нормативного срока службы может быть гарантирована при условии применения предлагаемых подходов к диагностике состояния оборудования.

Результаты этой работы будут использованы при анализе состояния вопроса и обосновании актуальности выбранной темы выпускной квалификационной работы.

Во второй работе [14] приведён опыт организации участка для проведения наплавочных работ при восстановлении валов гидротурбин. Представлены ход и результаты восстановительной наплавки на примере вала турбины мощностью 250 МВт. Показана эффективность применения наплавки по сравнению с бандажированием, которое также может быть

применено при восстановлении вала гидротурбины, но сопровождается большими затратами ресурсов и финансов.

Результаты этой работы будут использованы при анализе состояния вопроса и обосновании актуальности выбранной темы выпускной квалификационной работы, а также при составлении проектной технологии восстановительной наплавки.

В третьей работе [1] рассмотрена технология электрошлаковой наплавки двумя лентами. На основании проведённых исследований была определена область значений параметров режима, на которой обеспечивается устойчивый электрошлаковый процесс и минимальная глубина проплавления: ток наплавки 1400...1500 А, напряжение наплавки 32...33 В, скорость наплавки 14...17 м/ч, зазор между лентами 16 мм. Отмечены высокие механические свойства наплавленного слоя, выполненного лентами ESAB OK Band 309LNb ESW и флюсом ESAB OK Flux 10.10.

Результаты этой работы будут использованы при анализе состояния вопроса и обосновании актуальности выбранной темы выпускной квалификационной работы, а также при составлении проектной технологии восстановительной наплавки.

В четвёртой работе [20] описаны результаты совместных исследований украинских и китайских исследователей-сварщиков в области повышения эффективности наплавочных работ при восстановлении элементов энергетического оборудования. Показана высокая эффективность электрошлаковой наплавки двумя лентами.

Результаты этой работы будут использованы при анализе состояния вопроса и обосновании актуальности выбранной темы выпускной квалификационной работы, а также при составлении проектной технологии восстановительной наплавки.

В пятой работе [25] приведены результаты исследований в области повышения эффективности наплавки за счёт введения ультразвуковых колебаний. Исследовано влияние ультразвука на свойства и структуру

наплавленного металла из стали 12X18H10T. Показано, что происходит уменьшение размера зерна, повышение твёрдости наплавленного слоя.

Результаты этой работы будут использованы при анализе состояния вопроса и обосновании актуальности выбранной темы выпускной квалификационной работы, а также при составлении проектной технологии восстановительной наплавки, если будет принято решение использовать электродуговую наплавку.

1.5 Формулировка задач выпускной квалификационной работы

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена повышению эффективности восстановительной наплавки вала гидротурбины.

При выполнении базовой технологии восстановительной наплавки вала гидротурбины предусматривается применение ручной дуговой наплавки штучными электродами. Этот процесс имеет ряд недостатков, которые заставляют вести поиск более прогрессивных методов наплавки применительно к рассматриваемому изделию. В числе недостатков ручной дуговой наплавки следует отметить следующее.

Во-первых, в настоящее время ручная дуговая сварка и наплавка исчерпали свои резервы в области оптимизации параметров режима и совершенствования техника наплавки. Таким образом, повышение производительности и качества ручной дуговой наплавки различными техническими приемами больше достигнуто быть не может.

Во-вторых, при ручной дуговой наплавке наблюдается значительное образование пор, непроваров и трещин, что объясняется снижением качества защиты расплавленного металла, перегревом основного металла и попаданием в сварной шов загрязнений.

В третьих, ручная дуговая сварка и наплавка характеризуются тяжёлыми и вредными условиями труда сварщика, который находится под воздействием вредных факторов сварочной дуги и сварочного аэрозоля.

В четвёртых, из-за потерь на угар и разбрызгивание теряется значительная часть дорогостоящих электродов. Кроме того, потери электродов возрастают из-за огарков.

Таким образом, достижение поставленной цели произойдёт в случае решения ряда задач, которые необходимо будет решить при выполнении исполнительского раздела выпускной квалификационной работы.

Первой задачей является обоснование выбора способа ремонтной наплавки вала гидротурбины. Для этого необходимо выполнить анализ преимуществ и недостатков рассматриваемых способов и выполнить выбор с учётом выставленных экспертных оценок.

Второй задачей является построение проектной технологии ремонтной наплавки вала гидротурбины, для чего необходимо привести перечень операций, назначить параметры режима, выбрать основное и вспомогательное оборудование.

При выполнении разделов оценочного блока выпускной квалификационной работы предстоит решение ещё двух задач.

Во-первых, необходимо будет оценить предлагаемые технологические решения на предмет экологической безопасности и охраны труда. Далее предстоит назначить средства и мероприятия по обеспечению установленных нормативов по безопасности технологических процессов для персонала и окружающей среды [3], [7].

Во-вторых, предстоит выполнить экономические расчёты по затратам на осуществление базовой и проектной технологий, на основании которых следует сделать вывод о экономической эффективности предлагаемых в выпускной квалификационной работе решений [12], [13].

2 Оборудование и технология для наплавки вала гидротурбины

2.1 Схема восстановления работоспособности детали и формулировка возможных способов наплавки

При построении проектной технологии наплавки и выборе способа наплавки следует учитывать особенности схемы восстановления работоспособности деталей машин, которая была построена по результатам научных исследований [9]. Обобщённая схема представлена на рисунке 8 и может быть использована для предварительного выбора способов восстановления рассматриваемой детали.

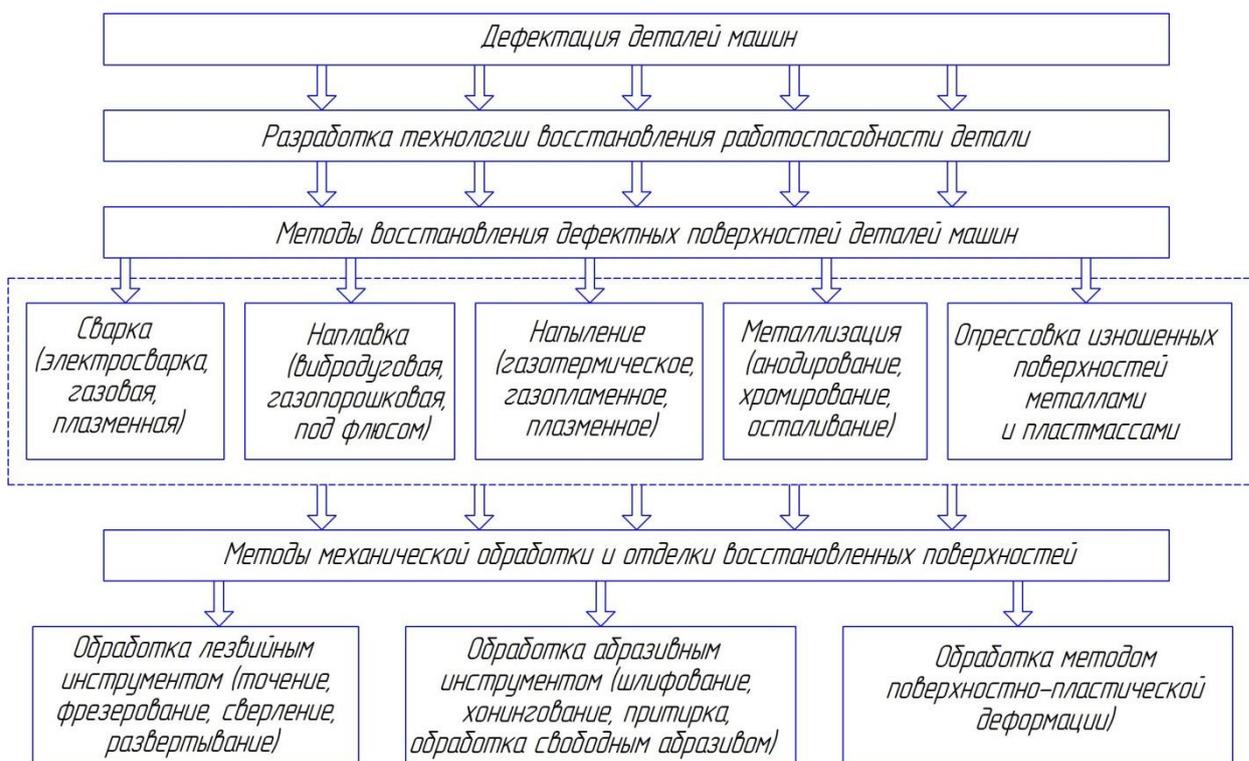


Рисунок 8 – Схема восстановления работоспособности деталей машин

Для деталей типа валов с учётом рассматриваемых устраняемых дефектов следует признать целесообразным применение дуговой и плазменной наплавки с применением таких способов, как:

- ручная дуговая наплавка,

- наплавка под слоем флюса,
- плазменная наплавка,
- вибродуговая наплавка,
- наплавка в защитных газах плавящейся проволокой,
- наплавка в инертных газах неплавящимся электродом.

2.2 Ручная дуговая наплавка

Ручная дуговая наплавка, схема которой представлена на рисунке 9, позволяет эффективно восстанавливать работоспособность деталей машин при исправлении эксплуатационных дефектов. Широкое применение ручной дуговой наплавки объясняется её преимуществами перед другими, пусть даже и более перспективными способами [11], [19].

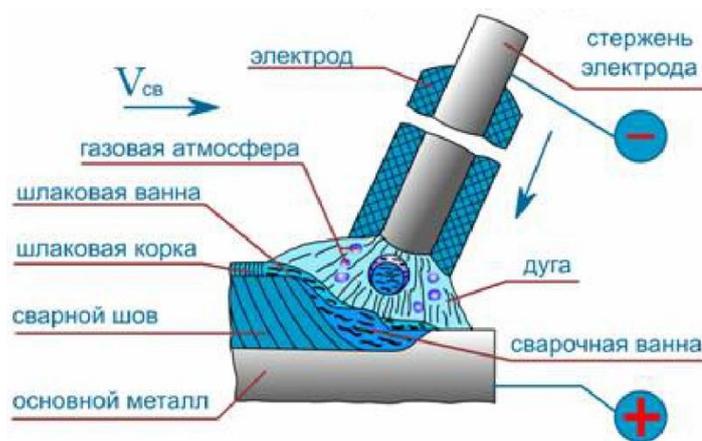


Рисунок 9 – Схема выполнения ручной дуговой наплавки

Первым преимуществом является относительная дешевизна и простота сварочного оборудования, которое уже имеется на производстве. Поэтому применение ручной дуговой наплавки не требует приобретения нового сварочного оборудования и может быть осуществлено имеющимися на предприятии средствами.

Вторым преимуществом следует отметить высокую универсальность ручной дуговой наплавки, которая может быть применена для восстановления эксплуатационных свойств различных деталей. Таким образом, освоенная технология ручной дуговой наплавки может быть распространена на другие типовые детали, что существенно снижает конечную стоимость внедрения технологии на производстве.

Ручная дуговая наплавка имеет ряд недостатков, из-за которых в настоящее время наблюдается интенсивный переход на автоматические и механизированные способы [19].

Первым недостатком можно признать повышенный расход дорогостоящих электродов из-за разбрызгивания, угара и огарков.

Вторым недостатком является низкая производительность ручной дуговой наплавки, которая оказывается критичной при большой массе наплавленного металла. В настоящее время ручная дуговая сварка и наплавка исчерпали свои резервы повышения эффективности за счёт оптимизации параметров режима, дальнейшее форсирование режимов наплавки и сварки не представляется возможным.

Третьим недостатком следует признать низкую стабильность качества, которая получается вследствие пористости, непроваров и трещин.

Четвёртым недостатком являются вредные условия труда сварщика, которому приходится выполнять наплавку в атмосфере сварочного аэрозоля.

2.3 Наплавка под флюсом

При наплавке под слоем флюса, схема выполнения которой представлена на рисунке 10, качественная защита дуги и расплавленного металла обеспечивается за счёт расплавленного слоя флюса, который предварительно наносится на изделие толщиной 20...40 мм.

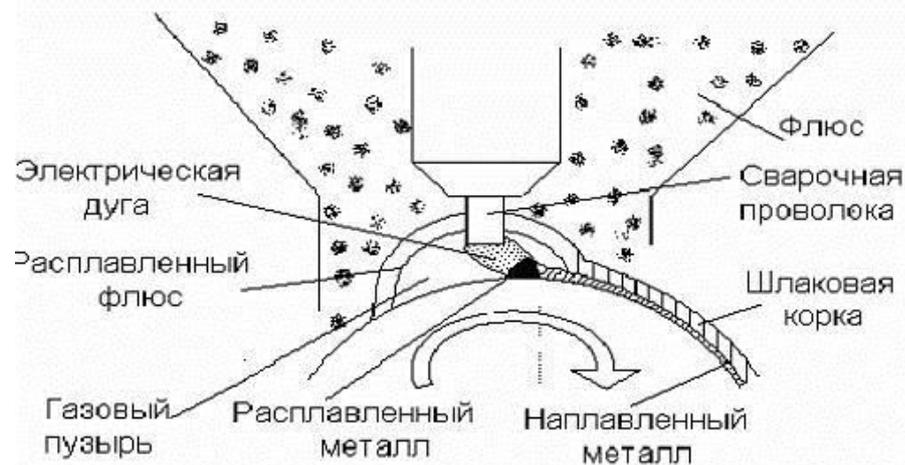


Рисунок 10 – Схема выполнения наплавки под слоем флюса

Кроме защиты от воздействия воздуха флюс решает ряд других важных задач. Во-первых, он уменьшает отток тепла от сварочной ванны, что повышает тепловой КПД процесса и производительность наплавки под флюсом. Кроме того, слой флюса предотвращает разбрызгивание металла. Таким образом, повышается производительность процесса и экономится электродный металл.

При наплавке под слоем флюса в качестве расходных материалов выступают металлическая проволока и флюс. Диаметр проволоки принимается 1...6 мм в зависимости от условий проведения процесса. Чаще всего наплавка под флюсом выполняется на обратной полярности («+» на проволоку, «-» на деталь). При наплавке и сварке под флюсом повышение производительности возможно с использованием двух проволок, вводимых одновременно в зону горения дуги, а также с применением ленточного электрода.

В числе преимуществ наплавки под флюсом следует указать, во-первых, высокую производительность, которая многократно превышает производительность при ручной дуговой наплавке.

Во-вторых, наплавка под флюсом не предъявляет серьезных требований к квалификации сварщика, что наблюдается при ручной дуговой

наплавке. Снижаются требования как к квалификации сварщика, так и к продолжительности опыта его работы, что также сказывается положительно на кадровой политике предприятия.

В-третьих, наплавка под флюсом характеризуется высоким качеством наплавленного металла. Наблюдается очень хорошее сцепление наплавленных слоёв между собой и с основным металлом.

В-четвертых, при наплавке под флюсом значительно улучшаются условия труда сварщика, так как устраняется разбрызгивание, что уменьшает вред сварочного аэрозоля. Кроме того, значительно снижается тепловое и световое воздействие дуги, которая скрыта под слоем флюса.

Наплавка под флюсом имеет ряд недостатков.

Первым недостатком следует признать высокую стоимость оборудования. Кроме того, оборудование для наплавки под флюсом не обладает такой же универсальностью, как оборудование для ручной дуговой сварки и наплавки, поэтому при переходе на новую деталь необходимо затрачивать значительные финансовые средства.

Вторым недостатком является значительные размеры зоны нагрева, что отрицательно сказывается при наплавке на малые детали и наплавке по сложной траектории.

Третьим недостатком является снижение усталостной прочности детали, что может отрицательно сказаться на эксплуатационных свойствах восстановленной детали.

2.4 Плазменная наплавка

Плазменная наплавка, схема выполнения которой представлена на рисунке 11, является перспективным способом восстановления деталей машин. Для получения плазменной струи применяются специальные горелки-плазматроны. Значительное распространение получили комбинированные плазматроны, в которых горит две дуги. При этом

расплавление присадочного порошка происходит за счёт тепла дуги, которая горит между вольфрамовым электродом и соплом горелки. Нагрев поверхности детали и сплавление основного и присадочного металлов происходит за счёт тепла дуги, которая горит между деталью и вольфрамовым электродом.

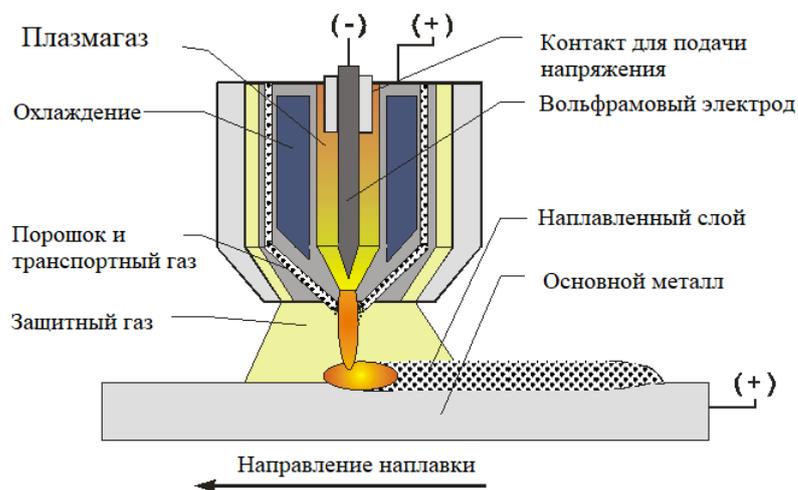


Рисунок 11 – Схема плазменной наплавки с вдуванием порошка в дугу

В качестве преимуществ плазменной наплавки следует отметить [6], [15], во-первых возможность применения наплавленного металла с различным химическим составом и свойствами. При этом имеется возможность послойной наплавки, каждый слой которой имеет свои особенности.

Во-вторых, дуга при плазменной наплавке может регулироваться в значительном диапазоне параметров, что делает её достаточно гибким инструментом при построении технологии восстановления деталей.

В-третьих, высокая температура потока плазмы при плазменной наплавке позволяет наносить тугоплавкие материалы, которые не могут быть применены при использовании других способов восстановления деталей машин.

В четвёртых, на плазменной наплавке не оказывают существенного влияния геометрия и размеры деталей.

Несмотря на свои преимущества плазменная наплавка имеет ряд недостатков, которые до настоящего времени ограничивают применение этого перспективного способа восстановления деталей машин.

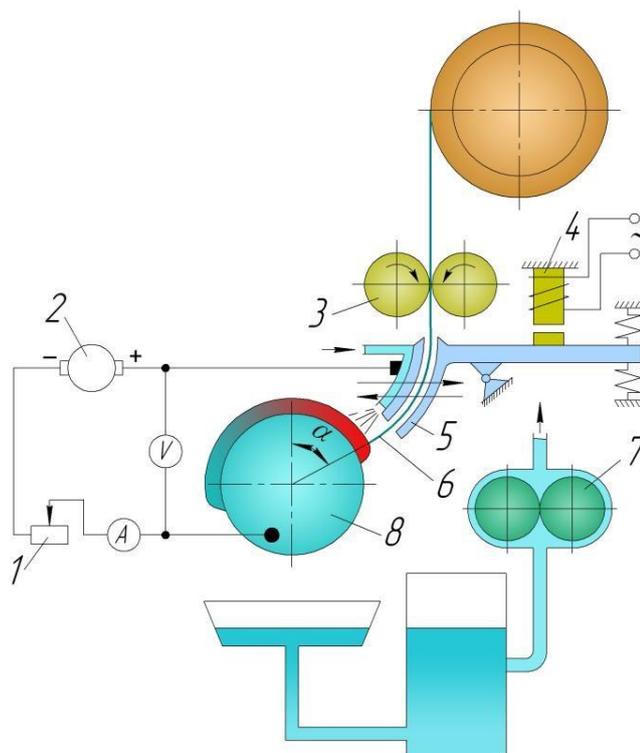
Первым недостатком является сложность оборудования. Отечественная промышленность не может похвастаться значительным количеством эффективных образцов оборудования, а стоимость иностранного оборудования может оказаться критической при построении проектной технологии восстановления деталей машин. Кроме того, плазменная наплавка является достаточно специфическим процессом, поэтому, на предприятии может не оказаться оборудования для её осуществления. Таким образом, для многих предприятий России может оказаться неподъёмным объём финансов, который предстоит одномоментно заплатить за внедрение плазменной наплавки.

Вторым недостатком следует признать малую производительность плазменной наплавки, которая значительно меньше производительности наплавки под флюсом и приближается к ручной дуговой наплавке.

2.5 Вибродуговая наплавка

Суть вибродуговой наплавки, схема выполнения которой представлена на рисунке 12, заключается в том, что дуга горит между деталью и вибрирующей электродной проволокой. Частота вибраций проволоки составляет 50...120 Гц. Плотность тока составляет 50...70 А/мм². Из-за вибраций электрода и интенсивного охлаждения восстанавливаемых детали на поверхности детали образуется ванночка расплавленного металла, в которую погружается расплавленный электрод. При этом существенно уменьшается ширина наплавленного валика, которая всего в два раза превышает диаметр электродной проволоки. Вследствие интенсивного охлаждения при вибродуговой наплавке можно получить высокую твёрдость и износостойкость наплавленного слоя. Толщина наплавленного слоя при

вибродуговой наплавке составляет 0,1...3,0 мм. За счёт малого прогрева детали по толщине не происходит образования остаточных напряжений и коробления детали после наплавки.



1 – дросель; 2 – сварочный преобразователь; 3 – механизм подачи электродной проволоки; 4 – вибратор; 5 – мундштук; 6 – электродная проволока; 7 – насос для подачи охлаждающей жидкости; 8 – наплавляемая деталь

Рисунок 12 - Схема выполнения вибродуговой наплавки

В числе преимуществ вибродуговой наплавки следует указать высокую производительность способа по сравнению с ручной дуговой наплавкой и плазменной наплавкой. Вторым преимуществом вибродуговой наплавки является отсутствие коробления детали, что может наблюдаться при ручной дуговой наплавке. Третьим преимуществом является возможность выполнения наплавки по сложной траектории и наплавки деталей малых размеров. Четвёртым преимуществом является высокая твёрдость и износостойкость наплавленного слоя, что позволяет обойтись без последующей термической обработки.

Вибродуговая наплавка имеет ряд существенных недостатков, без исправления которых затруднено распространение этого способа при восстановлении деталей машин.

Первым недостатком является высокая неоднородность наплавленного слоя, что приводит к значительному разбросу по твёрдости и структурному составу наплавленного металла. В связи с этим при работе восстановленной детали в условиях знакопеременного нагружения могут наблюдаться отслаивания частей наплавленного слоя.

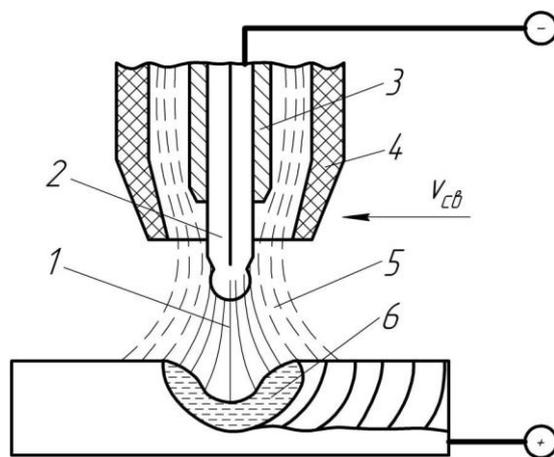
Вторым недостатком является значительное уменьшение ударной прочности наплавленного слоя, которая может достигать 60 % ударной прочности основного металла.

Третьим недостатком следует признать, что вибродуговая наплавка уступает по производительности автоматической наплавке под флюсом.

Четвёртым недостатком является высокое содержание растворённых в наплавленном слое газов. Из-за этого при повторной наплавке деталей следует проводить полное удаление ранее наплавленного слоя. Это значительно повышает трудоёмкость последующих работ при повторной наплавке деталей.

2.6 Наплавка в защитных газах плавящимся электродом

При восстановлении деталей машин значительное распространение получила наплавка в защитных газах плавящимся электродом, схема выполнения которой представлена на рисунке 13. Между проволокой 2 и поверхностью детали горит дуга 1, тепло от которой образует на поверхности детали ванну расплавленного металла 6. Защиту расплавленного металла дуги и ванны от воздействия воздуха обеспечивает струя защитного газа 5, подача которого выполняется через сопло 4. Токоподвод 3 обеспечивает подвод сварочного тока к проволоке 2 и изолирован от сопла 4.



1 – сварочная дуга, 2 – плавящийся электрод (проволока), 3 – токоподвод, 4 – сопло горелки, 5 – струя защитного газа, 6 – ванна расплавленного металла

Рисунок 13 – Схема выполнения наплавки в защитных газах

За счёт уменьшения вылета электродной проволоки при наплавке становится возможным увеличение тока. При этом скорость наплавки может достигать 100 м/ч. При наплавке плавящимся электродом особое значение имеет характер переноса электродного металла [21]. Формирование капли расплавленного металла происходит под совокупным действием нескольких сил, которые имеют различную природу. Первой такой силой является сила тяжести, которая действует на протяжении всего времени при формировании и движении капли. Второй силой является электродинамическая сила. Третьей силой является сила поверхностного натяжения при касании расплавленной капли сварочной ванны. Четвёртой силой является давление газов, которые испаряются с поверхности капли расплавленного металла. Пятой силой является давление потоков плазмы на поверхность капли расплавленного металла. Перечисленные силы отвечают за формирование нескольких видов переноса электродного металла при сварке и наплавке [18]:

- крупнокапельный перенос с короткими замыканиями,
- крупнокапельный перенос без коротких замыканий,
- среднекапельный перенос без коротких замыканий,
- струйный перенос.

Широкое применение наплавки в защитных газах плавящимся электродом объясняется преимуществами этого способа восстановления деталей машин.

Первое преимущество - это высокая производительность процесса, которая существенно выше, чем при ручной дуговой и плазменной наплавке.

Второе преимущество – это отсутствие шлаковой корки, которую не нужно сбивать при выполнении многослойной наплавки. Это позволяет повысить производительность и качество наплавочных работ.

Третье преимущество – относительная простота и универсального оборудования, которое значительно проще, чем при плазменной наплавке и наплавке под флюсом.

Четвёртое преимущество – высокое качество наплавленного слоя по сравнению с ручной дуговой наплавкой и вибродуговой наплавкой. Плотность наплавленного металла существенно выше, при этом содержание кислорода уменьшается в 20 раз, а содержание азота – в три раза по сравнению с ручной дуговой наплавкой.

Наплавка в защитных газах плавящимся электродом имеет ряд существенных недостатков, без исправления которых затруднено распространение этого способа при восстановлении деталей машин.

Первым недостатком следует признать наличие баллонов со сжатым газом и газового оборудования, которые затрудняют перемещения сварщика и сварочного оборудования по сравнению с ручной дуговой наплавкой. При этом качественная защита металла дуги и сварочной ванны не обеспечивается при работе на открытом воздухе, если есть ветер.

Вторым недостатком является увеличение разбрызгивания электродного металла при переходе на формированные режимы наплавки. Это ограничивает производительность работ, заставляя уменьшать величину сварочного тока.

Третьим недостатком является пониженная пластичность наплавленного металла, что может стать причиной образования трещин в наплавленном слое.

Четвёртым недостатком является значительный нагрев основного металла, который может привести к уменьшению ударной вязкости и сопротивлению усталости. Это вызывает снижение эксплуатационных свойств восстанавливаемых деталей.

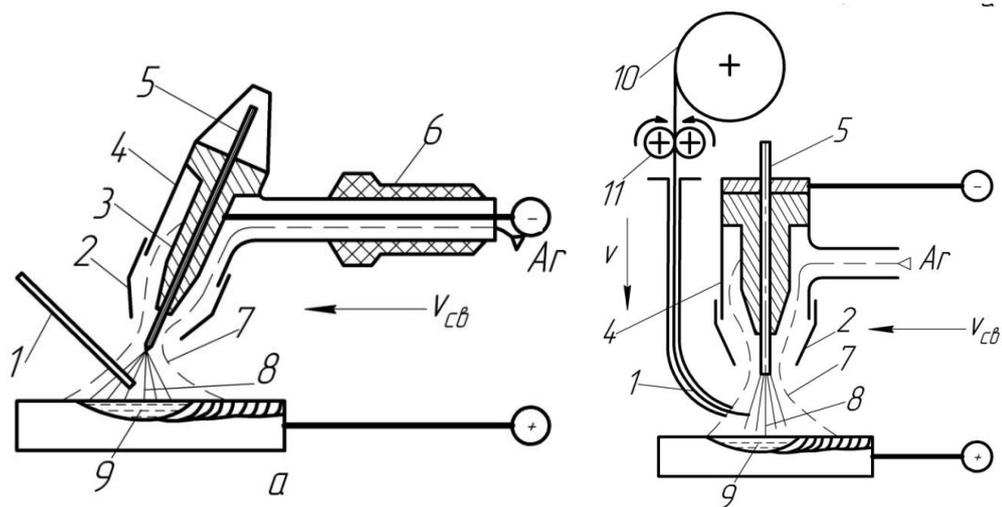
2.7 Наплавка в инертных газах неплавящимся электродом

При наплавке неплавящимся электродом, схема выполнения которой представлена на рисунке 14, между неплавящимся электродом 5 и деталью горит дуга 8, под действием которой на поверхности детали образуется ванна расплавленного металла 9.

В зону горения дуги подается нетоковедущая присадочная проволока 1. При автоматической наплавке подача проволоки из кассеты 10 выполняется механизмом 11. Подача защитного газа 7 осуществляется из сопла 2, которое размещено на нижней части горелки 4.

За счёт применения инертного газа отпадает необходимость применения флюса, что положительно сказывается на производительности многослойной наплавки ответственных деталей, так как нет необходимости удалять шлаковую корку. Кроме того, наплавленные слои характеризуются высокой однородностью по химическому составу и свойствам. Прочность наплавленного металла соответствует прочности основного металла исходной детали и даже может превосходить её. Толщина наплавленного за один проход слоя в зависимости от назначаемых параметров режима может регулироваться в диапазоне 0,5...3 мм.

Широкое применение наплавки в инертных газах неплавящимся электродом объясняется преимуществами этого способа восстановления деталей машин.



1 – присадочная проволока, 2 – сопло горелки, 3 – мундштук, 4 – корпус горелки, 5 – неплавящийся электрод, 6 – рукоять, 7 – струя защитного газа, 8 – дуга, 9 – сварочная ванна, 10 – кассета с присадочной проволокой, 11 – механизм подачи проволоки

Рисунок 14 – Схема выполнения наплавки в инертных газах неплавящимся электродом

Первым преимуществом является высокое качество наплавленного слоя. Наплавленный металл характеризуется высокой плотностью, отсутствием в нем пор, неметаллических включений и растворённых газов. Структура и механические свойства металла однородны по всему его объёму. При этом наплавленный слой может иметь гладкую поверхность и не требовать последующей механической обработки.

Вторым преимуществом является возможность применения присадочных проволок различного состава, что позволяет эффективно управлять свойствами наплавленного металла. Такая наплавка может быть успешно применена по отношению к деталям, работающим под коррозионной, фрикционной, тепловой нагрузкой.

При наплавке в инертном газе не требуется применения флюса, существует возможность наплавки сталей и сплавов, которые имеют высокую чувствительность к азотированию и окислению.

В числе недостатков аргонодуговой наплавки следует признать высокую стоимость защитного газа. Также следует признать низкую степень автоматизации процесса наплавки.

2.8 Обоснование выбора способа восстановительной наплавки изделия

При предварительном анализе возможных способов восстановительной наплавки вала гидравлической турбины были приняты к рассмотрению следующие способы, представленные на рисунке 15:

- ручная дуговая наплавка,
- наплавка под слоем флюса,
- плазменная наплавка,
- вибродуговая наплавка,
- наплавка в защитных газах плавящейся проволокой,
- наплавка в инертных газах неплавящимся электродом.

Ранее были сформулированы преимущества и недостатки каждого способа. При обосновании выбора способа восстановительной наплавки применяем несколько критериев оценки, по каждому из которых выставим балл экспертной оценки [2], [4], [10].

Первым критерием является стоимость оборудования и материалов, которые будут применены для осуществления способа.

Вторым критерием является производительность рассматриваемого способа восстановительной наплавки по сравнению с другими способами.

Третьим критерием является стабильность качества выполнения восстановительной наплавки.

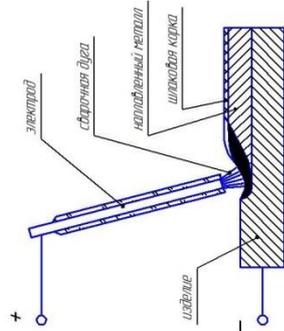
Четвёртым критерием является условия труда сварщика и затрачиваемые ресурсы на обеспечение безопасности наплавочных работ.

Пятым критерием является общий уровень эксплуатационных свойств деталей после восстановительной наплавки.

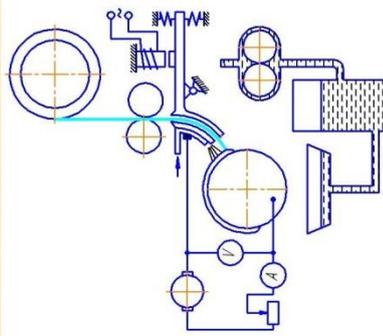
Шестым критерием является интегральная экономичность способа, выраженная в отношении суммарных затрат на его осуществление к единице изделия.

Обоснование выбора способа восстановительной наплавки

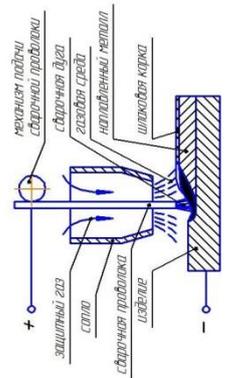
1. Ручная дуговая наплавка штучными электродами



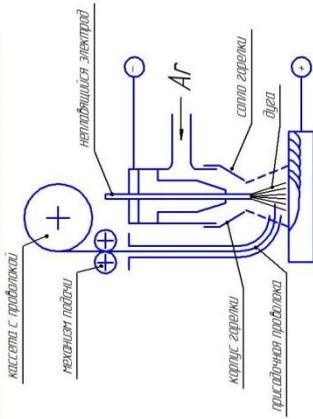
2. Вибродуговая наплавка



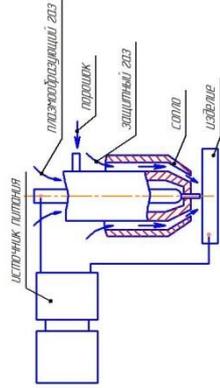
3. Наплавка в защитных газах плавящимся электродом



4. Аргондуговая наплавка



5. Плазменная наплавка



6. Наплавка под слоем флюса

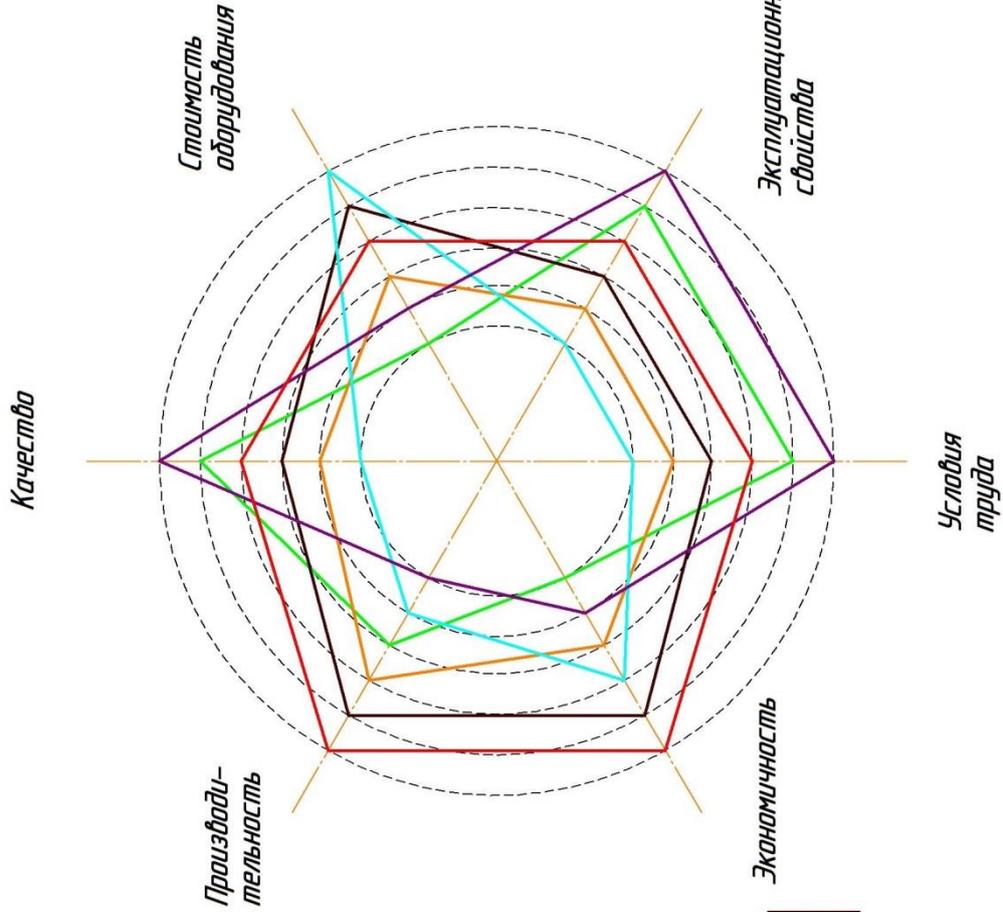
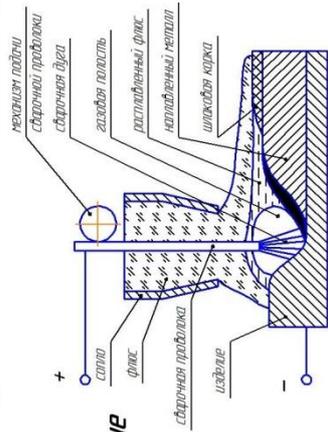


Рисунок 15 – Обоснование выбора способа восстановительной наплавки

Таким образом, экспертные оценки, выставленные различным способом наплавки по рассматриваемым критериям составили следующие величины.

Для ручной дуговой наплавки:

- стоимость оборудования – 6 баллов,
- эксплуатационные свойства восстановленной детали – 1 балл,
- условия труда – 1 балл,
- интегральный показатель экономичности наплавки – 4 балла,
- производительность способа – 2 балла,
- качество наплавки – 1 балл.

По сумме количество баллов экспертной оценки для ручной дуговой наплавки составило 15 баллов.

Для вибродуговой наплавки:

- стоимость оборудования – 3 балла,
- эксплуатационные свойства восстановленной детали – 2 балла,
- условия труда – 2 балла,
- интегральный показатель экономичности наплавки – 3 балла,
- производительность способа – 4 балла,
- качество наплавки – 2 балла.

По сумме количество баллов экспертной оценки для вибродуговой наплавки составило 16 баллов.

Для наплавки в защитных газах плавящимся электродом:

- стоимость оборудования – 5 баллов,
- эксплуатационные свойства восстановленной детали – 3 балла,
- условия труда – 3 балла,
- интегральный показатель экономичности наплавки – 5 баллов,
- производительность способа – 5 баллов,
- качество наплавки – 3 балла.

По сумме количество баллов экспертной оценки для наплавки в защитных газах плавящимся электродом составило 24 баллов.

Для аргонодуговой наплавки:

- стоимость оборудования – 2 балла,
- эксплуатационные свойства восстановленной детали – 5 баллов,
- условия труда – 5 баллов,
- интегральный показатель экономичности наплавки – 2 балла,
- производительность способа – 1 балл,
- качество наплавки – 5 баллов.

По сумме количество баллов экспертной оценки для аргонодуговой наплавки составило 20 баллов.

Для плазменной наплавки:

- стоимость оборудования – 1 балл,
- эксплуатационные свойства восстановленной детали – 4 балла,
- условия труда – 4 балла,
- интегральный показатель экономичности наплавки – 1 балл,
- производительность способа – 3 балла,
- качество наплавки – 4 балла.

По сумме количество баллов экспертной оценки для плазменной наплавки составило 17 баллов.

Для наплавки под флюсом:

- стоимость оборудования – 4 балла,
- эксплуатационные свойства восстановленной детали – 4 балла,
- условия труда – 4 балла,
- интегральный показатель экономичности наплавки – 5 баллов,
- производительность способа – 5 баллов,
- качество наплавки – 4 балла.

По сумме количество баллов экспертной оценки для наплавки под флюсом составило 26 баллов. Это самая высокая оценка из всех вариантов.

2.9 Проектная технология восстановительной наплавки валов гидротурбин

Расходными материалами при автоматической наплавке под слоем флюса выступают наплавочная проволока и флюс.

В качестве наплавочной проволоки предлагается [14] использовать проволоку Св-08Х20Н9Г7Т. Содержание химических элементов в проволоке представлено в таблице 3. Типовое содержание химических элементов в наплавленном металле представлено в таблице 4. Механические свойства наплавленного металла при сварке под флюсом представлены в таблице 5.

Таблица 3 – Содержание химических элементов в проволоке Св-08Х20Н9Г7Т, %

| | | | | | | |
|--------|--------|---------|----------|----------|----------|----------|
| C | Mn | Cr | Ni | Ti | Si | Mo |
| ≤0,10 | 5–8 | 18,5–22 | 8–10 | 0,6–0,9 | 0,5–1 | ≤0,25 |
| S | P | Cu | N | Al | W | V |
| ≤0,018 | ≤0,035 | ≤0,25 | по факту | по факту | по факту | по факту |

Таблица 4 – Типовое содержание химических элементов в наплавленном металле

| | | | | | | |
|-------|-------|-------|------|------|-------|------|
| C | Mn | Cr | Ni | Ti | Si | Mo |
| 0,07 | 7,24 | 20,75 | 8,65 | 0,71 | 0,68 | 0,05 |
| S | P | Cu | N | Al | W | V |
| 0,004 | 0,018 | 0,12 | 0,02 | 0,05 | 0,001 | 0,05 |

Таблица 5 – Механические свойства наплавленного металла при сварке под флюсом

| Временное сопротивление разрыву | Предел текучести | Относительное удлинение | Ударная вязкость | |
|---------------------------------|------------------|-------------------------|--------------------|--------------------|
| | | | +20°С | -20°С |
| МПа | МПа | % | Дж/см ² | Дж/см ² |
| 598,3 | 320,1 | 33 | 120,2 | 119,7 |

В качестве сварочного флюса предлагается [8] использовать флюс АН-348. Содержание химических веществ во флюсе представлено в таблице 6.

Таблица 6 – Содержание химических веществ во флюсе А-348

| SiO ₂ | MnO | CaO ₂ | MgO | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | S | P | CaF ₂ |
|------------------|-------|------------------|-----|--------------------------------|--------------------------------|-------|-------|------------------|
| 40–44 | 31–38 | <12 | <7 | <13 | 0,5–2,2 | <0,11 | <0,12 | 3–6 |

Для удержания и вращения детали в процессе наплавки предлагается использовать модернизированный токарно-винторезный станок РТ-166, который представлен на рисунке 16. При модернизации станка его оснастили сварочным автоматом А-1406, который представлен на рисунке 17-а. Для обеспечения возможности установки габаритных деталей на станке была поднята задняя бабка и редуктор на 160 мм. Для регулирования частоты вращения при управлении скоростью наплавки электрическую схему станка дополнили частотным преобразователем «Lenze» производства Германии. В качестве источника питания сварочной дуги предложено использовать выпрямитель ВС-600, который представлен на рисунке 17-б.



Рисунок 16 – Установка для выполнения восстановительной наплавки под флюсом валов гидротурбин на базе станка РТ-166

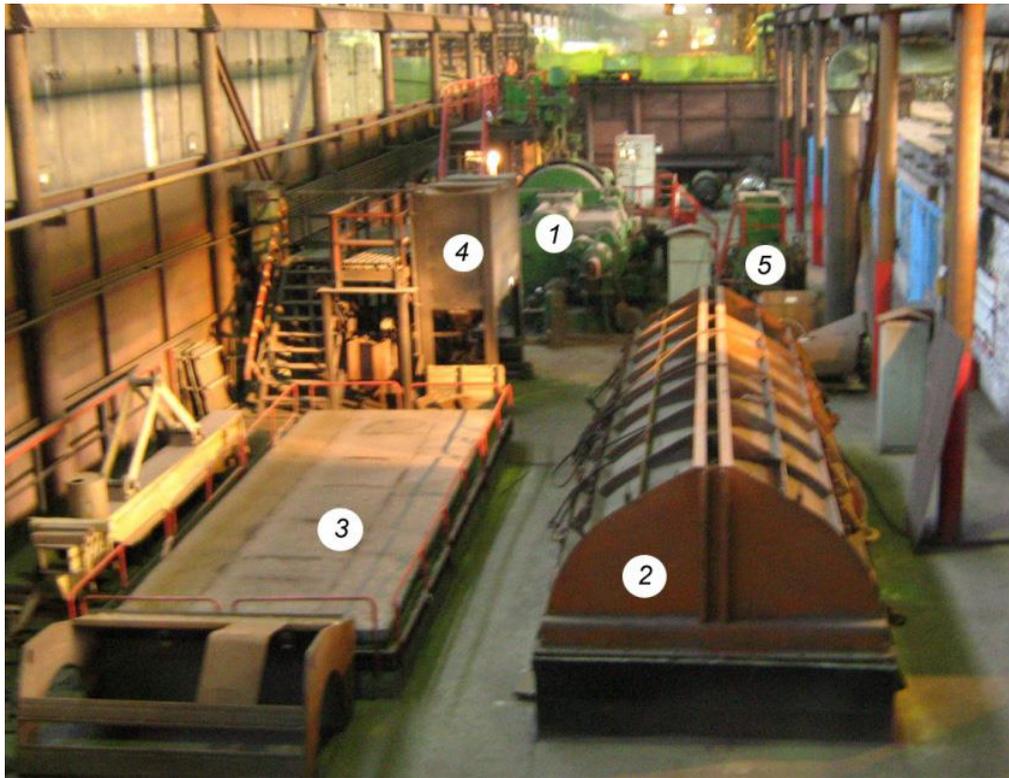


Рисунок 17 – Автомат для сварки под флюсом А-1406 (а) сварочный выпрямитель ВС-600 (б)

В результате модернизации станка на нём стало возможным выполнять токарную обработку и наплавку цилиндрических деталей диаметром от 400 до 1050 мм длиной до 4500 мм массой до 12 тонн.

Общий вид участка для наплавки валов гидротурбин представлен на рисунке 18. Предварительную прокалку флюса перед восстановительной наплавкой проводят в печи 5. В качестве печи для прокалки флюса предложено использовать печь ПСПФ 120/400, которая представлена на рисунке 19. Для предварительного подогрева и термической обработки валов служит электропечь 2. Для равномерного охлаждения вала после термической обработки служит термостат 3. Хранение флюса выполняется в накопителе 4. Наплавку проводят на установке 1.

Проектная технология предусматривает последовательное выполнение операций: токарная обработка, ультразвуковой контроль, предварительный подогрев, автоматическая наплавка, термическая обработка, визуальный контроль, токарная обработка, ультразвуковой контроль.



1 – наплавочная установка на базе токарно-винторезного станка РТ-166; 2 – электропечь для предварительного подогрева и термической обработки; 3 – термостат; 4 – накопитель для флюса; 5 – печь для прокалики флюса

Рисунок 18 – Участок для проведения наплавки валов гидротурбин



Рисунок 19 – Печь для прокалики флюса ПСПФ 120/400

При выполнении первой операции – токарной, проводят обточку непосредственно на станке РТ-166, который входит в комплекс для выполнения восстановительной наплавки. Обточку вала выполняют на глубину до 10 мм. Глубина резания при обточке составляет 0,5 мм за проход.

После выполнения токарной обработки оставшиеся дефекты удаляют зачисткой с применением абразивных кругов.

После проведения механической обработки диаметр вала составляет 1000 мм, при этом номинальный диаметр вала составляет 1020 мм.

Вторая операция – ультразвуковой контроль поверхности вала. После механической обработки проводят ультразвуковой контроль поверхности вала на предмет наличия скрытых дефектов. Если в результате ультразвукового контроля были обнаружены трещины на валу, то вал подлежит утилизации, и дальнейшее его восстановление нецелесообразно.

Ультразвуковой контроль выполняют с применением дефектоскопа UCD-50, который представлен на рисунке 7-б. Также в набор для проведения ультразвукового контроля входит гель для УЗК и набор стандартных образцов.

Третья операция – предварительный подогрев. Температура предварительного подогрева составляет 150...200 °С при скорости нагрева 25 °С в час. После достижения валом заданной температуры следует прекратить нагрев через 3 минуты и переместить вал на установку наплавки с применением крана грузоподъемностью до 30 тонн.

Четвёртая операция – автоматическая наплавка под флюсом. В качестве флюса применяется А-348. В качестве проволоки – проволока Св-08Х20Н9Г7Т диаметром 2 мм. Температура прокалки флюса составляет 300...400 °С в течение 1 часа.

Наплавку ведут на постоянном токе обратной полярности. Сила тока при наплавке составляет 180 А при скорости подачи проволоки 88 м в час. Напряжение на дуге поддерживается 26 В. При этом скорость наплавки

достигает 35 метров в час. Расход флюса составляет 11 кг на 1 метр наплавки.

В процессе наплавки следует контролировать формирование валика наплавленного металла. Если в процессе остывания шлаковая корка самопроизвольно не отслаивается, её необходимо удалять вручную. Сбивание шлаковой корки выполняют после её затвердевания и остывания, о чём сигнализирует её потемнение.

В случае обрыва дуги повторное возбуждение выполняют после того, как колесо сделало полный оборот, при этом место возбуждения дуги должно быть на 20...50 мм перед местом, где дуга оборвалась.

Пятая операция – термическая обработка вала после наплавки. Нагрев ведут до температуры 600...650 °С. Нагрев ведут при скорости не более 25 °С в час. Выдерживают вал в течение 10 часов, после чего охлаждают вал до температуры 80 °С.

После термической обработки и охлаждения до температуры 80 °С вал помещают в термостат, где он вылеживается в течение 12-и часов, равномерно остывая до температуры 25 °С.

Шестая операция – визуальный контроль. При выполнении этой операции оценивают внешнее состояние наплавленного слоя и отсутствие видимых дефектов. Следует добиваться получения хорошо сформированной поверхности наплавленного металла. Перепад соседних валиков по высоте не должен превышать 0,5 мм. Должны отсутствовать выходящие на поверхность поры и шлаковые включения.

Седьмая операция – токарная обработка. На станке РТ-166 выполняют обточку вала до номинального размера.

Восьмая операция – ультразвуковой контроль. Проверяют отсутствие трещин. Не допускается наличие пор и шлаковых включений размером более 2 мм. Если несплошность имеет размеры менее 0,5 мм, то она при контроле качества не учитывается.

Выводы по второму разделу

В настоящей выпускной квалификационной работе поставлена цель – повышение производительности и качества восстановительной наплавки валов гидротурбин.

На основании проведённого ранее анализа состояния вопроса и источников научно-технической информации в первом разделе выпускной квалификационной работы были сформулированы её задачи.

Первой задачей является обоснование выбора способа ремонтной наплавки вала гидротурбины. Для этого необходимо выполнить анализ преимуществ и недостатков рассматриваемых способов и выполнить выбор с учётом выставленных экспертных оценок.

Второй задачей является построение проектной технологии ремонтной наплавки вала гидротурбины, для чего необходимо привести перечень операций, назначить параметры режима, выбрать основное и вспомогательное оборудование.

Решая первую задачу, проведён предварительный анализ возможных способов восстановительной наплавки вала гидравлической турбины. Были приняты к рассмотрению следующие способы: ручная дуговая наплавка, наплавка под слоем флюса, плазменная наплавка, вибродуговая наплавка, наплавка в защитных газах плавящейся проволокой, наплавка в инертных газах неплавящимся электродом.

Были вставлены экспертные оценки каждому способу по рассматриваемым критериям. По сумме количество баллов экспертной оценки для различных способов получено:

- для ручной дуговой наплавки – 15 баллов;
- для вибродуговой наплавки – 16 баллов;
- для наплавки в защитных газах плавящимся электродом – 24 балла;
- для аргодуговой наплавки – 20 баллов;

- для плазменной наплавки – 17 баллов;
- для наплавки под флюсом – 26 баллов.

По результатам экспертной оценки для построения проектной технологии предложено использовать автоматическую наплавку под флюсом.

Решая вторую задачу, была построена проектная технология восстановительной наплавки вала гидротурбины. При этом предусматривается выполнение следующих операций: токарная обработка, ультразвуковой контроль, предварительный подогрев, автоматическая наплавка, термическая обработка, визуальный контроль, токарная обработка, ультразвуковой контроль.

Для удержания и вращения детали в процессе наплавки предлагается использовать модернизированный токарно-винторезный станок РТ-166. При модернизации станка его оснастили сварочным автоматом А-1406. Для обеспечения возможности установки габаритных деталей на станке была поднята задняя бабка и редуктор на 160 мм. Для регулирования частоты вращения при управлении скоростью наплавки электрическую схему станка дополнили частотным преобразователем «Lenze» производства Германии. В качестве источника питания сварочной дуги предложено использовать выпрямитель ВС-600.

Далее следует выполнить оценочный блок выпускной квалификационной работы.

Во-первых, необходимо будет оценить предлагаемые технологические решения на предмет экологической безопасности и охраны труда. Далее предстоит назначить средства и мероприятия по обеспечению установленных нормативов по безопасности технологических процессов для персонала и окружающей среды. Во-вторых, предстоит выполнить экономические расчёты по затратам на осуществление базовой и проектной технологий, на основании которых следует сделать вывод о экономической эффективности предлагаемых в выпускной квалификационной работе решений.

3 Экологическая экспертиза результатов выпускной квалификационной работы

3.1 Технологическая характеристика объекта

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена повышению эффективности восстановительной наплавки вала гидротурбины.

При выполнении базовой технологии восстановительной наплавки вала гидротурбины предусматривается применение ручной дуговой наплавки штучными электродами. Проектная технология восстановительной наплавки предусматривает применение автоматической наплавки под флюсом.

При выполнении проектной технологии предусмотрены следующие операции технологического процесса: токарная обработка, ультразвуковой контроль, предварительный подогрев, автоматическая наплавка, термическая обработка, визуальный контроль, токарная обработка, ультразвуковой контроль.

Изменение технологии восстановительной наплавки сопровождается изменением опасных и вредных производственных факторов, которые оказывают негативное воздействие на персонал и окружающую среду. Поэтому в настоящем разделе выпускной квалификационной работы предстоит выполнить идентификацию опасных и вредных производственных факторов, оценить их влияние и предложить меры по защите от них персонала.

Кроме того, предстоящий анализ позволит не только устранить профессиональные риски, но и повысить пожарную безопасность технического объекта, паспорт которого представлен в таблице 7.

Также анализ проектной технологии позволит выявить негативные факторы, влияние которых на атмосферу, гидросферу и литосферу следует устранить в рамках повышения экологической ответственности.

Таблица 7 – Технологический паспорт участка восстановительно наплавки

| «Наименование операции технологического процесса» | Наименование должности работника, выполняющего данную операцию | Технологическое оборудование, применяемое для выполнения операции | Вспомогательные материалы и вещества, применяемые на операции» [7] |
|---|--|---|--|
| «токарная обработка | слесарь-сборщик, токарь | токарно-винторезный станок | смазывающе-охлаждающая жидкость |
| ультразвуковой контроль | дефектоскопист | дефектоскоп | масло |
| предварительный подогрев | слесарь-сборщик, термист | электропечь, подъёмный кран | - |
| автоматическая наплавка | электросварщик на автоматических и полуавтоматических машинах | токарно-винторезный станок, автомат для сварки | сварочная проволока, флюс |
| термическая обработка | слесарь-сборщик, термист | электропечь, подъёмный кран | - |
| визуальный контроль | дефектоскопист | набор визуально-измерительного контроля | ветошь |
| токарная обработка | слесарь-сборщик, токарь | токарно-винторезный станок | смазывающе-охлаждающая жидкость |
| ультразвуковой контроль» [8] | дефектоскопист | дефектоскоп | масло |

Технологический паспорт объекта – участка для проведения восстановительной наплавки вала гидротурбины – позволяет разделить технологический процесс по операциям и указать для каждой операции применяемое оборудование. Также для каждой операции указывается привлекаемый персонал, который может оказаться под негативным воздействием опасных и вредных факторов, сопровождающих выполнение данной операции технологического процесса.

Дальнейшие работы будут направлены на идентификацию персональных рисков, для устранения которых будут предложены технологические и организационные мероприятия. Также будут предложены работы по обеспечению пожарной и экологической безопасности производства.

3.2 Идентификация профессиональных рисков

Для того, чтобы выделить и выполнить оценку опасных и вредных производственных факторов, сопровождающих реализацию проектной технологии, необходимо рассмотреть каждую операцию, как показано в таблице 8.

Таблица 8 – Идентификация опасных и вредных производственных факторов, возникающих при осуществлении проектной технологии

| «Операция технологического процесса» | Негативный фактор, представляющий угрозу здоровью и жизни | Источник негативного фактора» [7] |
|---|--|--|
| токарная обработка | <ul style="list-style-type: none"> - острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования; - движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; - повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны; - повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека | токарно-винторезный станок |
| ультразвуковой контроль | - ультразвуковое излучение в рабочей зоне сверх значений безопасных для здоровья | дефектоскоп |
| предварительный подогрев, термическая обработка | <ul style="list-style-type: none"> - повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека ; - повышенная температура поверхностей оборудования, материалов | электропечь, подъёмный кран |
| автоматическая наплавка | <ul style="list-style-type: none"> - повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека - повышенная температура поверхностей оборудования, материалов; - ультрафиолетовое излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений; - инфракрасное излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений уровня инфракрасной радиации; - движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; - острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования; - повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны | токарно-винторезный станок, автомат для сварки |

На основании данных таблицы 8 были указаны следующие опасные и вредные производственные факторы:

- наличие на инструментах и деталях острых кромок и режущих заусенцев;
- механическое взаимодействие с массивными движущимися частями технологического оборудования;
- превышение уровня загрязнения воздуха рабочей зоны по пыли и газам;
- опасность прохождения через человека повышенных значений электрического тока;
- нагрев поверхности деталей до высоких температур;
- инфракрасное излучение;
- ультрафиолетовое излучение
- ультразвуковое излучение.

В результате дальнейшего анализа перечисленных негативных факторов могут быть предложены стандартные решения, позволяющие уменьшить их влияние на работающий персонал до приемлемого уровня.

3.3 Предлагаемые меры по уменьшению воздействия на персонал негативных производственных факторов

Ранее были выделены опасные и вредные производственные факторы, которые оказывают негативное воздействие на работающий персонал в ходе выполнения каждой операции проектного технологического процесса.

Для каждого такого фактора на основании литературного анализа источников [3], [7] могут быть предложены стандартные решения, которые представлены в виде технических средств и организационных мероприятий. Эти средства представлены в таблице 9, их грамотное применение позволяет устранить действие негативных факторов или уменьшить его до приемлемого уровня.

Таблица 9 – Мероприятия по устранению негативных производственных факторов

| «Негативный фактор, представляющий угрозу здоровью и жизни | Организационные методы и технические средства защиты, снижения, устранения опасного или вредного производственного фактора | Индивидуальные средства защиты от действия негативных факторов» [7] |
|--|---|---|
| наличие на инструментах и деталях острых кромок и режущих заусенцев | <ul style="list-style-type: none"> - проведение инструктажа персонала по вопросам обеспечения безопасности труда; - применение специальных табличек и плакатов, сигнализирующих об опасности; - оснащение оборудования защитной блокировкой | Оснащение рабочего персонала специальной одеждой |
| механическое взаимодействие с массивными движущимися частями технологического оборудования | <ul style="list-style-type: none"> - установка ограждений, препятствующих несанкционированному проникновению в опасную зону; - применение специальных табличек и плакатов, сигнализирующих об опасности; - оснащение оборудования защитной блокировкой | Оснащение рабочего персонала специальной одеждой |
| превышение уровня загрязнения воздуха рабочей зоны по пыли и газам | - установка устройств общеобменной и местной вентиляции рабочего пространства | Оснащение рабочего персонала специальной одеждой и средствами индивидуальной защиты |
| опасность прохождения через человека повышенных значений электрического тока | <ul style="list-style-type: none"> - применение устройств защитного отключения электропитания оборудования; - применение защитного заземления и зануления оборудования; - контроль состояния защитных устройств и изоляции; - инструктаж по электробезопасности | Оснащение рабочего персонала специальной одеждой |
| нагрев поверхности деталей до высоких температур | <ul style="list-style-type: none"> - автоматизация технологических процессов; - инструктаж персонала | Оснащение рабочего персонала специальной одеждой |
| инфракрасное излучение | - установка защитных экранов, снижающих интенсивность излучения | Оснащение рабочего персонала специальной одеждой |
| ультрафиолетовое излучение | - установка защитных экранов, снижающих интенсивность излучения | Оснащение рабочего персонала специальной одеждой |
| ультразвуковое излучение | - уменьшение времени негативного воздействия | Оснащение рабочего персонала специальной одеждой |

Представленные в таблице технические средства и организационные мероприятия направлены на снижение травматизма работников производства и уровня профессиональных заболеваний.

Однако реализация проектной технологии не только сопровождается появлением опасных и вредных производственных факторов, но и риском образования пожаров, в результате которых могут пострадать как сами работники, так и имущество предприятия.

Исходя из этого, дальнейшие работы при выполнении настоящего раздела выпускной квалификационной работы направим в сторону обеспечения пожарной безопасности.

3.4 Пожарная безопасность на производстве

Проектная технология, предложенная в настоящей выпускной квалификационной работе, является источником возникновения рисков образования пожара. Для устранения этих рисков следует предложить технические средства и организационные мероприятия. Также следует рассмотреть возможность устранения пожара, если он всё-таки возникнет на предприятии, несмотря на принятые меры.

В таблице 10 представлена идентификация факторов пожара.

В качестве основных негативных факторов возможного пожара следует отметить: пламя и искры, тепловой поток, повышенную температуру окружающей среды, повышенную концентрацию токсичных продуктов горения и термического разложения, уменьшение концентрации кислорода; снижение видимости в дыму.

В качестве сопутствующих проявлений пожара следует отметить: негативное влияние используемых при тушении пожара химикатов на оборудование и персонал, порчу электрического оборудования вследствие нарушения целостности изоляции и короткого замыкания.

Предлагаемые мероприятия представлены в таблице 11.

Таблица 10 – Класс пожара и идентификация его негативных факторов

| Участок, подразделение | Оборудование | Класс пожара | Опасные факторы пожара | Сопутствующие проявления факторов пожара |
|--|---|--|---|--|
| Производственный участок восстановительной наплавки с установленным на нём технологическим оборудованием | Станок токарно-винторезный, автомат сварочный, источник питания сварочной дуги, электропечь, подъёмный кран | «Пожары, которые происходят за счет воспламенения и горения веществ и материалов на электроустановках, запитанных электрическим напряжением (Е)» [7] | Пламя и искры, тепловой поток, повышенную температуру окружающей среды, повышенную концентрацию токсичных продуктов горения и термического разложения, уменьшение концентрации кислорода; снижение видимости в дыму | негативное влияние используемых при тушении пожара химикатов на оборудование и персонал, порчу электрического оборудования вследствие нарушения целостности изоляции и короткого замыкания |

Таблица 11 – Предлагаемые организационные мероприятия по снижению риска возникновения пожаров на предприятии

| «Наименование технологического процесса» | Реализуемое организационное или техническое мероприятие | Требования по обеспечению пожарной безопасности» [7] |
|---|---|---|
| токарная обработка ультразвуковой контроль предварительный подогрев автоматическая наплавка термическая обработка визуальный контроль токарная обработка ультразвуковой контроль | «Проведение ознакомительных мероприятий с рабочим персоналом и служащими, целью которых является доведение до них правил пожарной безопасности, использования средств наглядной агитации по пожарной безопасности. Учения по обеспечению пожарной безопасности с производственным персоналом и служащими» [7] | Для ограничения разлёта искр при пожаре необходимо оснастить участок специальными защитными экранами. На участке должны в достаточном количестве находиться первичные средства пожаротушения. |

Для обеспечения пожарной безопасности рассматриваемого производственного участка предлагается применение средств, представленных в таблице 12. Эти средства должны быть размещены на производственном участке в доступных для персонала местах и содержаться в исправном состоянии.

Таблица 12 – Технические средства обеспечения пожарной безопасности

| Первичные средства для тушения | Мобильные средства для тушения | Средства индивидуальной защиты и спасения людей при пожаре | Пожарный инструмент | Пожарные сигнализация, связь и оповещение. |
|---|--------------------------------|--|----------------------|--|
| Ящики с песком, кошма, огнетушитель ОП-15 | - | План эвакуации, | Лопата, багор, топор | кнопка извещения о пожаре |

Таким образом, предложенные в выпускной квалификационной работе мероприятия позволяют уменьшить риск возникновения пожара на предприятии при реализации проектной технологии.

3.5 Экологическая безопасность проектной технологии

Реализация предлагаемых в выпускной квалификационной работе технологических решений не только приводит к появлению опасных и вредных производственных факторов, борьбе с которыми посвящена предыдущая часть раздела, но и вызывает негативное воздействие на окружающую среду. Необходимость повышения экологической ответственности предприятий повышает актуальность экологической повестки и заставляет принимать меры по защите атмосферы, гидросферы и литосферы.

Негативные факторы, действие которых на окружающую среду возможно при реализации проектной технологии, представлены в таблице 13.

Действие негативных факторов производства на атмосферу, гидросферу и литосферу следует уменьшить, для чего предусмотрены мероприятия, приведённые в таблице 14.

Таблица 13 – Идентификация негативных экологических факторов проектной технологии

| Технологический процесс | Операции, технологического процесса | Негативные факторы проектной технологии, которые отрицательно влияют на окружающую среду | | |
|----------------------------|---|--|--|---|
| | | в атмосфере | в гидросфере | в литосфере |
| Восстановительная наплавка | токарная обработка | - | Отходы смазывающе-охлаждающей жидкости | Стружка, частицы упаковки, бытовой мусор |
| | ультразвуковой контроль | - | Отходы масла | частицы упаковки, бытовой мусор |
| | предварительный подогрев, термическая обработка | вредные испарения | - | частицы упаковки, бытовой мусор |
| | автоматическая наплавка | вредные испарения | - | Отходы шлака, частицы упаковки, бытовой мусор |

Таблица 14 – Предложенные мероприятия по уменьшению антропогенного действия на окружающую среду при реализации проектной технологии

| | |
|---|---|
| Наименование технического объекта | Производственный участок восстановительной наплавки с установленным на нём технологическим оборудованием |
| За счёт чего снижается антропогенное действие на атмосферу | «Применение специальных фильтров, устанавливаемых в вентиляционную систему цеха, которые позволяют собирать и утилизировать выделяющиеся при работе технологического оборудования вредные вещества» [3] |
| За счёт чего снижается антропогенное действие на гидросферу | «Контролировать утечки машинного масла из гидравлической системы технологического оборудования, в случае возникновения таких утечек их следует незамедлительно устранять» [3] |
| За счёт чего снижается антропогенное действие на литосферу | «На производственном участке необходимо выполнить установку ёмкостей, которые позволяют провести селективный сбор получаемых при выполнении технологического процесса отходов. Проведение инструктажа персонала о необходимости соблюдения мер по сбору мусора» [3] |

Таким образом, предложенные мероприятия позволяют уменьшить антропогенное воздействие на окружающую среду.

Выводы по экологическому разделу

В настоящем разделе выпускной квалификационной работе выполнен анализ предлагаемых технологических решений на предмет безопасности труда, пожарной безопасности и экологической безопасности.

Реализация проектной технологии приводит к появлению опасных и вредных производственных факторов, идентификация которых позволила предложить стандартные технические и организационные решения.

Идентификация опасных факторов пожара на рассматриваемом предприятии позволила предложить мероприятия и технические решения по устранению опасности возгорания. Также в настоящем разделе предложены средства борьбы с пожаром, если он все-таки произошёл несмотря на принятые меры.

В ходе выполнения экологического раздела установлено, что осуществление проектной технологии приводит к негативному антропогенному воздействию на окружающую среду. При этом страдают атмосфера, гидросфера и литосфера. Предлагаемые в работе мероприятия позволят соответствовать предприятию современной экологической повестке и свести к минимуму вред окружающей среде.

Все предлагаемые в настоящей выпускной квалификационной работе технические решения и организационные мероприятия являются стандартными и не требуют повышения эффективности за счёт разработки специализированных средств и методик.

4 Экономическое обоснование предлагаемых в выпускной квалификационной работе технологических решений

4.1 Исходные данные для выполнения расчётов по экономической эффективности

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена повышению эффективности восстановительной наплавки вала гидротурбины.

При выполнении базовой технологии восстановительной наплавки вала гидротурбины предусматривается применение ручной дуговой наплавки штучными электродами. Устраняемые недостатки ручной дуговой наплавки:

- низкая производительность ручной дуговой наплавки, которая не может быть увеличена путём корректировки параметров режима и состава сварочных электродов;
- при ручной дуговой наплавке наблюдается низкая стабильность качества, что объясняется непроварами, пористостью и трещинами;
- при ручной дуговой наплавке сварщику приходится работать в тяжёлых условиях, которые усугубляются вредным воздействием образующегося при горении дуги сварочного аэрозоля;
- расход электродов на огарки, разбрызгивание и угар приводят при ручной дуговой наплавке к увеличению расходов на сварочные материалы.

Проектная технология восстановительной наплавки предусматривает применение автоматической наплавки под флюсом.

При этом предусматривается выполнение следующих операций: токарная обработка, ультразвуковой контроль, предварительный подогрев, автоматическая наплавка, термическая обработка, визуальный контроль, токарная обработка, ультразвуковой контроль.

Для удержания и вращения детали в процессе наплавки предлагается использовать модернизированный токарно-винторезный станок РТ-166. При

модернизации станка его оснастили сварочным автоматом А-1406. Для обеспечения возможности установки габаритных деталей на станке была поднята задняя бабка и редуктор на 160 мм. Для регулирования частоты вращения при управлении скоростью наплавки электрическую схему станка дополнили частотным преобразователем «Lenze» производства Германии. В качестве источника питания сварочной дуги предложено использовать выпрямитель ВС-600.

Применение автоматической наплавки под флюс позволяет получить следующие положительные эффекты.

Во-первых, высокая производительность, которая многократно превышает производительность при ручной дуговой наплавке.

Во-вторых, наплавка под флюсом не предъявляет серьёзных требований к квалификации сварщика, что наблюдается при ручной дуговой наплавке. Снижаются требования как к квалификации сварщика, так и к продолжительности опыта его работы, что также сказывается положительно на кадровой политике предприятия.

В-третьих, наплавка под флюсом характеризуется высоким качеством наплавленного металла. Наблюдается очень хорошее сцепление наплавленных слоёв между собой и с основным металлом.

В-четвертых, при наплавке под флюсом значительно улучшаются условия труда сварщика, так как устраняется разбрызгивание, что уменьшает вред сварочного аэрозоля. Кроме того, значительно снижается тепловое и световое воздействие дуги, которая скрыта под слоем флюса.

Таким образом, для выполнения экономических расчётов по оценке эффективности проектной технологии следует свести в таблицу 15 исходные данные по базовому и проектному вариантам технологии.

При расчётах предстоит определить фонд времени работы оборудования, оценить себестоимость проведения работ по базовому и проектному вариантам технологии, рассчитать капитальные затраты.

Таблица 15 – Исходные данные для экономической оценки эффективности проектной технологии по сравнению с базовой технологией

| Наименование параметра экономической характеристики | Условное обозначение в расчётах | Единица измерения | Значение параметра экономической характеристики | |
|--|---------------------------------|-------------------|---|----------------------|
| | | | Базовая технология | Проектная технология |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| «Число рабочих смен в сутках | $K_{см}$ | - | 1 | 1 |
| Разряд работников | P_p | - | V | V |
| Часовая тарифная ставка | $Cч$ | Р/час | 200 | 200 |
| Коэффициент доплат | $K_{доп}$ | % | 12 | 12 |
| Коэффициент отчислений на дополнительную ЗП | K_d | - | 1,88 | 1,88 |
| Коэффициент отчислений на социальные нужды | $K_{сн}$ | % | 34 | 34 |
| Коэффициент выполнения нормы | $K_{вн}$ | - | 1,1 | 1,1 |
| Стоимость оборудования | $Ц_{об}$ | руб. | 400 тыс. | 1200 тыс. |
| Норма амортизации оборудования | K_a | % | 21,5 | 21,5 |
| Мощность оборудования | $M_{уст}$ | кВт | 12 | 40 |
| Коэффициент транспортно-заготовительных расходов | $K_{т-з}$ | % | 5 | 5 |
| Стоимость электрической энергии | $Ц_{э-э}$ | Р/ кВт | 3,02 | 3,02 |
| Коэффициент полезного действия | $K_{пд}$ | - | 0,7 | 0,85 |
| Коэффициент затрат на монтаж и демонтаж оборудования | $K_{мон}$ $K_{дем}$ | % | 3 | 5 |
| Площадь под оборудование | S | $м^2$ | 40 | 60 |
| Стоимость эксплуатации площадей | $C_{эсп}$ | $(P/м^2)/год$ | 2000 | 2000 |
| Цена производственных площадей | $Ц_{пл}$ | $P/м^2$ | 30000 | 30000 |
| Норма амортизации площади | $На.пл.$ | % | 5 | 5 |
| Коэффициент дополнительной производственной площади | $K_{пл}$ | - | 3 | 3 |
| Коэффициент эффективности капитальных вложений | E_n | - | 0,33 | 0,33 |
| Коэффициент цеховых расходов | $K_{цех}$ | - | 1,5 | 1,5 |
| Коэффициент заводских расходов» [12] | $K_{зав}$ | - | 1,15 | 1,15 |

Исходные данные в таблице 15 позволяют выполнить последующий расчёт экономических показателей базового и проектного вариантов проведения работ.

4.2 Расчёт объёмов фонда времени

Выполнение операций согласно проектной и базовой технологий предусматривает использование материальных и людских ресурсов в течение определённого количества времени. В зависимости от затрачиваемого времени рассчитывается заработная плата персонала, который задействован при выполнении операций технологического процесса. Также затрачиваемое время влияет на величину расходов на амортизацию оборудования и производственные площади.

В настоящем разделе выполним расчёт фонда времени, который одинаков для проектного и базового вариантов технологического процесса, так как в обоих случаях технология выполняется за одинаковое число смен в сутках.

В календарном году принимается число рабочих дней $D_p = 277$ при стандартной продолжительности смены $T_{см} = 8$ часов. При расчётах следует учитывать сокращение длительности рабочей смены в предпраздничные дни на $T_{п} = 1$ час. Планируемое количество предпраздничных дней составляет $D_{п} = 7$. С учётом вышеизложенного для количества смен $K_{см} = 1$ рассчитаем фонд времени, воспользовавшись формулой:

$$F_H = (D_p \cdot T_{см} - D_{п} \cdot T_{п}) \cdot K_{см} . \quad (1)$$

При подстановке исходных значений в формулу (1) получаем:

$$F_H = (277 \cdot 8 - 7 \cdot 1) \cdot 1 = 2209 \text{ часов.}$$

Далее следует рассчитать величину эффективного фонда времени с учётом запланированных потерь рабочего времени $B = 7 \%$, воспользовавшись формулой:

$$F_э = F_H(1 - B/100). \quad (2)$$

При подстановке исходных значений в формулу (2) получаем:

$$F_э = 2209 \cdot (1 - 7/100) = 2054 \text{ часов.}$$

4.3 Расчёт штучного времени

Расчитанный выше эффективный фонд времени работы оборудования расходуется на выполнение операций проектного и базового технологического процесса. Годовую программы выполнения работ можно рассчитать, зная штучное время, которое определяет временные затраты на выполнение проектного и базового процессов применительно к одной единице изделия из годовой программы. Величину штучного времени для проектного и базового вариантов технологии определяем с учётом нормирования труда сварщика по технологической карте.

В состав штучного времени $t_{шт}$ входит несколько слагаемых. Во-первых, это машинное время $t_{маш}$, которое затрачивается на выполнение основных операций технологического процесса. Во-вторых, это вспомогательное время $t_{всп}$, которое затрачивается на выполнение подготовительных операций и задаётся как 10 % от машинного времени $t_{маш}$. В-третьих, это время обслуживания рабочего места $t_{обсл}$, которое задаётся как 5 % от машинного времени $t_{маш}$. В-четвёртых, это время личного отдыха $t_{отд}$, которое задаётся как 5 % от машинного времени $t_{маш}$. В пятых, это подготовительно-заключительное время $t_{п-з}$, которое задаётся как 1% от машинного времени $t_{маш}$. С учётом исходных данных расчёт штучного времени проводим, воспользовавшись формулой:

$$t_{шт} = t_{маш} + t_{всп} + t_{обсл} + t_{отд} + t_{п-з} . \quad (3)$$

При подстановке исходных значений в формулу (3) получаем для базового варианта: $t_{шт.баз} = 20 \cdot (100\% + 10\% + 5\% + 5\% + 1\%) = 24,2$ часа, проектного варианта: $t_{шт.пр} = 4 \cdot (100\% + 10\% + 5\% + 5\% + 1\%) = 4,8$ часа.

Вычисление годовой программы Π_r работ выполняем с учётом определённых выше эффективного фонда времени и штучного времени для проектного и базового вариантов, воспользовавшись формулой:

$$P_r = F_3 / t_{шт.} \quad (4)$$

При подстановке исходных значений в формулу (4) получаем для базового варианта: $P_{r.баз.} = 2054/24,2 = 85$ деталей в год, проектного варианта: $P_{r.пр.} = 2054/4,8 = 428$ деталей в год.

При проведении последующих экономических расчетов примем годовую программу для проектного и базового вариантов технологии $P_r = 80$ деталей в год, что примерно соответствует современным потребностям отрасли.

Для расчёта требуемого количества оборудования, которое необходимо при выполнении годовой программы с учётом коэффициента выполнения нормы $K_{вн} = 1,03$, воспользуемся формулой:

$$n_{расч} = t_{шт.} \cdot P_r / (F_3 \cdot K_{вн}). \quad (5)$$

При подстановке исходных значений в формулу (5) получаем для базового варианта: $n_{расч} = 24,2 \cdot 80 / (2054 \cdot 1,03) = 0,9$, проектного варианта: $n_{расч} = 4,8 \cdot 80 / (2054 \cdot 1,03) = 0,18$.

На основании проведённых расчётов принимаем количество единиц технологического оборудования, которое будет задействовано при выполнении операций технологического процесса согласно проектного и базового вариантов $n = 1$. Для расчёта коэффициента загрузки оборудования в обоих вариантах технологии воспользуемся формулой:

$$K_3 = n_{расч} / n. \quad (6)$$

При подстановке исходных значений в формулу (6) получаем для базового варианта: $K_{3.б.} = 0,9/1 = 0,9$; проектного варианта: $K_{3.п.} = 0,18/1 = 0,18$.

Определённые выше значения штучного времени $t_{шт.}$, годовой программы P_r , коэффициента загрузки оборудования K_3 будут использованы при дальнейших экономических расчётах.

4.4 Заводская себестоимость проектного и базового вариантов технологии

Проведение операции восстановительной наплавки требует затрат сварочных материалов. При базовом варианте технологии такими материалами служат сварочные электроды ЭА-606/11. При проектной технологии сварочными материалами служат проволока Св-08Х20Н9Г7Т диаметром 2 мм и флюс АН-348. При дальнейших расчётах себестоимости выполнения работ необходимо определить затраты M на материалы с учётом цены материалов C_M , нормы расхода материалов N_p и коэффициента транспортно-заготовительных расходов $K_{ТЗ}$, воспользовавшись формулой:

$$M = C_M \cdot N_p \cdot K_{ТЗ} . \quad (7)$$

При подстановке исходных значений в формулу (7) получаем для базового варианта: $M_{баз.} = 345 \cdot 30 \cdot 1,5 \cdot 1,05 = 16300$ руб.;

проектного варианта: $M_{пр.} = 150 \cdot 30 \cdot 1,2 \cdot 1,05 + 39 \cdot 30 \cdot 0,5 \cdot 1,05 = 6280$ руб.

Расчёт основной заработной платы $Z_{осн}$ выполняем по ранее определённым величинам штучного времени $t_{шт}$, коэффициента доплат K_d и часовой тарифной ставки $C_ч$. Для этого воспользуемся формулой:

$$Z_{осн} = t_{шт} \cdot C_ч \cdot K_d . \quad (8)$$

При подстановке исходных значений в формулу (8) получаем для базового варианта технологии: $Z_{осн} = 24,2 \cdot 200 \cdot 1,88 = 9100$ руб.; проектного варианта технологии: $Z_{осн} = 4,8 \cdot 200 \cdot 1,88 = 1800$ руб.

Расчёт дополнительной заработной платы $Z_{доп}$ проводим с использованием ранее определённого значения основной заработной платы $Z_{осн}$ для проектного и базового вариантов и с учётом коэффициента дополнительных доплат $K_{доп}$. При расчётах воспользуемся формулой:

$$Z_{доп} = Z_{осн} \cdot K_{доп} / 100 . \quad (9)$$

При подстановке исходных значений в формулу (9) получаем для базового варианта технологии: $Z_{\text{доп}} = 9100 \cdot 12 / 100 = 1090$ руб.; проектного варианта технологии: $Z_{\text{доп}} = 1800 \cdot 12 / 100 = 220$ руб.

Объём фонда заработной платы ФЗП определим как сумму дополнительной заработной платы $Z_{\text{доп}}$ и основной заработной платы $Z_{\text{осн}}$. При этом для базового варианта объём фонда заработной платы составил: $\text{ФЗП} = 9100 + 1090 = 10190$ руб. Для проектного варианта объём фонда заработной платы составил: $\text{ФЗП} = 1800 + 220 = 2020$ руб.

Величину отчислений на социальные нужды $O_{\text{сн}}$ определяем с учётом ранее рассчитанного фонда заработной платы ФЗП и коэффициента отчислений на социальные нужды $K_{\text{сн}}$. При расчётах воспользуемся формулой:

$$O_{\text{сн}} = \text{ФЗП} \cdot K_{\text{сн}} / 100. \quad (10)$$

При подстановке исходных значений в формулу (10) получаем для базового варианта технологии: $O_{\text{сн}} = 10190 \cdot 34 / 100 = 3470$ руб.; для проектного варианта технологии: $O_{\text{сн}} = 2020 \cdot 34 / 100 = 690$ руб.

Затраты на оборудование $Z_{\text{об}}$ рассчитываем с учётом амортизационных отчислений $A_{\text{об}}$ и затрат на электрическую энергию $P_{\text{э}}$. При расчётах воспользуемся формулой:

$$Z_{\text{об}} = A_{\text{об}} + P_{\text{э}}. \quad (11)$$

Величину амортизационных отчислений определим с учётом нормы амортизации $N_{\text{а}}$, цены оборудования $\Pi_{\text{об}}$ для выполнения операций по базовому и проектному вариантам и машинного времени $t_{\text{маш}}$. При расчётах воспользуемся формулой:

$$A_{\text{об}} = \frac{\Pi_{\text{об}} \cdot N_{\text{а}} \cdot t_{\text{маш}}}{F_{\text{э}} \cdot 100}. \quad (12)$$

При подстановке исходных значений в формулу (12) получаем для базового варианта: $A_{об.} = (400000 \cdot 21,5 \cdot 24,2) / (2054 \cdot 100) = 1970$ руб.; для проектного варианта: $A_{об.} = (1200000 \cdot 21,5 \cdot 4,8) / (2054 \cdot 100) = 600$ руб.

Расчёт затрат на электрическую энергию $P_{э}$ выполняем с учётом установленной мощности оборудования $M_{уст}$, цены электрической энергии для промышленных предприятий $C_{э}$ и коэффициента полезного действия КПД для рассчитанного выше штучного времени $t_{шт}$. При расчётах воспользуемся формулой:

$$P_{э} = M_{уст} \cdot t_{шт} \cdot C_{э} / \text{КПД}. \quad (13)$$

При подстановке исходных значений в формулу (13) получаем для базового варианта: $P_{э} = 12 \cdot 24,2 \cdot 3,02 / 0,7 = 1250$ руб. Для проектного варианта получаем: $P_{э} = 40 \cdot 4,8 \cdot 3,02 / 0,85 = 680$ руб.

При подстановке исходных значений в формулу (11) получаем для базового варианта: $Z_{об} = 1970 + 1250 = 3220$ руб. Для проектного варианта технологии получаем: $Z_{об} = 600 + 680 = 1280$ руб.

Величину технологической себестоимости $C_{тех}$ при выполнении производственного процесса по базовому и проектному вариантам технологии определим как сумму затрат на материалы M , фонд заработной платы ФЗП, отчисления на социальные нужды $O_{сн}$ и затраты на оборудование $Z_{об}$. При расчётах воспользуемся формулой:

$$C_{тех} = M + \text{ФЗП} + O_{сн} + Z_{об}. \quad (14)$$

При подстановке исходных значений в формулу (14) получаем для базового варианта: $C_{тех.} = 16300 + 10190 + 3470 + 3220 = 33180$ руб. Для проектного варианта технологии: $C_{тех.} = 6280 + 2020 + 690 + 1280 = 10270$ руб.

Величину цеховой себестоимости $C_{цех}$ при выполнении производственного процесса по базовому и проектному вариантам технологии определим с учётом ранее рассчитанной технологической

себестоимости $C_{\text{тех}}$ и коэффициента цеховых расходов $K_{\text{цех}}$. При расчётах воспользуемся формулой:

$$C_{\text{цех}} = C_{\text{тех}} + Z_{\text{осн}} \cdot K_{\text{цех}}. \quad (15)$$

При подстановке исходных значений в формулу (15) получаем для базового варианта: $C_{\text{цех}} = 33180 + 1,5 \cdot 9100 = 33180 + 13650 = 46830$ руб. Для проектного варианта: $C_{\text{цех}} = 10270 + 1,5 \cdot 1800 = 10270 + 2700 = 12970$ руб.

Величину заводской себестоимости $C_{\text{зав}}$ при выполнении производственного процесса по базовому и проектному вариантам технологии определим с учётом ранее рассчитанной цеховой себестоимости $C_{\text{цех}}$ и коэффициента заводских расходов $K_{\text{зав}}$. При расчётах воспользуемся формулой:

$$C_{\text{зав}} = C_{\text{цех}} + Z_{\text{осн}} \cdot K_{\text{зав}}. \quad (16)$$

При подстановке исходных значений в формулу (16) получаем для базового варианта: $C_{\text{зав}} = 46830 + 1,15 \cdot 9100 = 46830 + 10460 = 57290$ руб. Для проектного варианта: $C_{\text{зав}} = 12970 + 1,15 \cdot 1800 = 12970 + 2070 = 15040$ руб.

В таблице 16 представлена калькуляция заводской себестоимости проведения проектной и базовой технологии.

Таблица 16 – Калькуляция заводской себестоимости проведения производственного процесса по базовому и проектному варианту технологии

| ПОКАЗАТЕЛИ | Услов. обозн. | Калькуляция., руб | |
|----------------------------------|------------------|-------------------|----------|
| | | Базовый | Проектн. |
| 1. «Затраты на материалы | М | 16300 | 6280 |
| 2. Объём фонда заработной платы | ФЗП | 10190 | 2020 |
| 3. Отчисления на соц. нужды | Осн | 3470 | 690 |
| 4. Затраты на оборудование | Зоб | 3220 | 1280 |
| 5. Технологическая себестоимость | Стех | 33180 | 10270 |
| 6. Объём цеховых расходов | Рцех | 13650 | 2700 |
| 7. Цеховая себестоимость | Сцех | 46830 | 12970 |
| 8. Объём заводских расходов | Рзав | 10460 | 2070 |
| 9. Заводская себестоимость» [13] | $C_{\text{зав}}$ | 57290 | 15040 |

Как видно из таблицы 16, проведение производственного процесса по проектной технологии характеризуется меньшей заводской себестоимостью.

4.5 Капитальные затраты по проектному и базовому вариантам технологии

Вычисление общих капитальных затрат $K_{\text{общ. б.}}$ при проведении производственного процесса по базовому варианту технологии проводится с использованием рассчитанного ранее коэффициента загрузки оборудования $K_{з.б.}$ и остаточной стоимости оборудования $\Pi_{\text{об.б.}}$. При расчётах воспользуемся формулой:

$$K_{\text{общ. б.}} = \Pi_{\text{об.б.}} \cdot K_{з.б.} \quad (17)$$

Величину остаточной стоимости оборудования $\Pi_{\text{об.б.}}$, которое было использовано в производственном процессе при осуществлении базового варианта технологии рассчитываем с учётом срока службы $T_{\text{сл}}$, рыночной стоимости нового оборудования $\Pi_{\text{перв}}$ и нормы амортизационных отчислений H_a . При расчётах воспользуемся формулой:

$$\Pi_{\text{об.б.}} = \Pi_{\text{перв}} - (\Pi_{\text{перв}} \cdot T_{\text{сл}} \cdot H_a / 100). \quad (18)$$

При подстановке исходных значений в формулу (18) получаем остаточную стоимость $\Pi_{\text{об.б.}} = 400000 - (400000 \cdot 3 \cdot 21,5 / 100) = 142000$ руб.

При подстановке исходных значений в формулу (17) получаем величину общих капитальных затрат $K_{\text{общ. б.}} = 1 \cdot 142000 \cdot 0,90 = 127800$ руб.

Вычисление общих капитальных затрат $K_{\text{общ. пр.}}$ при проведении производственного процесса по проектному варианту технологии проводится с учётом капитальных вложений в производственные площади $K_{\text{пл. пр.}}$, капитальных затрат на оборудование $K_{\text{об. пр.}}$ и сопутствующих затрат $K_{\text{соп.}}$. При расчётах воспользуемся формулой:

$$K_{\text{общ. пр.}} = K_{\text{об. пр.}} + K_{\text{пл. пр.}} + K_{\text{соп.}} \quad (19)$$

Объём капитальных вложений в оборудование $K_{об}$ при осуществлении проектного технологического процесса рассчитывается с учётом цены оборудования $C_{об}$, коэффициента транспортно-заготовительных расходов $K_{тз}$ и коэффициента загрузки оборудования $K_{з.п.}$, который был рассчитан ранее. При расчётах воспользуемся формулой:

$$K_{об.пр.} = C_{об. пр.} \cdot K_{тз} \cdot K_{з.п.} \quad (20)$$

При подстановке исходных значений в формулу (20) капитальные вложения в оборудование $K_{об.пр.} = 1200000 \cdot 1,05 \cdot 0,18 = 226800$ руб.

Объём сопутствующих затрат $K_{соп}$ при проведении производственного процесса по проектной технологии вычисляется с учётом расходов на монтаж $P_{монт}$ проектного оборудования и демонтаж $P_{дем}$ базового оборудования. При расчётах воспользуемся формулой:

$$P_{соп} = P_{дем} + P_{монт.} \quad (21)$$

Расходы на демонтаж $P_{дем}$ определяются исходя из стоимости оборудования по базовому варианту с учётом коэффициента затрат на демонтаж $K_{дем}$. При расчётах воспользуемся формулой:

$$P_{дем} = C_{об. б.} \cdot K_{д.} \quad (22)$$

При подстановке исходных значений в формулу (22) расходы на демонтаж оборудования составили: $P_{дем} = 1 \cdot 400000 \cdot 0,05 = 20000$ руб.

Расходы на монтаж $P_{монт}$ определяются исходя из стоимости оборудования по проектному варианту с учётом коэффициента затрат на монтаж $K_{монт}$. При расчётах воспользуемся формулой:

$$P_{монт} = C_{об. пр.} \cdot K_{м.} \quad (23)$$

При подстановке исходных значений в формулу (23) расходы на монтаж оборудования составили: $P_{монт} = 1 \cdot 1200000 \cdot 0,05 = 60000$ руб.

При подстановке исходных значений в формулу (21) сопутствующие расходы составили: $K_{\text{соп}} = 20000 + 60000 = 80000$ руб.

При подстановке исходных значений в формулу (19) общие капитальные затраты при реализации проектной технологии составили: $K_{\text{общ.пр.}} = 226800 + 80000 = 306800$ руб.

Дополнительные капитальные затраты при внедрении проектной технологии рассчитываются с учётом общих капитальных затрат при проектном варианте $K_{\text{общ.пр.}}$ и общих капитальных затрат при базовом варианте $K_{\text{общ.б.}}$. При расчётах воспользуемся формулой:

$$K_{\text{доп}} = K_{\text{общ.пр.}} - K_{\text{общ.б.}} \quad (24)$$

При подстановке исходных значений в формулу (24) дополнительные капитальные вложения составят: $K_{\text{доп}} = 306800 - 127800 = 179000$ руб.

Размер удельных капитальных вложений $K_{\text{уд}}$ при построении технологии по базовому и проектному вариантам рассчитываются исходя из годовой программы Π_r и общих капитальных вложений. При расчётах воспользуемся формулой:

$$K_{\text{уд}} = K_{\text{общ.}} / \Pi_r \quad (25)$$

При подстановке исходных значений в формулу (25) удельные капитальные вложения по базовому варианту: $K_{\text{уд}} = 127800/80 = 1600$ руб./ед. Удельные капитальные вложения по проектному варианту составляют: $K_{\text{уд}} = 306800/80 = 3840$ руб./ед.

4.6 Показатели экономической эффективности проектного варианта технологии

Оценку экономической эффективности проектной технологии по сравнению с построением производственного процесса по базовому варианту выполняем по таким показателям:

- снижение трудоёмкости $\Delta t_{шт}$;
- повышение производительности труда P_T ;
- снижение технологической себестоимости $\Delta C_{тех}$;
- условно-годовая экономия $P_{ок}$;
- срок окупаемости капитальных вложений $T_{ок}$;
- годовой экономический эффект $\mathcal{E}_г$.

За счёт совершенствования технологического процесса получено снижение трудоёмкости $\Delta t_{шт}$, которое рассчитывается по штучному времени в случае выполнения производственного процесса по базовому варианту $t_{шт.б.}$ и по штучному времени в случае выполнения производственного процесса по проектному варианту $t_{шт.пр.}$ При расчётах воспользуемся формулой:

$$\Delta t_{шт} = (t_{шт.б.} - t_{шт.пр.}) \cdot 100 \% / t_{шт.б.} \quad (26)$$

При подстановке исходных значений в формулу (26) снижение трудоёмкости составило: $\Delta t_{шт} = (24,2 - 4,8) \cdot 100 \% / 24,2 = 80 \%$.

Расчёт повышения производительности труда P_T выполняется с учётом рассчитанного выше снижения трудоёмкости $\Delta t_{шт}$. При расчётах воспользуемся формулой:

$$P_T = 100 \cdot \Delta t_{шт} / (100 - \Delta t_{шт}). \quad (27)$$

При подстановке исходных значений в формулу (27) повышение производительности труда составило: $P_T = 100 \cdot 80 / (100 - 80) = 400 \%$.

Расчёт снижения технологической себестоимости $\Delta C_{тех}$ выполняем с учётом ранее определённых технологической себестоимости по базовому варианту технологии $C_{тех.б.}$ и технологической себестоимости по проектному варианту технологии $C_{тех.пр.}$ При расчётах воспользуемся формулой:

$$\Delta C_{тех} = (C_{тех.б.} - C_{тех.пр.}) \cdot 100\% / C_{тех.б.}, \quad (28)$$

При подстановке исходных значений в формулу (28) снижение технологической себестоимости при внедрении предлагаемых технических решений составило: $\Delta C_{\text{тех}} = (33180 - 10270) \cdot 100\% / 33180 = 70 \%$.

Расчёт условно-годовой экономии $\Pi_{\text{ож}}$ выполним с учётом годовой программы $\Pi_{\text{г}}$, заводской себестоимости по проектному варианту $C_{\text{зав.пр}}$ и заводской себестоимости по базовому варианту $C_{\text{зав.б}}$. При расчётах воспользуемся формулой:

$$\Pi_{\text{ож}} = \mathcal{E}_{\text{уг}} = (C_{\text{зав.б}} - C_{\text{зав.пр}}) \cdot \Pi_{\text{г}}. \quad (29)$$

При подстановке исходных значений в формулу (29) условно-годовая экономия составила: $\mathcal{E}_{\text{уг}} = (57290 - 15040) \cdot 80 = 3380000$ руб.

При расчёте срока окупаемости дополнительных капитальных вложений $T_{\text{ок}}$ учитывается размер дополнительных капитальных вложений $K_{\text{доп}}$ и величина условно-годовой экономии $\mathcal{E}_{\text{уг}}$. При расчётах воспользуемся формулой:

$$T_{\text{ок}} = K_{\text{доп}} / \mathcal{E}_{\text{уг}}. \quad (30)$$

При подстановке исходных значений в формулу (30) срок окупаемости дополнительных капитальных вложений составил: $T_{\text{ок}} = 0,1$ года.

Расчёт годового экономического эффекта $\mathcal{E}_{\text{г}}$ при внедрении предлагаемых в выпускной квалификационной работе технических решений выполняется с учётом рассчитанных ранее условно-годовой экономии $\mathcal{E}_{\text{уг}}$, дополнительных капитальных затрат $K_{\text{доп}}$ и коэффициента эффективности капитальных вложений $E_{\text{н}}$. При расчётах воспользуемся формулой:

$$\mathcal{E}_{\text{г}} = \mathcal{E}_{\text{уг}} - E_{\text{н}} \cdot K_{\text{доп}} \quad (31)$$

При подстановке исходных значений в формулу (31) годовая экономия составила: $\mathcal{E}_{\text{г}} = (3380000 - 0,33 \cdot 368000) = 3260000$ руб.

Таким образом, проектная технология показывает свою эффективность по всем показателям и может быть рекомендована к внедрению.

Выводы по экономическому разделу

В ходе выполнения экономического раздела выпускной квалификационной работы рассмотрены варианты построения производственного процесса с применением базовой технологии и с применением проектной технологии.

Для проектной и базовой технологии были рассчитаны основные экономические показатели (штучное время; технологическая, цеховая и заводская себестоимость, капитальные вложения).

Оценку экономической эффективности проектной технологии по сравнению с построением производственного процесса по базовому варианту выполняем по таким показателям, как снижение трудоёмкости, повышение производительности труда, снижение технологической себестоимости, условно-годовая экономия, срок окупаемости капитальных вложений, годовой экономический эффект.

Предлагаемые технологические решения позволяют уменьшить трудоёмкость выполнения работ на 80 % и увеличить производительность на 400 %.

Уменьшение расходов по статьям позволило снизить технологическую себестоимость на 70%. При этом условно-годовая экономия составила 3,4 млн. рублей.

Дополнительные капитальные вложения окупятся за 0,1 года. При этом годовой экономический эффект составит 3,2 млн. рублей.

На основании вышеизложенного следует признать эффективность построения производственного процесса по проектной технологии. Представленные в выпускной квалификационной работе технические решения могут быть рекомендованы к внедрению на предприятиях Российской Федерации.

Заключение

В настоящей выпускной квалификационной работе поставлена цель – повышение производительности и качества восстановительной наплавки валов гидротурбин.

На основании проведённого ранее анализа состояния вопроса и источников научно-технической информации в первом разделе выпускной квалификационной работы были сформулированы её задачи.

Первой задачей является обоснование выбора способа ремонтной наплавки вала гидротурбины. Для этого необходимо выполнить анализ преимуществ и недостатков рассматриваемых способов и выполнить выбор с учётом выставленных экспертных оценок.

Второй задачей является построение проектной технологии ремонтной наплавки вала гидротурбины, для чего необходимо привести перечень операций, назначить параметры режима, выбрать основное и вспомогательное оборудование.

Третьей задачей является оценка предлагаемых технологических решений на предмет экологической безопасности и охраны труда.

Четвёртой задачей является проведение экономических расчётов по затратам на осуществление базовой и проектной технологий, на основании которых предстояло сделать вывод об экономической эффективности предлагаемых в выпускной квалификационной работе решений.

Решая первую задачу, проведён предварительный анализ возможных способов восстановительной наплавки вала гидравлической турбины. Были приняты к рассмотрению следующие способы: ручная дуговая наплавка, наплавка под слоем флюса, плазменная наплавка, вибродуговая наплавка, наплавка в защитных газах плавящейся проволокой, наплавка в инертных газах неплавящимся электродом. По результатам экспертной оценки для построения проектной технологии предложено использовать автоматическую наплавку под флюсом.

Решая вторую задачу, была построена проектная технология восстановительной наплавки вала гидротурбины. При этом предусматривается выполнение следующих операций: токарная обработка, ультразвуковой контроль, предварительный подогрев, автоматическая наплавка, термическая обработка, визуальный контроль, токарная обработка, ультразвуковой контроль.

Для удержания и вращения детали в процессе наплавки предлагается использовать модернизированный токарно-винторезный станок РТ-166. При модернизации станка его оснастили сварочным автоматом А-1406. Для обеспечения возможности установки габаритных деталей на станке была поднята задняя бабка и редуктор на 160 мм. Для регулирования частоты вращения при управлении скоростью наплавки электрическую схему станка дополнили частотным преобразователем «Lenze» производства Германии. В качестве источника питания сварочной дуги предложено использовать выпрямитель ВС-600.

Решая третью задачу выполнен анализ предлагаемых технологических решений на предмет безопасности труда, пожарной безопасности и экологической безопасности. Предложены мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на окружающую среду.

Решая четвертую задачу выполнена оценка экономической эффективности проектной технологии по сравнению с построением производственного процесса по базовому варианту. Предлагаемые технологические решения позволяют уменьшить трудоёмкость выполнения работ на 80 % и увеличить производительность на 400 %. Уменьшение расходов по статьям позволило снизить технологическую себестоимость на 70%. При этом годовой экономический эффект составит 3,2 млн. рублей.

На основании вышеизложенного следует признать поставленную цель достигнутой.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Бабинец А. А. Свойства высоколегированного металла, наплавленного электрошлаковым способом двумя лентами // Автоматическая сварка. 2016. № 4. С. 42-46.
2. Батищев А. Н. Методика обоснования рационального способа восстановления изношенных деталей // Современное оборудование и технологические процессы для восстановления и упрочнения деталей машин: тез. докл. науч.-техн. конф. стран – членов СЭВ «Ремдеталь-88», 17–21 октября 1988 г., г. Пятигорск. М., 1988. Ч. 1. С. 23–24.
3. Белов С. В. Охрана окружающей среды. М. : Машиностроение, 1990. 372 с.
4. Васильев Н. Г., Галиев И. И., Васильева Т. Н. Выбор способа восстановления изношенных деталей // Сварочное производство. 1996. № 7. С. 13–15.
5. Георгиевская Е. В. Обеспечение надёжности и безопасности эксплуатации гидроагрегатов за пределами проектного срока службы // Проблемы энергетики. 2017. № 7-8. С. 33-42.
6. Гладкий П. В., Переплётчиков Е.Ф., Рябцев А. И. Плазменная наплавка // К. : Екологія, 2007. 292 с.
7. Горина Л. Н. Обеспечение безопасных условий труда на производстве: учебное пособие. Тольятти : ТолПИ, 2000. 68 с.
8. Гуленин А. А., Насад Т. Г. Применение воротникового уплотнения вала в гидротурбинах с напором выше 40М // Юность и знания – гарантия успеха 2021. С. 275-277.
9. Данилов П.А, Повышение эффективности восстановления работоспособности изношенных деталей на основе обоснованного выбора технологических методов восстановления их эксплуатационных свойств : диссертация на соискание уч. степени канд. техн. наук. Москва: СТАНКИН. 2010.

10. Иванов В. П. Выбор способа восстановления деталей // Наука и техника. 2016. № 1. С. 9–17.
11. Козулин, М.Г. Технология изготовления сварных конструкций : учебно-методическое пособие к курсовому проектированию. Тольятти : ТГУ, 2008. 77 с.
12. Краснопевцева И. В. Экономическая часть дипломного проекта : метод. указания. Тольятти : ТГУ, 2008. 38 с.
13. Кудинова Г. Э. Организация производства и менеджмент : метод. указания к выполнению курсовой работы. Тольятти : ТГУ, 2005. 35 с.
14. Кусков Ю. М., Демченко Ю. В., Денисенко А. М. Наплавочный участок ремонта деталей гидроэнергетического оборудования в АО «САКЭНЕРГОРЕМОНТИ» // Автоматическая сварка. 2009. № 1. С. 57-59
15. Малаховский В. А. Плазменные процессы в сварочном производстве // М. : Высшая школа, 1988. 72 с.
16. Патон Б.Е. Исследования и разработки ИЭС им. Е.О. Патона для современной энергетики // Современная электрометаллургия. 2013. № 4. С. 12-20.
17. Потапьевский А. Г., Сараев Ю. Н., Чинахов А. Д. Сварка сталей в защитных газах плавящимся электродом. Техника и технология будущего : монография. Томск : Издательство Томского политехнического университета, 2012. 208 с.
18. Потапьевский А. Г. Сварка в защитных газах плавящимся электродом. М. : Машиностроение, 1974. 240 с.
19. Походня И. К. Сварочные материалы: состояние и тенденции развития // Сварочное производство. 2003. № 6. С. 26–40.
20. Рябцев И. А., Бабинец А. А., Коржик В. Н. Оборудование и технология антикоррозионной электрошлаковой наплавки двумя лентами // Автоматическая сварка. 2017. № 8. С. 55-60.
21. Смирнов И. В. Сварка специальных сталей и сплавов : учебное пособие Тольятти : ТГУ, 2007. 301 с.

22. Сорокин В. Г., Волосникова А. В., Вяткин С. А. Марочник сталей и сплавов. М. : Машиностроение, 1989. 640 с.

23. СТО 70238424.27.140.015-2010 Гидроэлектростанции. Организация эксплуатации и технического обслуживания. Нормы и требования. Утв. приказом НП «ИНВЭЛ» от 16.09.2010 № 63

24. СТО РусГидро 02.01.062-2012 Гидроэлектростанции. Ремонт и техническое обслуживание оборудования, зданий и сооружений. Организация производственных процессов. Нормы и требования. Утв. приказом ОАО «РусГидро» с изм. от 31.07.2013 № 694

25. Шицын Ю. Д. Неулыбин С. Д. Белинин Д. С. Влияние ультразвукового воздействия в процессе цикла наплавки на свойства и структуру наплавленного металла из стали 12Х18Н10Т // Вестник ПНИПУ. 2019. № 2. С. 23-30.