

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 Технология наплавки на вал гидравлической турбины

Студент

А.В. Хорошилов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент А.Ю. Краснопевцев

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

Консультанты

к.э.н., доцент Е.Г. Смышляева

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

к.ф.-м.н., доцент Д.А. Романов

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

Тольятти 2024

Аннотация

Построенные в прошлом столетии, гидравлические станции требуют проведения постоянного ремонта оборудования, своевременность и правильность выполнения которого определяет безопасность работы электрической станции. При этом необходимо придерживаться требований нормативной документации. Продление срока службы элементов оборудования делает необходимым применение технологий сварки и наплавки, которые призваны обеспечить продление безопасного срока службы.

Цель выпускной квалификационной работы – повышение производительности и качества наплавки валов гидравлических турбин.

В исполнительском разделе выпускной квалификационной работы решены задачи обоснования выбора способа восстановительной наплавки валов гидравлических турбин, повышения эффективности наплавки с применением разработок отечественных исследователей и построения проектной технологии наплавки. Разработана проектная технология сварки изделий, для которой составлен перечень технологических операций, назначены оптимальные параметры режима сварки и выбрано оборудование.

В оценочных разделах идентифицированы опасные и вредные производственные факторы производства, предложены мера защиты от них. На основании анализа результатов расчета изменяющихся экономических показателей сделан вывод о целесообразности внедрения предлагаемых решений в производство. Годовой экономический эффект составляет более трех миллионов рублей. Результаты работы предлагаются к внедрению на предприятиях энергомашиностроения Российской Федерации.

Содержание

Введение	5
1 Современное состояние восстановительной наплавки валов гидравлических турбин.	7
1.1 Конструкция вала гидравлической турбины и условия эксплуатации.	7
1.2 Сведения о материале вала.	9
1.3 Операции базового процесса наплавки вала.	11
1.4 Анализ источников научно-технической информации по вопросу наплавки валов гидравлических турбин.	15
1.5 Формулировка задач выпускной квалификационной работы.	19
2 Проектный технологический процесс наплавки вала гидравлической турбины.	21
2.1 Выбор альтернативных вариантов построения технологии наплавки.	21
2.2 Ручная дуговая наплавка при восстановлении вала гидротурбины.	22
2.3 Восстановление валов с применением наплавки под флюсом.	23
2.4 Плазменная наплавка при восстановлении валов гидротурбин.	25
2.5 Применение вибродуговой наплавки для восстановления валов гидравлических турбин.	26
2.6 Восстановление валов с применением наплавки в защитных газах плавящейся проволокой.	28
2.7 Электрошлаковая наплавка.	29
2.8 Операции проектного технологического процесса восстановительной наплавки.	32
3 Безопасность и экологичность предлагаемых технических решений.	38
3.1 Постановка задачи. Характеристика технологического объекта.	38
3.2 Идентификация профессиональных рисков.	39

3.3 Устранение возникающих профессиональных рисков.	41
3.4 Обеспечение пожарной безопасности.	42
3.5 Экологическая безопасность.	44
4 Экономическое обоснование проектных решений.	45
4.1 Анализ исходных данных для выполнения экономического обоснования.	45
4.2 Фонд времени оборудования.	47
4.3 Штучное время и годовая программа.	48
4.4 Заводская себестоимость рассматриваемых вариантов технологии.	50
4.5 Расчёт капитальных затрат.	55
4.6 Расчёт экономических показателей.	57
Заключение	59
Список используемой литературы и используемых источников.	61

Введение

Растущие потребности современного общества требуют для своего удовлетворения потребления все большего и большего количества энергетических ресурсов. По прогнозам аналитиков к середине 21-го века ожидается двукратный рост потребления электрической энергии по сравнению с настоящим уровнем потребления [21]. При этом приблизительно 40 % всех добываемых энергоресурсов будет идти именно на выработку электрической энергии. Вопросы повышения экологической ответственности стоящие на повестке дня современного общества, делают необходимым развитие возобновляемых источников электрической энергии, к которым относят гидравлические электростанции. ГЭС, в отличие от тепловых и атомных электростанций, не загрязняют окружающую среду и не требуют для своей работы добычи ресурсов.

Построенные в прошлом столетии, гидравлические станции требуют проведения постоянного ремонта оборудования, своевременность и правильность выполнения которого определяет безопасность работы электрической станции. При этом необходимо придерживаться требований нормативной документации [27], [28], [29]. Продление срока службы элементов оборудования делает необходимым применение технологий сварки и наплавки, которые призваны обеспечить продление безопасного срока службы.

При длительной эксплуатации оборудования электрических станций необходимо принимать во внимание особенности работы стареющих деталей машин, которые все более начинают проявлять себя по мере износа и многократного ремонта. В первую очередь, необходимо отметить, что в стареющей детали по мере работы протекают процессы деградации материала и изменения геометрии. В результате ранее одинаковые детали начинают отличаться друг от друга по размерам и характеристикам. Таким образом, установка таких деталей на оборудование вызывает отклонение

поведения всей конструкции от моделируемого. При этом оборудование начинает работать при условиях, отличных от проектируемых. Большинство агрегатов, которые продолжают работу на гидравлических станциях Российской Федерации, «имеют срок службы более 30 лет, нормативный ресурс их уже выработан. У таких деталей наработка составляет уже более 350 тысяч часов, а срок службы 40...50 лет» [3]. Эксплуатация оборудования с такими деталями связана с повышением опасности возникновения аварийных ситуаций и требует применения мер по замене или реновации. При этом следует принимать во внимание, что одномоментная замена всех физически устаревших агрегатов невозможна, поэтому приходится проводить плановую замены с учётом индивидуального для каждой «детали срока перехода в предельное состояние, по достижении которого эксплуатация связана с повышенными рисками. Наступление срока предельного состояния можно отодвинуть по времени за счёт применения технологий ремонта» [3].

Восстановление вала гидравлической турбины проходит с наплавкой по рабочим поверхностям нержавеющей стали толщиной до 5 мм [6]. Площадь наплавляемой поверхности и ответственность детали делает необходимым применение современных способов, обеспечивающих повышение производительности и качества проводимых работ.

На основании вышеизложенного следует признать актуальность выбранного направления исследования и поставленной цели – повышение производительности и качества наплавки валов гидравлических турбин.

При выборе технологических решений следует отдавать предпочтение решениям, имеющимся на отечественном рынке, что позволит обеспечить независимость российской промышленности от поставок высокотехнологичного оборудования иностранного производства [9], [11], [15], [20].

1 Современное состояние восстановительной наплавки валов гидравлических турбин

1.1 Конструкция вала гидравлической турбины и условия эксплуатации

На рисунке 1 представлены примеры валов гидравлических турбин. Вал гидравлической турбины является одним из самых ответственных элементов. Назначение вала – передавать ротору генератора крутящий момент от рабочего колеса турбины. В процессе работы вал воспринимает осевые и радиальные нагрузки. В зависимости от конструкции валы могут быть кованными или сварными. Конструкция вала гидравлической турбины представляет толстостенную обечайку с располагающимися на концах фланцами. На рисунке 2 представлена «конструкция вала гидравлической турбины, который в зависимости от передаваемой нагрузки обычно выполнен из двух или трех частей. В первом случае этими частями являются вал генератора и вал турбины, которые соединены между собой. Во втором случае добавляется третья часть – промежуточный вал. Диаметр вала составляет от 600 до 2500 мм» [29] при толщине стенки обечайки до 300 мм. Диаметр фланца обычно составляет не более 3500 мм по причине ограничения производственных возможностей тяжелого машиностроения. Длина вала составляет 4...10 метров.



Рисунок 1 – Валы гидравлических турбин

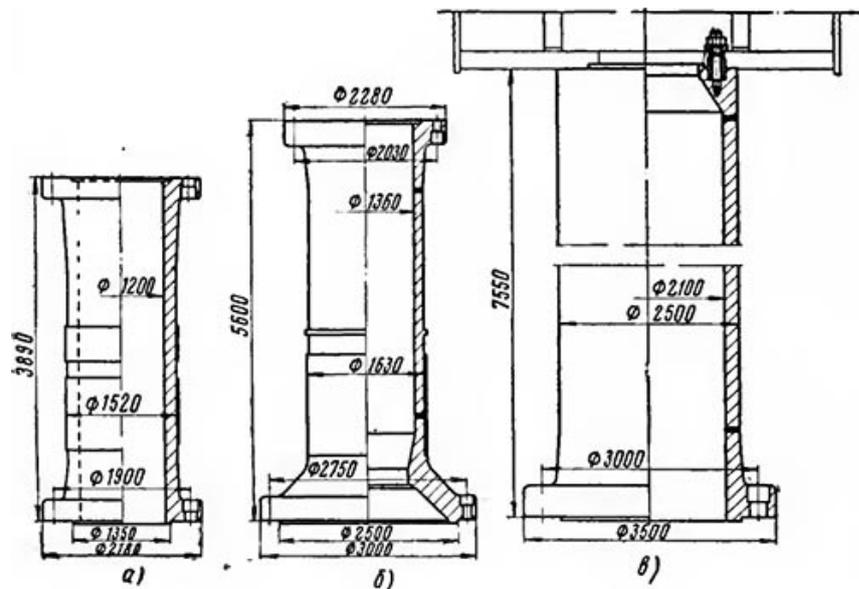


Рисунок 2 – Конструкция вала гидравлической турбины: кованного (а), составного из двух частей (б), составного из трёх частей (в)

В зависимости от массы вала он может быть изготовлен как цельнокованным, так и составными. При массе вала до 40 тонн его обычно выполняют цельнокованным. При большей массе валл выполняют составным, элементы сваривают между собой с применением электрошлаковой сварки. Масса валов гидравлических турбин обычно не превышает 120 тонн, что также объясняется ограничениями тяжелого машиностроения.

В настоящей выпускной квалификационной работе рассматривается вал поворотно-лопастной турбины мощностью 250 МВт. Диаметр обечайки вала составляет 1020 мм при длине вала 4800 мм.

В процессе эксплуатации вал гидравлической турбины испытывает коррозионное, кавитационное и гидроабразивное изнашивание, в результате чего в области шеек вала происходит деградация металла. По длине вала происходит в процессе работы происходит интенсивный съём металла, в результате чего диаметр его средней части может уменьшаться до 1000 мм. При восстановлении вала наплавкой приходится наплавлять сотни килограммов металла по площади несколько квадратных метров. Процесс наплавки занимает несколько десятков часов.

1.2 Сведения о материале вала

Для изготовления вала турбины, которая рассматривается в настоящей выпускной квалификационной работе, применяются литые заготовки из стали 20ГС. Наплавку на рабочие поверхности выполняют сталью 12Х18Н10Т.

Сталь 20 ГС «является конструкционной низколегированной сталью, химический состав которой представлен в таблице 1. Сварка стали 20ГС не имеет ограничений и может выполняться всеми рациональными способами» [25], [26].

Содержание химических элементов в стали 12Х18Н10Т представлено в таблице 2. Сварка этой стали из-за повышенного содержания в ней хрома и никеля встречает ряд трудностей [25], [26].

К таким трудностям относятся горячие трещины, возникновение которых может сопровождать формирование сварного соединения, и возникновение которых обусловлено аустенитной структурой металла сварного шва. Также в числе трудностей сварки стали 12Х18Н10Т следует указать охрупчивание металла и межкритсаллитную коррозию в процессе длительной эксплуатации [7]. На рисунке 3 представлены горячие трещины, которые образовались в процессе сварки стали 12Х18Н10Т. На рисунке 4 представлена межкристаллитная коррозия в конструкциях из стали 12Х18Н10Т. Также в сварных конструкциях из стали 12Х18Н10Т под действием термического цикла и значительной величины коэффициента линейного расширения наблюдается повышенный по сравнению со сваркой низкоуглеродистых сталей уровень остаточных напряжений и деформаций.

При построении технологии сварки наплавки стали 12Х18Н10Т особое внимание следует уделить соблюдению параметров режима и техники процесса, нарушение которых может повлечь за собой усиление процессов межкристаллитной коррозии, выгорание легирующих элементов и укрупнение зерна в зоне термического влияния.

Таблица 1 – «Состав стали 20 ГС и стали 12Х18Н10Т

С	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 – Состав стали 12Х18Н10Т

С	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



Рисунок 3 – Горячие трещины при сварке стали 12Х18Н10Т» [25]

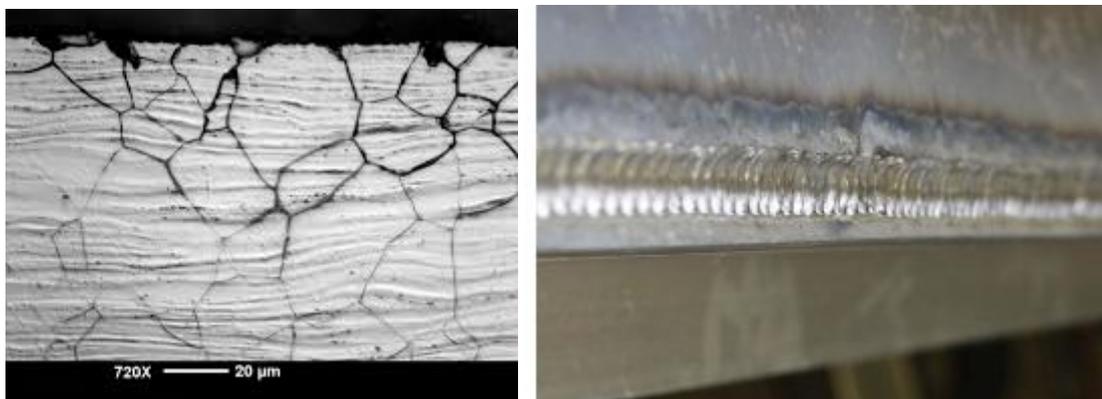


Рисунок 4 – Межкристаллитная коррозия в сварных конструкциях их стали 12Х18Н10Т

Сварку и наплавку стали 12Х18Н10Т следует проводить «узкими валиками при короткой дуге. К наложению следующего валика необходимо приступать после полного остывания предыдущего валика» [25]. Структура наплавленного металла должна быть аустенитной.

1.3 Операции базового процесса наплавки вала

Защитное покрытие валов гидротурбин на протяжении длительного времени выполнялось ранее в применении бандажирования листами толщиной 10...12 мм из стали 12Х18Н10Т. При выполнении бандажирования предусматривались такие операции: правка, резка, вальцовка, сварка, механическая обработка. Проведение бандажирования одной шейки вала занимало по времени порядка 2...3 недель. Недостаточные эксплуатационные качества бандажированных валов и низкая производительность самого процесса бандажирования заставляли вести поиск альтернативных процессов защитного покрытия рабочих поверхностей валов гидравлических турбин. Для этого предлагалось применить ручную дуговую наплавку, выполнение которой предусматривало следующие операции. Первоначально проводят внешний осмотр вала с оценкой дефекта и повреждений. Далее проводят обточку поверхности вала до здорового металла, не имеющего повреждений. После обточки проводят контроль состояния поверхности вала с применением визуального контроля и подповерхностных слоев с применением ультразвуковых методов. После проведения контроля качества обточки вала выполняют наплавку его поверхности штучными электродами. После наплавки проводят токарную обработку наплавленного слоя до получения номинального диаметра рабочей поверхности вала. После обточки проводят визуальный и ультразвуковой контроль качества наплавленного металла. После проведения контроля качества поверхности вала проводят её шлифовку, и вал запускают в эксплуатацию.

Внешний осмотр и дефектация вала позволяют выявить наличие на его поверхности трещин, возникновение которых происходит в процессе длительной эксплуатации вала. На рисунке 5 представлен процесс обточки вала на токарном станке GG-TRONIC. Обточку проводят на глубину 10 мм до здорового металла вала, не подверженного повреждениям в ходе

продолжительной эксплуатации. После того, как была выполнена обточка на токарном станке, проводят финишную зачистку поверхности с применением абразивных кругов, в ходе которой удаляют оставшиеся дефекты. Номинальный диаметр вала равен 1020 мм, после обточки диаметр вала становится равным 1000 мм.



Рисунок 5 – Обточка валов на токарном станке GG-TRONIC

Для выполнения ручной дуговой наплавки поверхности вала гидравлической турбины применяют электроды ЭА-606/11. «Перед выполнением наплавки следует провести прокалику электродов в течение 1 часа при температуре 300...350 °С. После прокалики электродов их следует поместить в резервную печь, температура которой равна 80...100 °С. Электроды вынимают из резервной печи непосредственно перед использованием. В течение рабочей смены все прокаленные электроды должны быть использованы. В противном случае, неиспользованные электроды перед наплавкой следует повторно прокалить. Общее количество прокалок электродов с учётом первой прокалики должно быть не более трех, в противном случае электроды следует утилизировать» [29] по причине признания их негодными к проведению наплавки.

При наплавке питание дуги проводят током постоянным током обратной полярности. Наплавку ведут в нижнем положении электродами диаметром 4 мм. Ток наплавки составляет 120...140 А. Наплавку проводят по

образующей, накладывая узкие валики с перекрытием не менее на одну треть ширины валика. Питание дуги проводят от сварочного выпрямителя ВС-300Б, представленного на рисунке 6. Поверхность наплавленного вала представлена на рисунке 7.



Рисунок 6 – Сварочный выпрямитель ВС-300 Б



Рисунок 7 – Поверхность наплавленного вала

Визуальный и измерительный контроль проводится с применением комплекта, который представлен на рисунке 8 и включает в себя футляр для хранения, инструкцию для проведения контроля, универсальный шаблон сварщика, наборы радиусных шаблонов и щупов, электрический фонарик, рулетку, металлический угольник и линейку длиной 300 мм, штангенциркуль, набор луп с увеличением 3,5 (с подсветкой), 4, 7 и 10 (измерительная), маркер по металлу. Для ультразвукового контроля применяется дефектоскоп UCD-50, представленный на рисунке 9, в

комплектацию которого входит набор стандартных образцов, источник питания и гель для УЗК.



Рисунок 8 – Комплект для визуального и измерительного контроля



Рисунок 9 – Дефектоскоп UCD-50 для ультразвукового контроля

Базовая технология восстановительной наплавки имеет ряд недостатков, устранение которых позволит достигнуть поставленной цели настоящей выпускной квалификационной работы. Первым недостатком является пористость и трещины, которые в значительном количестве обнаруживаются в наплавленном металле. Вторым недостатком является потеря электродного металла на угар, разбрызгивание и огарки. Третьим недостатком является малая производительность и высокая трудоемкость процесса ручной дуговой наплавки, которая проходит во вредных условиях труда.

1.4 Анализ источников научно-технической информации по вопросу наплавки валов гидравлических турбин

Выпускная квалификационная работа посвящена повышению эффективности работ при восстановительной наплавке цилиндрических деталей машин на примере вала гидротурбины. В ходе работы над введением выполнен краткий анализ состояния вопроса, обоснована актуальность исследования и сформулирована цель выпускной квалификационной работы. Для достижения поставленной цели предстоит решать задачи, правильная постановка которых определяет эффективность полученных решений и их применимость на практике. При этом необходимо ознакомиться с мировым опытом в области повышения эффективности процессов наплавки. Необходимо выполнить поиск и анализ источников научно-технической информации. Поиск ведем в сети ИНТЕРНЕТ с применением баз знаний «Диссеркэт» (база кандидатских и докторских диссертаций по различным наукам), «Киберленинка» (база научных статей по различным наукам), «Патонпаблишхаус» (база статей украинских исследователей-сварщиков), архивы журнала «Сварка и диагностика», архивы журнала «Сварочное производство», архивы журнала «Технология машиностроения», база знаний «Е-Лайбрери».

Для поиска информации воспользуемся ключевыми словами «наплавка нержавеющей стали» «Автоматическая сварка», «Сварка и диагностика», «статья», «диссертация».

Также в поиске применим материалы, полученные при подготовке отчетов по практикам и курсовым работам. Заключительный анализ будем проводить с использованием знаний, полученных на кафедре сварки в ходе обучения сварочным дисциплинам.

В первой работе [3] доказана эффективность проведения индивидуальной оценки ресурса элементов гидроагрегатов, которая позволяет обеспечить безопасность эксплуатации за пределами нормативного

срока службы. Также следует отметить, что планирование своевременной замены элементов оборудования позволяет существенно снизить трудовые и финансовые затраты на обеспечение безопасной эксплуатации. Для повышения эффективности прогноза состояния агрегатов предлагается применить комплексный подход, сочетающий экспериментальные и расчётные методики, применение которых к конкретной детали позволяет выявить её конструкционные, эксплуатационные и технологические особенности. Применение предлагаемого подхода позволяет гарантировать безопасность эксплуатации и исключить вероятность аварии по причине несанкционированного выхода из строя элемента агрегата.

Задачи диагностики могут быть схематично представлены в виде диаграммы (рисунок 10), которая позволяет учесть стадии жизненного цикла. Особенности установки и эксплуатации агрегатов приводят к уникальности каждого агрегата относительно аналогичных агрегатов [19].



Рисунок 10 – Задачи диагностики в зависимости от стадии жизненного цикла детали

Данная работа применена для обоснования актуальности выбранного направления исследований и цели выпускной квалификационной работы.

Во второй работе [24] рассматривалась наплавка в аргоне нержавеющей стали. Применение предварительного подогрева до 200...300 °С вызывает в зоне термического влияния образование бейнитной

структуры. При наплавке без предварительного подогрева структура зоны термического влияния преимущественно мартенситная после выполнения первого слоя. По мере выполнения последующих наплавочных слоев происходит замещение мартенсита бейнитом. Таким образом, изменение погонной энергии при наплавке и температуры предварительного подогрева даёт возможность регулирования структуры в зоне термического влияния. При наплавке на рекомендуемых параметрах режима обеспечивается формирование сжимающих напряжений в наружном слое и растягивающих напряжений во внутренних аустенитных слоях.

Данная работы будет применена для обоснования выбора способа восстановительной наплавки.

В третьей работе [14] предложена промышленно применимая технология восстановления валов гидротурбины наплавкой коррозионностойкого слоя. На один вал наплавляется порядка 320 кг при общем машинном времени 60 часов. По сравнению с бандажированием наплавка позволяет получить значительную экономию времени и финансов, этот способ восстановления рекомендуется для проведения ремонта деталей гидравлических турбин.

Данная работы будет применена для обоснования выбора способа восстановительной наплавки.

В четвертой работе [31] показано, что расширение технологических возможностей аргонодуговой наплавки сталями 12X18H10T возможно при наложении ультразвуковых колебаний. При этом улучшается структура и свойства наплавленного слоя. За счёт наложения ультразвуковых колебаний достигается уменьшение размеров зерна на 2...3 балла. Увеличение твердости наплавленного слоя достигает 10 % по сравнению с традиционным способом наплавки без наложения ультразвуковых колебаний. Предлагаемая технология может быть применена при аддитивном производстве деталей ответственного назначения.

На рисунке 11 представлена схема применяемого способа восстановительной наплавки с введением ультразвуковых колебаний. Такая схема позволит за счёт дополнительного воздействия на металл сварочной ванны сформировать наплавленный слой с повышенной коррозионной стойкостью, прочностью и увеличенным ресурсом работы. Выполняли наплавку на пластине толщиной 3 мм из стали 12Х18Н10Т. Ток наплавки составлял 120 А, скорость подачи 200 мм/мин, расход аргона составлял 7 л/мин. При сварке частот накладываемых ультразвуковых колебаний составляла 22 кГц. Выполняли наплавку на две серии образцов. Образцы № 1 наплавливали с применением традиционного способа наплавки без введения ультразвуковых колебаний. Образцы № 2 наплавливали с введением ультразвуковых колебаний.

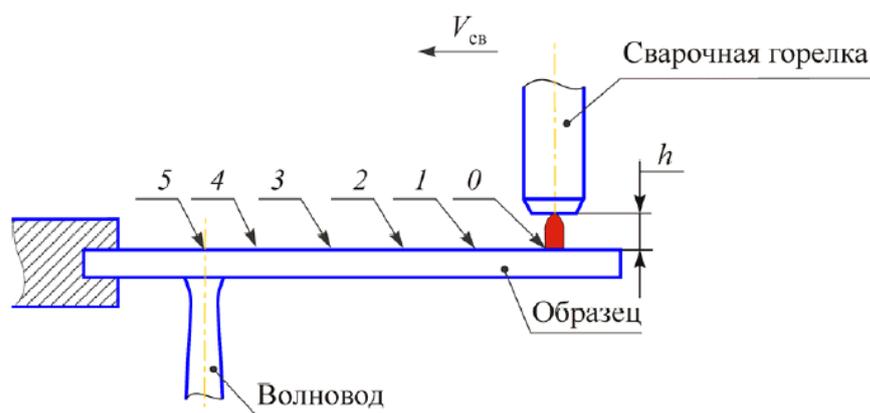


Рисунок 11 – Схема процесса наплавки с наложением ультразвуковых колебаний

На рисунке 12 представлена макроструктура наплавленного валика при применении традиционной технологии (рисунок 12-а) и предлагаемой технологии (рисунок 12-б).

Измерение микротвердости показало увеличение микротвердости наплавленного слоя при введении ультразвуковых колебаний по сравнению с наплавленным слоем, полученным традиционным способом. При микротвёрлости основного металла 118...137 кгс/мм² микротвёрдость

наплавленного металл по предлагаемому и традиционному способу составила соответственно 305...338 кгс/мм² и 268...290 кгс/мм².

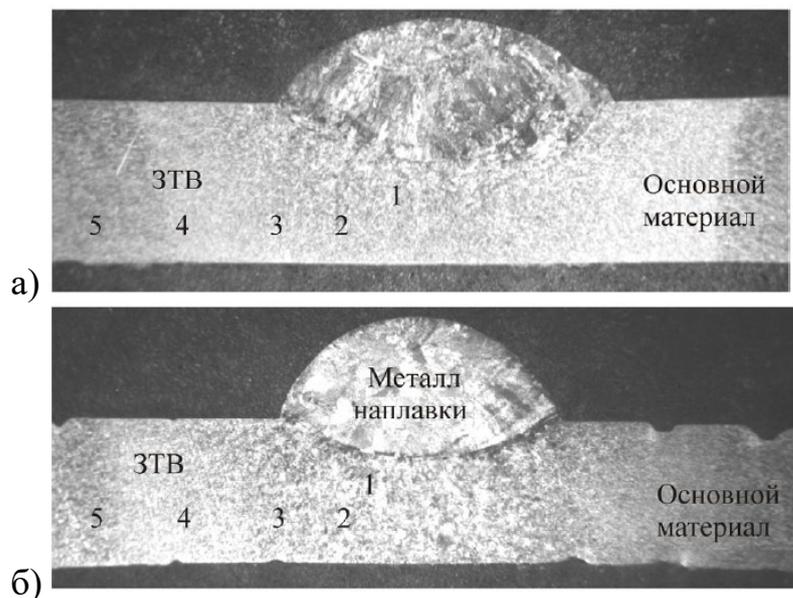


Рисунок 12 – Макрошлиф наплавленного валика при использовании традиционной технологии (а) и предлагаемой технологии (б)

Данная работа будет применена при обосновании выбора способа восстановительной наплавки и построения проектной технологии.

В пятой работе [23] описывается установка для электрошлаковой наплавки и положительный опыт её применения.

1.5 Формулировка задач выпускной квалификационной работы

Базовая технология выполнения наплавка на валы гидравлический турбины, которая рассмотрена в настоящем разделе выпускной квалификационной работы, имеет ряд недостатков, которые обусловлены применением устаревших технологий и морально устаревшего оборудования. Применяемая в базовой технологии ручная дуговая наплавка штучными электродами является устаревающим процессом, область которого в современном производстве неуклонно снижается, что подтверждается рядом отечественных и зарубежных аналитиков [2], [16], [17].

При сварке и наплавке с применением штучных электродов в наплавленном металле образуется значительное количество дефектов (пор, несплавлений, трещин и т.д.) по причине недостаточной защиты места сварки от воздействия воздуха и попадания в сварочную ванну влаги. В результате качество работ, выполненных с применением ручной дуговой сварки, зачастую уступает качеству, полученному при применении других, более перспективных способов сварки. Кроме того при ручной дуговой сварке и наплавке условия труда сварщика намного хуже, чем условия труда при других способах сварки, что объясняется увеличенным количеством вредных испарений. Кроме того, следует отметить увеличенный расход электродного металла, который идет на огарки и разбрызгивание.

На основании вышеизложенного и проведенного анализа состояния вопроса могут быть сформулированы задачи выпускной квалификационной работы.

Первой задачей является обоснование выбора способа наплавки вала гидравлической турбины. В процессе её решения предстоит выполнить анализ преимуществ и недостатков альтернативных способов наплавки и выставить им балл экспертной оценки по технологическим и экономическим критериям.

Второй задачей является построение проектной технологии восстановительной наплавки вала гидравлической турбины. В процессе её решения предстоит составить перечень технологических операций, назначить параметры их выполнения и технологические требования, подобрать необходимое оборудование.

Третьей задачей является оценка промышленной безопасности предлагаемых технологических решений для персонала предприятия и окружающей среды [1], [5].

Четвёртой задачей является экономическое обоснование эффективности предлагаемых технологических решений [12], [13].

2 Проектный технологический процесс наплавки вала гидравлической турбины

2.1 Выбор альтернативных вариантов построения технологии наплавки

Диссертационное исследование [8] позволяет обоснованно подходить к выбору способа наплавки при построении технологических процессов восстановления деталей машин. Схема выбора способа наплавки представлена на рисунке 13, эта схема позволяет выполнить предварительный выбор способа наплавки для последующего анализа по технологическим и экономическим критериям.

С учётом особенностей конструкции и эксплуатации вала гидротурбины для его восстановления могут применяться следующие способы: «ручная дуговая наплавка, автоматическая наплавка под флюсом, плазменная наплавка, вибродуговая наплавка, наплавка в защитных газах плавящимся электродом, электрошлаковая наплавка» [25].



Рисунок 13 – Схема выбора способа восстановительной наплавки

Перечисленные способы позволяют выполнить восстановление деталей машин с наплавкой слоя значительной толщины, составляющего порядка 10 мм. Для дальнейшего построения проектного технологического процесса следует выставить экспертную оценку каждому из перечисленных способов по технологическим и экономическим критериям, для чего необходимо рассмотреть преимущества и недостатки каждого способа в сравнении с остальными перечисленными способами.

2.2 Ручная дуговая наплавка при восстановлении вала гидротурбины

На рисунке 14 представлена схема выполнения ручной дуговой наплавки, применение которой позволяет получить восстановление работоспособности широкого ряда деталей машин. По сравнению с другими способами восстановления деталей машин ручная дуговая наплавка имеет ряд неоспоримых преимуществ, которые обуславливают применение этого давно известного способа для восстановления деталей машин различного назначения [10], [22].



Рисунок 14 – Схема ручной дуговой наплавки

Преимуществом ручной дуговой наплавки указать простоту оборудования и его дешевизну, кроме того, необходимое оборудование и персонал, как правило, уже имеются на предприятии и не требуют для

построения проектного технологического процесса дополнительных вложений.

Ручная дуговая наплавка характеризуется значительным количеством недостатков, которые обуславливают наметившуюся в мире тенденцию замены механизированными способами сварки [17], [22]. Первым недостатком является необходимость прерывания процесса сварки на замену сварочного электрода, что отрицательно сказывается на производительности и качестве сварочных работ. Вторым недостатком являются тяжелые условия труда сварщика, по причине которых происходит образование профессиональных заболеваний. Третьим недостатком следует указать перерасход сварочных электродов, который происходит по причине разбрызгивания и угара, кроме того, значительное количество электродного материала расходуется на огарки. Четвертым недостатком является зависимость качества выполнения сварочных работ от квалификации сварщика, которая оказывается критической и заставляет затрачивать значительные ресурсы предприятия для подготовки сварщиков-профессионалов.

2.3 Восстановление валов с применением наплавки под флюсом

Схема выполнения автоматической наплавки под флюсом представлена на рисунке 15. Применение этого способа позволяет обеспечить высокую производительность и качество наплавленного слоя. Автоматическая наплавка под флюсом позволяет за один проход наплавлять толщину до 40 мм. Применение флюса уменьшает отток тепла из сварочной ванны, повышает эффективный КПД наплавки снижает расход электрической энергии. Также применение флюса устраняет разбрызгивание металла и существенно снижает вредное воздействие дуги и испарений на персонал. Диаметр проволоки при наплавке под флюсом составляет 1...6 мм, наплавку выполняют на постоянном токе обратной полярности.

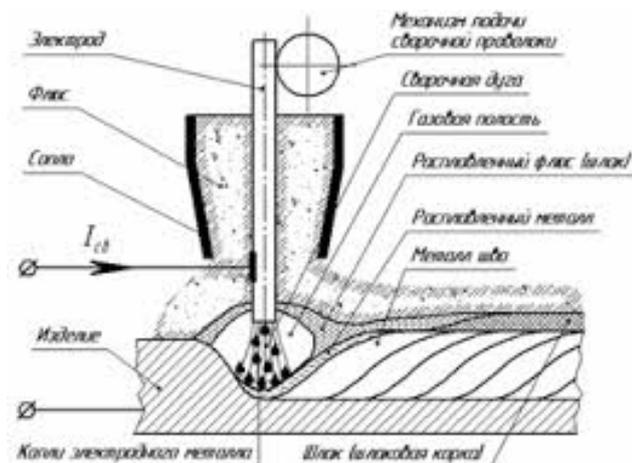


Рисунок 15 – Схема автоматической наплавки под флюсом

Производительность автоматической наплавки под флюсом превышает производительность ручной дуговой наплавки до десяти раз. Применительно к подготовке персонала автоматическая наплавка под флюсом предъявляет самые низкие требования к квалификации. Таким образом, упрощается ведение кадровой политики предприятия. Высокое качество наплавленного металла позволяет существенно повысить эксплуатационные характеристики восстановленного вала гидравлической турбины.

При внедрении технологии наплавки под флюсом для восстановления деталей машин приходится считаться с рядом недостатков этого способа. Первым недостатком является снижение сопротивляемости восстанавливаемой детали усталостному разрушению, что может отрицательно сказаться на её эксплуатационных свойствах. Вторым недостатком следует указать значительные размеры зоны термического влияния, которые существенно превосходят размеры зон термического влияния при других рассматриваемых способах наплавки. Третьим недостатком следует указать высокую стоимость оборудования. Четвертым недостатком автоматической наплавки под флюсом является низкая универсальность применяемого оборудования, что заставляет предприятие прибегать к расходу дополнительных средств и трудовых ресурсов для обеспечения мест проведения наплавки, которая окупается только при массовом характере производства.

2.4 Плазменная наплавка при восстановлении валов гидротурбин

На рисунке 16 представлена схема выполнения плазменной наплавки, которую следует признать перспективным способом восстановления деталей машин [4], [18]. Плазменная наплавка имеет ряд преимуществ перед другими способами восстановления деталей машин. Первым преимуществом является высокая плотность энергии, которая позволяет проводить наплавку с применением узкой дуги, что снижает тепловую нагрузку на основной металл и позволяет минимизировать отрицательные эффекты от дуги. Вторым преимуществом является высокая скорость подачи наплавочного порошка, которая составляет 0,18...24 кг/час, что обеспечивает более высокую производительность по сравнению с другими способами наплавки. Третьим преимуществом является высокое качество наплавленного металла и отсутствие в нем пор. Четвертым преимуществом является снижение припуска на механическую обработку, что позволяет существенно экономить наплавочные материалы и электрическую энергию. Пятым преимуществом является высокая пространственная стабильность процесса, который независим от магнитного дутья, также следует отметить высокую стабильность зажигания дуги. Шестым преимуществом является возможность автоматизации процесса наплавки, что позволяет применить самые перспективные способы механизации и автоматизации.

Следует признать ряд недостатков применения плазменных технологий при восстановлении деталей машин. В числе недостатков, во-первых, следует указать сложность оборудования, которое предназначено для осуществления способа. На рынке представлены образцы оборудования для плазменной наплавки, среди которого преобладают иностранные образцы, в то же время, оборудование российского производства представлено весьма скромно. Применение иностранного оборудования при построении технологических процессов ставит в зависимость отечественную промышленность от иностранных поставок технологий и оборудования.

Вторым недостатком следует признать специфичность процесса плазменной наплавки, внедрение которого требует дополнительной подготовки персонала предприятия и изменение логистических цепочек..

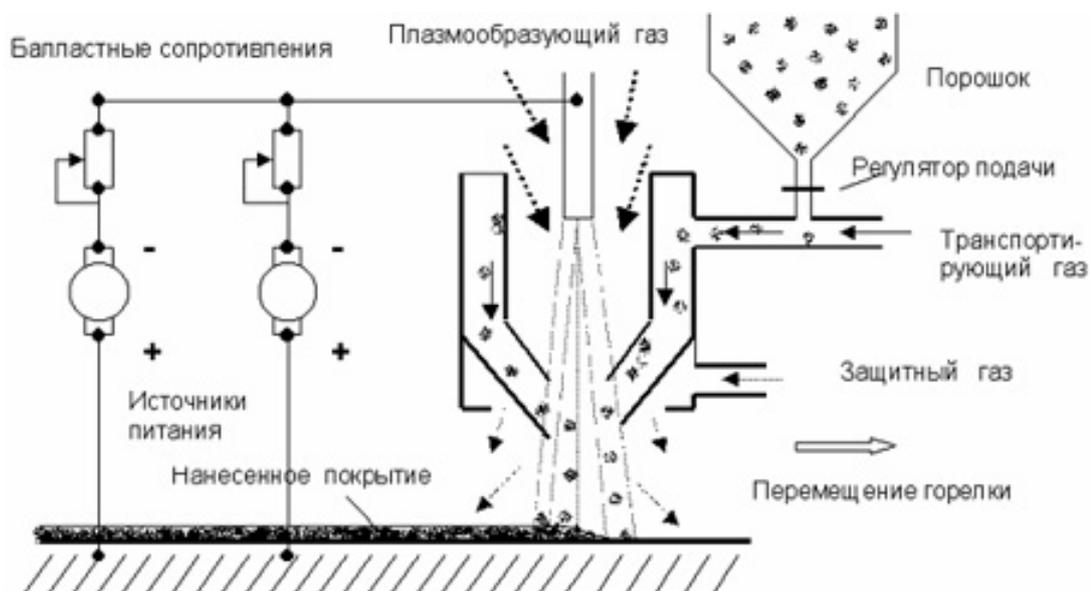


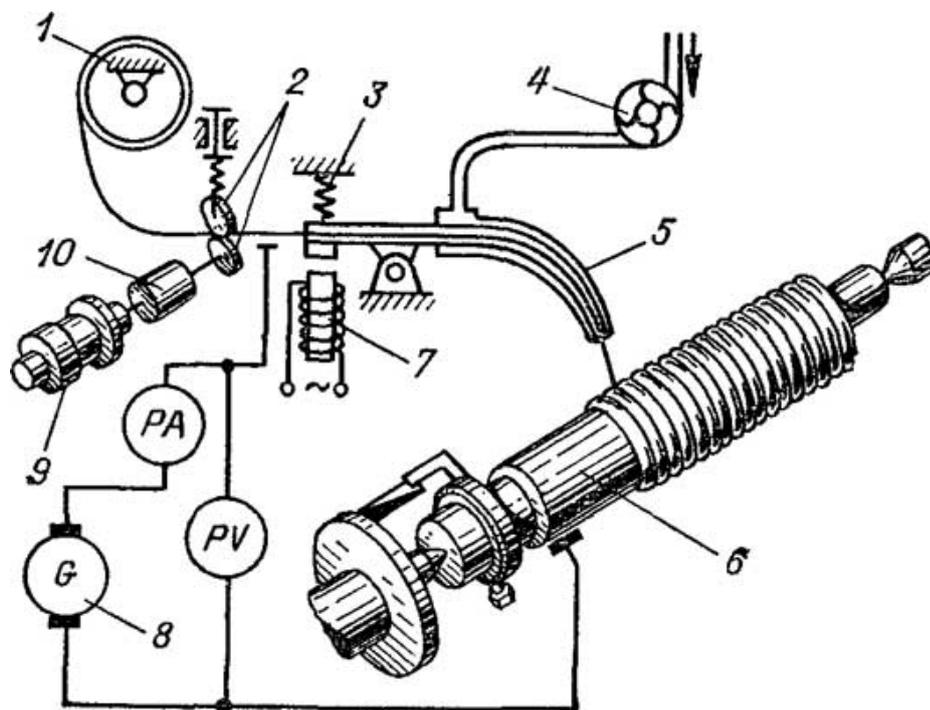
Рисунок 16 – Схема восстановительной плазменной наплавки

Таким образом, внедрение технологий плазменного восстановления деталей машин предусматривает значительных вложений в персонал и материальную базу предприятия. Кроме того, наплавка с применением плазменных технологий характеризуется меньшей производительностью, чем наплавка под флюсом. Производительность плазменной наплавки приближается к наплавке с применением штучных электродов.

2.5 Применение вибродуговой наплавки для восстановления валов гидравлических турбин

На рисунке 17 представлена схема выполнения вибродуговой наплавки, в основе которой лежит наплавка с наложением на проволоку колебаний частотой 50...120 Гц. «Плотность тока при вибродуговой наплавке составляет 50...70 А/мм². На поверхности восстанавливаемой детали образуется ванночка расплавленного металла» [25], куда периодически погружается проволока, из-за чего происходит захлаживание сварочной

ванны, уменьшается зона термического влияния, а ширина наплавленного слоя не превышает двойного диаметра проволоки. Интенсивное охлаждение металла при вибродуговой наплавке позволяет за один проход сформировать наплавленный слой толщиной несколько миллиметров с высокой износостойкостью и твердостью. При такой наплавке снижается уровень остаточных напряжений, коробление детали минимально.



1 – электродная проволока, 2 – ролики подачи проволоки, 3 – пружина, 4 – водяной насос, 5 – направляющий наконечник, 6 – деталь, 7 – управляющий электромагнит, 8 – генератор, 9 – двигатель, 10 – редуктор

Рисунок 17 – Схема вибродуговой наплавки

Преимуществом вибродуговой наплавки является высокая производительность процесса, которая превосходит производительность плазменной наплавки и производительность ручной дуговой наплавки. Высокая твердость и износостойкость наплавленного слоя позволяет отказаться от термической обработки деталей, которую необходимо применять для других способов. Малое тепловое воздействие на металл, оказываемое при вибродуговой наплавке, позволяет повысить эксплуатационные характеристики вала при значительных объемах наплавленного металла.

В числе недостатков этого способа восстановления деталей машин следует указать, во-первых, малую однородность наплавленного металла, которая проявляется в значительном разбросе свойства поверхности детали по твёрдости и по структурному составу. В результате этого при работе наплавленного вала может происходить отслаивание наплавленного металла при знакопеременном нагружении. «Вторым недостатком следует указать значительное уменьшение ударной вязкости наплавленного металла, в результате чего растёт опасность возникновения аварии при эксплуатации вала после восстановления с применением вибродуговой наплавки. Также следует признать, что производительность вибродуговой наплавки существенно уступает автоматической наплавке под флюсом.

Еще одним недостатком вибродуговой наплавки, который существенно ограничивает применение этого способа для восстановления крупногабаритных деталей машин, следует указать высокое содержание растворенных газов в наплавленном слое» [25]. По этой причине повторная наплавка на ранее наплавленный слой становится невозможной, и приходится полностью удалять ранее наплавленный слой перед повторной наплавкой. В результате этого существенно увеличивается трудоемкость наплавки.

2.6 Восстановление валов с применением наплавки в защитных газах плавящейся проволокой

На рисунке 18 представлена схема наплавки в защитных газах проволокой сплошного сечения. Наплавка в защитных газах проволокой сплошного сечения позволяет существенно повысить эффективность проведения сварочных работ по сравнению с ручной дуговой наплавкой. Также при наплавке не происходит образования шлаковой корки, что упрощает проведение многослойной наплавки и автоматизацию процесса

наплавки. Кроме того, низкая текучесть расплавленного металла позволяет проводить наплавку в различных пространственных положениях.

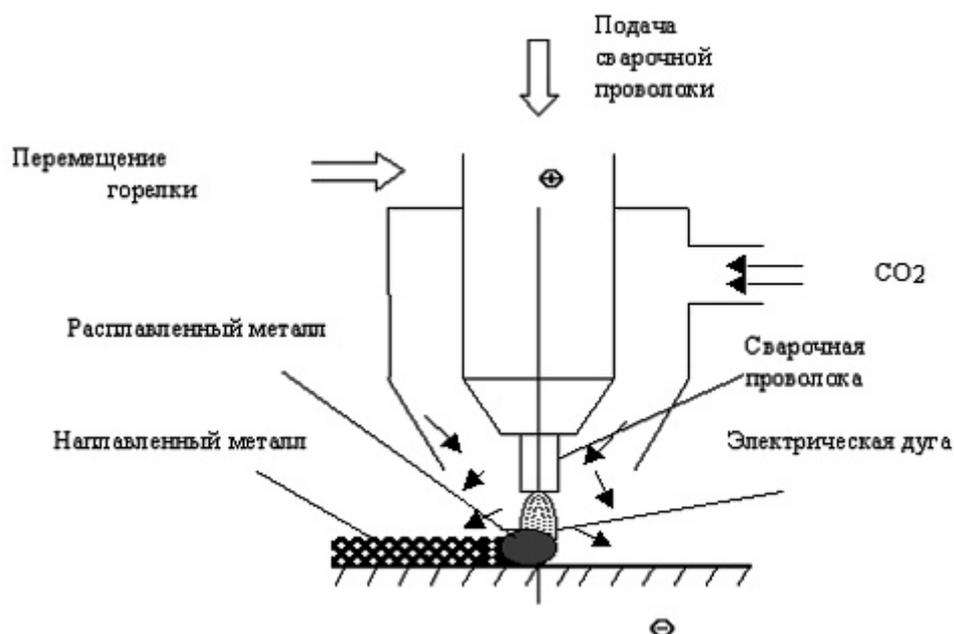


Рисунок 18 – Схема наплавки в защитных газах

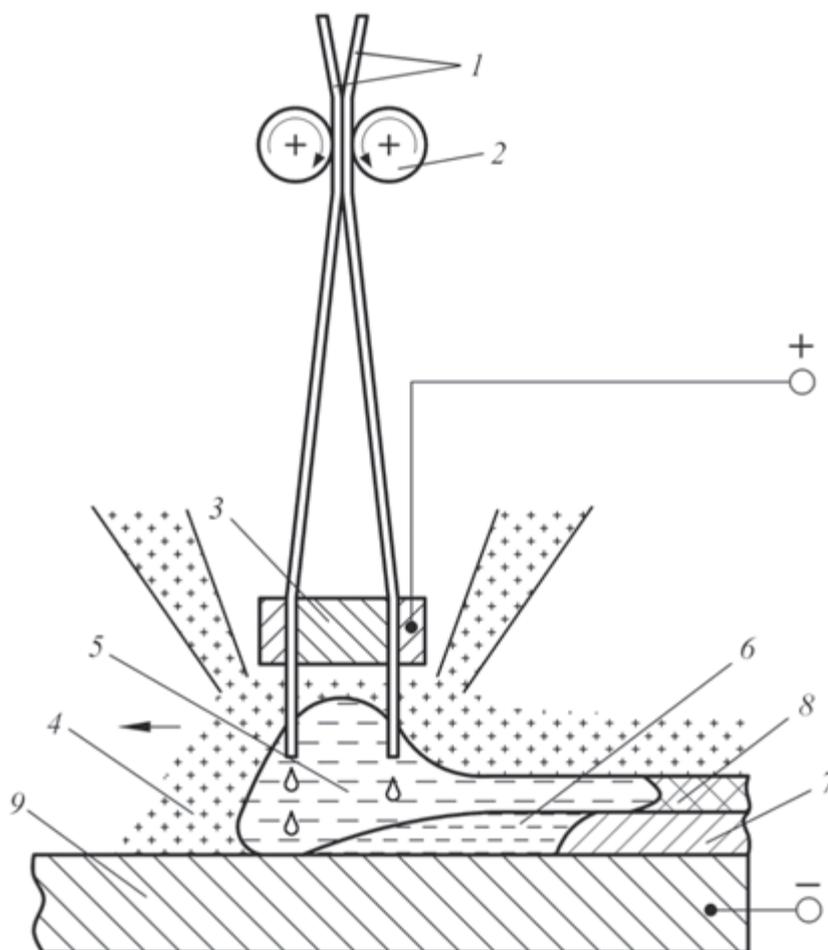
До настоящего времени не устранены в полной мере недостатки сварки и наплавки в защитных газах проволокой сплошного сечения [30]. Первым недостатком является необходимость применения газовой аппаратуры, «которая ограничивает мобильность способа. Вторым недостатком следует указать низкую пространственную стабильность сварочной дуги и усиление разбрызгивания при переходе на форсированные режимы наплавки. В качестве третьего недостатка следует указать недостаточную текучесть расплавленного металла, по причине которой возможно образование несплавлений» [30] в многослойных швах.

2.7 Электрошлаковая наплавка

Для построения технологии наплавки и наплавочного оборудования была применена электрошлаковая наплавка двумя лентами [30], сущность которой представлена на рисунке 19. На рисунке 20 представлена установка для электрошлаковой наплавки, которая собрана на базе сварочного манипулятора КМ 2530. Наплавочный аппарат крепится на поперечную

траверсу установки, механизм подачи позволяет подавать две ленты. В качестве источника питания в установке применен KAIYUAN ZD5-2000. Установку цилиндрических деталей проводят с применением роликового стенда КТ5000. Для получения устойчивого электрошлакового процесса предлагается использовать присадочные ленты сечением 0,5х60 мм. Ток наплавки принимается 1400...1500 А, напряжение наплавки 32...33 В, скорость наплавки 14...17 м/ч, скорость подачи лент 65...70 м/ч, зазор между лентами устанавливают 16 мм.

На рисунке 21 представлены образцы наплавленного металла при различных параметрах электрошлаковой наплавки на описанной выше экспериментальной установке.



«1 – электродные ленты; 2 – подающие ролики; 3 – медная вставка-токоподвод; 4 – флюс; 5 – шлаковая ванна; 6 – металлическая ванна; 7 – наплавленный металл; 8 – шлаковая корка; 9 – наплавляемая заготовка» [30]

Рисунок 19 – Сущность электрошлаковой наплавки двумя лентами



Рисунок 20 – Установка для электрошлаковой наплавки лентами деталей диаметром 1000 мм

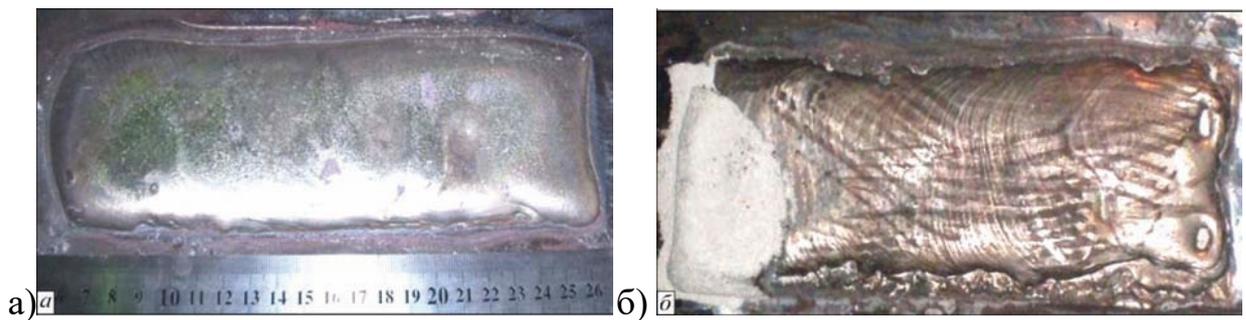


Рисунок 21 – Формирование наплавленного слоя при различном зазоре между лентами: 8 мм (а) и 16 мм (б)

Преимуществом электрошлаковой наплавки является высокая устойчивость процесса в условиях действия возмущений, качественная наплавка может быть получена даже при кратковременных скачках тока. Также необходимо отметить высокую производительность электрошлаковой наплавки, которая может достигать 150 кг в час. При использовании электрошлаковой наплавки удаётся получить значительную экономию электрической энергии. Также наплавка характеризуется малым тепловым воздействием на основной металл.

Следует указать недостатки электрошлаковой наплавки, которые в значительной мере ограничивают применение этого способа и оказываются критическими для рассматриваемой детали – вала гидравлической турбины. Первым недостатком электрошлаковой наплавки является недопустимость прерывания процесса, который должен быть доведен до конца. Вторым недостатком является необходимость изготовления специальной оснастки под каждое изделие. Третьим недостатком является крупнозернистая структура наплавленного металла и зоны термического влияния, что отрицательно сказывается на эксплуатационных характеристиках вала после его восстановления.

2.8 Операции проектного технологического процесса восстановительной наплавки

Для построения проектного технологического процесса предлагается применить автоматическую наплавку под флюсом.

Наплавку проводили на установке, собранной на базе токарно-винторезного станка РТ-166. Установка для наплавки представлена на рисунке 22. На суппорт станка был установлен автомат для наплавки А-1406, который представлен на рисунке 23-а. Скорость вращения вала турбины при наплавке регулировали при помощи частотного преобразователя производства «Lenze» (Германия). Питание дуги выполняли от сварочного выпрямителя ВС-600, который представлен на рисунке 23-б. Конструкция установки позволяет проводить наплавку и механическую обработку валов диаметром 400...1050 мм длиной до 4500 мм. Дина участка вала, на котором выполнялась наплавка, составляла приблизительно 710 мм при глубине 10 мм. Изношенная поверхность восстанавливаемого участка имела различные дефекты – отслоения, раковины, каверны. Удаление дефектного слоя проводили при помощи токарной обработки. В результате проведения обточки вала его диаметр уменьшился до 1000 мм.

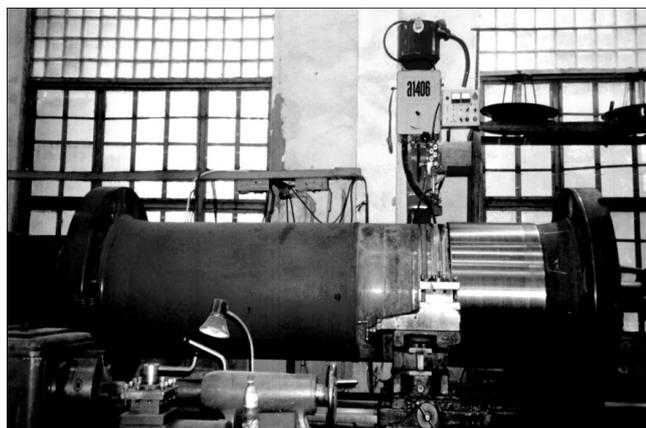


Рисунок 22 – Установка для наплавки



а)



б)

Рисунок 23– Автомат для сварки под флюсом А-1406 (а) сварочный выпрямитель ВС-600 (б)

Предварительно проводили наплавку подслоя проволокой Св-08 и флюсом АН-348. После наплавки подслоя диаметр вала стал приблизительно равен 1018 мм. После наплавки предварительного слоя проводили обточку до диаметра 1010 мм и ультразвуковой контроль состояния поверхности вала.

Далее выполнялась наплавка коррозионностойкого слоя. Для наплавки применялся флюс АН-26П и проволока Св-08Х20Н9Г7Т, содержание химических элементов в которой представлено в таблице 3. Применение указанной проволоки и флюса позволяет получить наплавленный металл, состав которого представлен в таблице 4, а свойства – в таблице 5.

После наплавки коррозионностойкого слоя диаметр вала составлял 1028 мм. На рисунке 24 представлен внешний вид вала после наплавки.

После выполнения наплавки проводили проточку вала до диаметра 1020 мм. После проточки выполняли проверку на отсутствие дефектов с применением ультразвукового контроля, которая показала, что в наплавленном слое и подслое недопустимых дефектов нет.

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

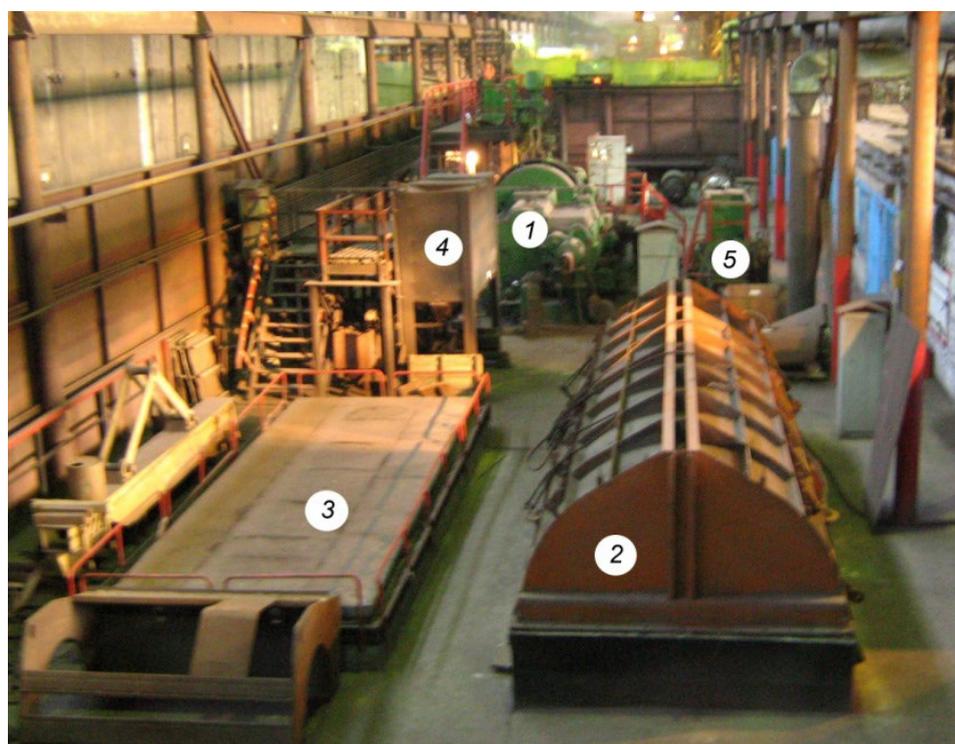
Таблица 5 – Механические свойства наплавленного металла при сварке под флюсом

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» [25]



Рисунок 24 – Внешний вид вала после наплавки

На рисунке 25 представлена планировка участка восстановительной наплавки валов гидравлических турбин. Для наплавки применяется установка 1, которая описана выше. Для предварительного нагрева вала применяется электрическая печь, обозначенная на планировке позицией 2. Выдерживание вала после термической обработки выполняется в термостате, который обозначен на схеме позицией 3. Хранение флюса происходит в накопителе 4, а его прокалка – в печи ПСПФ 120/400, которая обозначена на схеме позицией 5.



1 – установка для наплавки, 2 – электропечь, 3 – термостат, 4 – накопитель флюса, 5 – печь для прокалики флюса

Рисунок 25 – Планировка участка восстановительной наплавки

Первая операция – токарная, при её выполнении обтачивают вал на станке РТ-166. Глубина резания на проход устанавливается 0,5 мм, Обточку ведет на глубину 10 мм. Далее, с применением абразивно круга выполняют удаление местных дефектов, если таковые обнаруживаются.

На второй операции проводят контроль состояния поверхности вала. При проведении визуального контроля обнаруживают дефекты типа трещин

и задигов. При проведении ультразвукового контроля обнаруживают скрытые дефекты. При обнаружении трещин на валу, его следует признать негодным и утилизировать.

На третьей операции проводят предварительный нагрев вала до температуры 150...200 °С. После помещения в печь скорость нагрева вала не должна «превышать 25 °С в час. После того, как вал нагрелся до заданной температуры, нагрев прекращают через три минуты и при помощи крана перемещают вал на участок наплавки.

На четвертой операции проводят автоматическую наплавку под флюсом. Наплавку ведут проволокой диаметром 2 мм на постоянном токе обратной полярности. Сила тока составляет 180 А при скорости подачи 88 м/час и напряжении на дуге 26 В. Расход флюса устанавливают 11 кг на погонный метр наплавки.

При наплавке необходимо контролировать формирование валика и отслаивание шлака, в случае, если шлак самостоятельно не отслаивается, его необходимо сбивать вручную после потемнения корки.

Если произошёл обрыв дуги, повторно возбуждать дугу необходимо после полного оборота вала на 20...25 мм ранее места обрыва дуги.

На пятой операции проводят термическую обработку вала. Температура термической обработки составляет 600...650 °С, выдержка составляет 10 часов. Далее вал охлаждают вместе с печью до температуры 80 °. После этого вал помещают в термостат, где проводят вылеживание в течение 12 часов с последующим равномерным остыванием до комнатной температуры.

На шестой операции проводится визуальный контроль, в течение которого осматривают поверхность наплавленного металла на предмет видимых дефектов. Поверхность вала должна быть хорошо сформирована, перепад высоты валиков не должен превышать 0,5 мм. Трещины не допускаются.

На седьмой операции проводят токарную обработку вала до номинального диаметра, который равен 1020 мм.

На восьмой операции проводят ультразвуковой контроль. Не допускаются трещины всех видов и направлений. Также не допускаются поры и шлаковые включения, если размер превышает 2 мм. Несплошности размерами менее 0,5 мм при контроле не учитываются» [14].

Выводы по второму разделу

В ходе выполнения настоящего раздела выпускной квалификационной работы решены задачи обоснования выбора способа восстановительной наплавки валов гидравлических турбин, повышения эффективности наплавки с применением разработок отечественных исследователей и построения проектной технологии наплавки.

Дальнейшие работы необходимо выполнить в направлении оценки промышленной безопасности предлагаемых технологических решений для персонала предприятия и окружающей среды. Решение этой задачи предусматривает оценку производственных рисков и выработку перечня мер по их снижению [1], [5].

Также следует выполнить экономическое обоснование эффективности предлагаемых технологических решений. Решение этой задачи предусматривает оценку базовой и проектной технологии с точки зрения затрат на их осуществление и сравнение экономических показателей рассматриваемых технологий [12], [13].

3 Безопасность и экологичность предлагаемых технических решений

3.1 Постановка задачи. Характеристика технологического объекта

В исполнительском разделе настоящей выпускной квалификационной работы предложена технология наплавки на валы гидравлических турбин применением автоматической наплавки под флюсом. Этим способом сварки заменена ручная дуговая сварка, которая применялась согласно базовому варианту технологического процесса. Изменение технологии выполнения наплавочных работ повлекло за собой изменения на производственном участке, что требует рассмотрения вопроса обеспечения безопасности персонала от опасных и вредных производственных факторов, возникновение которых возможно при реализации проектного технологического процесса. Анализ проектной технологии восстановительной наплавки представлен в таблице 6. Проектный технологический процесс укрупненно может быть разбит на восемь операций: токарная обработка, ультразвуковой контроль состояния поверхности, предварительный подогрев, автоматическая наплавка с использованием предложенного в исполнительском разделе оборудования, термическая обработка, визуальный контроль наплавленного слоя, механическая обработка с обточкой вала в номинальный размер, ультразвуковой контроль для выявления недопустимых дефектов в наплавленном вале перед его запуском в эксплуатацию. Для выполнения каждой операции привлекается соответствующий технический персонал, приведенный во втором столбце таблицы 6, и технологическое оборудование, приведенное в третьем столбце таблицы 6. Также для выполнения операция могут потребоваться расходные материалы, которые приведены в четвертом столбце таблицы 6.

Таблица 6 – Паспортизация технического объекта

Операция	Персонал	Оборудование	Материалы
«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» [14]	дефектоскопист	дефектоскоп	масло

На основании данных таблицы 6 может быть выполнена идентификация негативных производственных факторов, оказывающих воздействие на персонал и окружающую среду.

3.2 Идентификация профессиональных рисков

Реализация проектной технологии восстановительной наплавки сопряжена с действием на персонал опасных и вредных производственных факторов. Первые в результате действия на работника могут привести к резкому ухудшению его состояния, вторые в процессе длительного воздействия становятся причиной возникновения профессиональных заболеваний. При реализации технологического процесса с применением сварочных технологий источником негативных факторов является сварочная дуга. В таблице 6 представлены негативные факторы (опасные и вредные), возникновение которых происходит в предлагаемой технологии.

Таблица 7 – Идентификация негативных производственных факторов

Операция	Негативный фактор
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
ультразвуковой контроль	<ul style="list-style-type: none"> - ультразвуковое излучение в рабочей зоне сверх значений безопасных для здоровья
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
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

Источниками негативных факторов при реализации проектного технологического процесса выступают оборудование для механической обработки вала, термическое оборудование, установка для автоматической наплавки и контрольное оборудование. Представленные в таблице 7 негативные факторы в количестве восьми штук, не являются новыми и успешная нейтрализация может быть обеспечена стандартными техническими средствами и методиками, находящимися в резерве промышленного предприятия. В случае, если нейтрализация идентифицированных негативных производственных факторов стандартными методами окажется неэффективной, будет необходимо выполнить разработку специализированных организационных мероприятий и технологических решений на основании анализа литературы по безопасности процессов на производстве.

3.3 Устранение возникающих профессиональных рисков

На основании ранее проведенных работ по идентификации профессиональных рисков, возникновение которых происходит при реализации предлагаемой технологии, могут быть предложены мероприятия и технические средства из имеющихся в арсенале промышленного предприятия решений, которые для наглядности были сведены в таблицу 8.

Таблица 8 – Устранение профессиональных рисков

Наименование негативного фактора	Средство устранения негативного фактора	Индивидуальная защита
«наличие на инструментах и деталях острых кромок и режущих заусенцев	- инструктаж персонала по вопросам обеспечения безопасности труда; - предупреждающие таблички и плакаты; - защитная блокировка оборудования	Оснащение рабочего персонала специальной одеждой
механическое взаимодействие с массивными движущимися частями технологического оборудования	- ограждения против захода посторонних в опасную зону; - предупреждающие таблички и плакаты; - защитная блокировка оборудования	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	- 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	- 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» [5]	Оснащение рабочего персонала специальной одеждой

На основании анализа состава таблицы 8 можно заключить, что для предотвращения воздействия на работников негативных производственных факторов достаточно применения средств и методик из стандартного арсенала предприятия. Применение предлагаемых в таблице 6 средств защиты и технологий защиты позволяют снизить до приемлемого уровня возникающие при реализации проектной технологии производственные риски. Особое внимание при обеспечении безопасности персонала следует уделить вопросам поддержания в порядке рабочего места, так как неправильная организация труда становится причиной большинства внештатных ситуаций на производстве.

3.4 Обеспечение пожарной безопасности

Применение наплавки характеризуется повышенной опасностью возникновения пожаров на предприятии. Сварочная дуга является источником нагрева высокой интенсивности, воздействие которого на окружающие предметы может вызвать возгорание. Применение электрической аппаратуры, работа которой предусматривает протекание значительного тока, также становится потенциальным источником возникновения пожара. В таблице 9 представлена идентификация потенциального пожара, возникающего на рассматриваемом участке.

Таблица 9 – Идентификация класса потенциального пожара

Наименование участка	«Участок сварки и восстановительной наплавки
Наименование оборудования	Оборудование для механической обработки, автоматической наплавки, термической обработки и контроля
Классификация по виду горящего вещества	Пожары, которые происходят за счет воспламенения и горения веществ и материалов на электроустановках, запитанных электрическим напряжением (Е)
Наименование основных опасных факторов пожара	Повышенная температура воздуха вокруг возгорания; выделение токсичных продуктов горения; снижение видимости; выгорание кислорода
Наименование вторичных опасных факторов пожара	Опасность поражения пострадавших и спасателей электрическим током от технологического оборудования на рассматриваемом производственном участке» [5]

На основании представленных данных потенциальный пожар на рассматриваемом производственном участке будет относиться к классу «Е», так как помимо горения материалов наблюдается опасность поражения людей электрическим током. В числе негативных факторов рассматриваемого пожара следует указать поток горячего воздуха, движущийся по направлению от места горения; тепловое излучение; токсичные выделения от продуктов горения; затруднение видимости из-за образования аэрозоля при горении веществ; разлет искр; выгорание кислорода. Также в результате пожара происходит нарушение изоляции технологического оборудования и электрической проводки на производственном участке, из-за чего персонал предприятия и спасатели могут подвергаться опасности поражения электрическим током. В таблице 10 представлены предлагаемые средства по нейтрализации негативных факторов потенциального пожара.

Таблица 10 – Средства нейтрализации негативных факторов пожара

«Первичные средства пожаротушения	Емкость с песком, переносные углекислотные огнетушители.
Мобильные средства пожаротушения	Специализированные расчеты (вызываются)
Стационарные установки системы пожаротушения	Нет необходимости
Средства пожарной автоматики	Установки пожарной сигнализации, пожарного оповещения
Пожарное оборудование	Пожарный кран
Средства индивидуальной защиты и спасения людей при пожаре	План эвакуации
Пожарный инструмент (механизированный и немеханизированный)	Ведро конусное, лом, лопата штыковая
Пожарные сигнализация, связь и оповещение	Кнопка оповещения, звуковые оповещатели, речевые оповещатели, световые оповещатели» [5]

Для обеспечения пожарной безопасности производственного участка предлагаются стандартные средства из резерва предприятия.

3.5 Экологическая безопасность

Современные технологические процессы рассматриваются не только с точки зрения безопасности для персонала предприятия и пожарной безопасности. В последнее время значительно ужесточается контроль за негативным влиянием промышленных производств на окружающую среду. Производственная деятельность человека становится причиной антропогенных факторов, совокупное действие которых на составляющие природы – атмосферу, гидросферу и литосферу, могут стать причиной экологической катастрофы. Следование мировой экологической повестке, направленной на природосбережение, предполагает уменьшение антропогенного действия и защиту окружающей среды. Для этого в рамках выполнения настоящей квалификационной работы обозначим мероприятия, демонстрирующие экологическую ответственность, которые для наглядности сведены в таблицу 11.

Таблица 11 – Средства и методики по обеспечению экологической безопасности

Наименование технического объекта	Производственный участок сборки и сварки с установленным на нём технологическим оборудованием
действие на атмосферу	«Применение специальных фильтров, устанавливаемых в вентиляционную систему цеха, которые позволяют собирать и утилизировать выделяющиеся при работе технологического оборудования вредные вещества» [1]
действие на гидросферу	«Контролировать утечки машинного масла из гидравлической системы технологического оборудования, в случае возникновения таких утечек их следует незамедлительно устранять» [1]
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» [1]

Применение указанных средств позволяет обеспечить разумный уровень антропогенного действия производства.

4 Экономическое обоснование проектных решений

4.1 Анализ исходных данных для выполнения экономического обоснования

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена вопросу повышения эффективности наплавочных работ при восстановительной наплавке валов гидравлических турбин. Базовая технология выполнения наплавка на валы гидравлический турбины, которая рассмотрена в настоящем разделе выпускной квалификационной работы, имеет ряд недостатков, которые обусловлены применением устаревших технологий и морально устаревшего оборудования. Применяемая в базовой технологии ручная дуговая наплавка штучными электродами является устаревающим процессом, область которого в современном производстве неуклонно снижается, что подтверждается рядом отечественных и зарубежных аналитиков.

Для повышения эффективности производства предлагается применить автоматическую наплавку под флюсом. С использованием отечественного оборудования, материалов и разработанных в настоящей выпускной квалификационной работе технических решений составлена проектная технология, предусматривающая формулировку перечня выполняемых технологических операция, назначение оптимальных параметров обработки, выбор технологического оборудования.

Для выполнения экономических расчётов все исходные данные по применяемым технологиям и расчётным коэффициентам приведены в таблице 12.

Повышение эффективности производства предусматривает повышение производительности и соответствующее пропорциональное снижение затрат по статьям расходов.

Таблица 12 – Исходные данные для экономического обоснования

Параметр	Обозначение	Единица измерения	Принимаемое значение по варианту технологии	
			базовый	проектный
«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	m^2	40	60
Стоимость эксплуатации площадей	$C_{эксп}$	(Р/ m^2)/год	2000	2000
Цена производственных площадей	$Ц_{пл}$	Р/ m^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

На основании представленных данных предстоит выполнить расчёт себестоимости (технологическая, цеховая, заводская) по базовому и проектному вариантам. Далее следует оценить величину капитальных затрат. Для оценки эффективности предлагаемых решений будут вычислены основные экономические показатели: «повышение производительности труда, снижение технологической себестоимости, снижение трудоемкости, условно-годовая экономия и годовой экономический эффект» [12].

4.2 Фонд времени оборудования

Принимаемые для рассмотрения варианты технологического процесса предусматривают применение технологического оборудования и персонала, работу на производственных площадях. При этом для вычисления годовой программы, расходов и капитальных вложений требуется знание размеров фонда рабочего времени F_H и эффективного фонда рабочего времени F_3 , который отличается от фонда рабочего времени F_H по причине наличия потерь времени, величина которых задается коэффициентом потерь рабочего времени B . Для расчётов принимается $B=7\%$.

Поскольку в проектном варианте технологии предлагается использовать имеющуюся производственную базу, то годовой фонд времени по сравнению с базовым вариантом технологии не изменится. Для расчёта фонда времени необходимо задать количество смен $K_{см}$ и количество рабочих дней в году D_p , для рассматриваемого в выпускной квалификационной работе технологического объекта принимаем $K_{см}=1$ и $D_p=277$. С учётом нормативов труда продолжительность рабочей смены составляет $T_{см}=8$ часов. В течение одного года есть предпраздничные дни в количестве $D_{п}=7$ дней, в эти дни на величину $T_{п}=1$ час происходит уменьшение продолжительности смены. С учётом представленных данных годовой фонд времени составит

$$F_H = (D_p \cdot T_{см} - D_{п} \cdot T_{п}) \cdot K_{см} = (277 \cdot 8 - 7 \cdot 1) \cdot 1 = 2209 \text{ часов.} \quad (1)$$

Для рассматриваемой технологии коэффициент потерь рабочего времени принимается равным $B = 7\%$, таким образом, рассчитываем эффективный фонд времени:

$$F_3 = F_H(1 - B/100) = 2209 \cdot (1 - 7/100) = 2054 \text{ часов.} \quad (2)$$

Для проведения дальнейших расчётов по обоснованию эффективности предлагаемых решений принимаем эффективный фонд времени $F_3 = 2054$ часов.

4.3 Штучное время и годовая программа

Годовая программа выпуска и составляющие технологической себестоимости проведения сварочных работ зависят от объемов времени, которое затрачивается на проведение рассматриваемых в настоящей выпускной квалификационной работе технологических операций при изготовлении (ремонте) одного изделия – штучного времени $t_{шт}$. Для расчета величины штучного времени $t_{шт}$ необходимо применить знания по нормированию труда. «Рабочее время затрачивается непосредственно на выполнение основных операций, что учитывается частью рабочего времени, обозначаемой как $t_{маш}$ – машинное время. Вспомогательное время $t_{всп}$ является частью штучного времени, которое расходуется на действия по обеспечению основной работы, упрощенно можно принять $t_{всп} = 0,1t_{маш}$. На обслуживание рабочего места расходуется время $t_{обсл}$, для которого в настоящей выпускной квалификационной работе можно принять $t_{обсл} = 0,05t_{маш}$. На личный отдых работника затрачивается время $t_{отд}$ » [13], для выполнения расчётов в настоящей выпускной квалификационной работе можно упрощенно принять $t_{отд} = 0,05t_{маш}$. На подготовку к сварке, изучение документации и сдачу работ расходуется подготовительно-заключительное время, которое упрощенно принимается как $t_{п-з} = 0,01t_{маш}$. Таким образом, расчёт штучного времени для базового $t_{шт.баз}$ и проектного $t_{шт.проектн.}$ вариантов технологии составит:

$$\begin{aligned} t_{шт} &= t_{маш} + t_{всп} + t_{обсл} + t_{отд} + t_{п-з} . & (3) \\ t_{шт.баз} &= 20 \cdot (100\% + 10\% + 5\% + 5\% + 1\%) = 24,2 \text{ часов} \\ t_{шт.проектн.} &= 4 \cdot (100\% + 10\% + 5\% + 5\% + 1\%) = 4,8 \text{ часов} \end{aligned}$$

Для расчёта экономического эффекта необходимо знание годовой программы Π_r , значение которой зависит от штучного времени $t_{шт}$ и эффективного фонда времени $F_э$, расчёт годовой программы выполняется по формуле

$$П_{\Gamma} = F_{\text{э}} / t_{\text{шт.}} \quad (4)$$

Согласно (4) были получены для базового варианта $П_{\Gamma} = 2054/24,2 = 85$ деталей за год, для проектного варианта $П_{\Gamma} = 2054/4,8 = 428$ деталей за год.

С учётом реальной потребности производства предлагается для выполнения дальнейших экономических расчётов принимать $П_{\Gamma} = 80$ деталей в год.

С учётом годового эффективного фонда времени $F_{\text{э}} = 2054$ часов, «годовой программы $П_{\Gamma} = 80$, коэффициента выполнения нормы $K_{\text{вн}} = 1,03$, штучного времени $t_{\text{шт}}$ количество оборудования рассчитывается как

$$n_{\text{расч}} = t_{\text{шт}} \cdot П_{\Gamma} / (F_{\text{э}} \cdot K_{\text{вн}}). \quad (5)$$

По расчётам согласно (5) для базового варианта получаем для $t_{\text{шт}} = 24,2$ часов, $n_{\text{расч.}} = 24,2 \cdot 80 / (2054 \cdot 1,03) = 0,9$, при подстановке исходных данных в формулу (5) для проектного варианта получаем для $t_{\text{шт}} = 4,8$ часов, $n_{\text{расч.}} = 4,8 \cdot 80 / (2054 \cdot 1,03) = 0,18$. При построении технологического процесса принимаем количество технологического оборудования» [13] в базовом варианте и проектном варианте $n=1$. Расчётное и реальное количество оборудования связаны через коэффициент загрузки K_z следующим образом

$$K_z = n_{\text{расч}} / n. \quad (6)$$

По расчётам согласно (6) коэффициент загрузки оборудования для базового варианта равен $K_z = 0,9/1 = 0,9$, для проектного варианта коэффициент загрузки равен $K_z = 0,18/1 = 0,18$. Вычисленные таким образом значения коэффициента загрузки оборудования для рассматриваемых вариантов построения технологического процесса будут использованы для расчётного определения капитальных затрат. Снижение коэффициента загрузки оборудования в проектном варианте относительно базового варианта технологии объясняется повышением производительности труда, достигнутым за счёт внедрения предлагаемых технологических решений.

4.4 Заводская себестоимость рассматриваемых вариантов технологии

При реализации рассматриваемых вариантов построения технологического процесса помимо электрической энергии и труда затрачиваются материалы, в качестве которых вступают сварочные и наплавочные материалы, стоимость которых рассчитывается с учетом коэффициента транспортно-заготовительных расходов, который в настоящей выпускной квалификационной работе принимается равным $K_{ТЗ} = 1,05$, нормы расхода H_p и цены C_M материалов:

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

Согласно (7) для базового варианта построения технологии получаем $M_{\text{баз.}} = 345 \cdot 30 \cdot 1,5 \cdot 1,05 = 16300$ руб. Для проектного варианта технологического процесса стоимость материалов будет $M_{\text{баз.}} = 150 \cdot 30 \cdot 1,2 \cdot 1,05 + 39 \cdot 30 \cdot 0,5 \cdot 1,05 = 6280$ руб.

Основная заработная плата $Z_{\text{осн}}$ является составной фонда заработной платы ФЗП, который, в свою очередь, входит в состав технологической себестоимости. Эта величина определяется для рассматриваемых вариантов построения технологии исходя из ранее определенных значений штучного времени $t_{\text{шт}}$, и тарифной ставки, которая для рассматриваемого производства составляет $C_{\text{ч}} = 200$ рублей. Также при расчёте основной заработной платы следует учитывать коэффициент доплат, который в настоящей выпускной квалификационной работе принимается равным $K_{\text{д}} = 1,88$. Таким образом, для проектной и базовой технологии:

$$Z_{\text{осн}} = t_{\text{шт}} \cdot C_{\text{ч}} \cdot K_{\text{д}} . \quad (8)$$

Для базового варианта построения технологии значение штучного времени составляет $t_{\text{шт}} = 24,2$ часов, поэтому согласно (8) размер основной заработной платы $Z_{\text{осн}} = 24,2 \cdot 200 \cdot 1,88 = 9100$ рублей; для проектного варианта

построения технологии значение штучного времени составляет $t_{шт} = 4,8$ часов, согласно (8) основная заработная плата $Z_{осн.} = 4,8 \cdot 200 \cdot 1,88 = 1800$ рублей.

Ещё одной составляющей фонда заработной платы ФЗП является дополнительная заработная плата $Z_{доп}$, для расчёта необходимо задаться коэффициентом дополнительных доплат, который применительно к рассматриваемой технологии составит $K_{доп} = 0,12$. Величина $Z_{доп}$ пропорциональная основной заработной плате $Z_{осн.}$:

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

Для базового варианта построения технологического процесса величина основной заработной платы оставляет $Z_{осн} = 9100$ рублей, поэтому согласно (9) $Z_{доп} = 9100 \cdot 12 / 100 = 1090$ рублей. Для проектного варианта построения технологического процесса величина основной заработной платы оставляет $Z_{осн} = 1800$ рублей, поэтому согласно (9) дополнительная заработная плата $Z_{доп} = 1800 \cdot 12 / 100 = 220$ рублей.

Фонд заработной платы ФЗП, являющийся составляющей технологической себестоимости, представляет собой сумму основной $Z_{осн}$ и дополнительной $Z_{доп}$ заработной платы. При выполнении операций согласно базового процесса размер ФЗП = $9100 + 1090 = 10190$ рублей. При выполнении операций согласно проектного технологического процесса размер ФЗП = $1800 + 220 = 2020$ рублей.

Размер отчислений на социальные нужды $O_{сн}$ пропорционален размеру фонда заработной платы ФЗП, для рассматриваемых условий принимается значение коэффициента отчислений на социальные нужды $K_{сн} = 0,34$, с учётом которого:

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

Для базового варианта технологии ранее рассчитано значение ФЗП = 10190 рублей, поэтому согласно (10) отчисления на социальные

нужды $O_{\text{сн.}} = 10190 \cdot 34 / 100 = 3470$ рублей. Для проектного варианта технологии ранее получено $\Phi 3\Pi = 2020$ рублей, поэтому согласно (10) отчисления на социальные нужды $O_{\text{сн.}} = 2020 \cdot 34 / 100 = 690$ рублей.

Амортизационные отчисления $A_{\text{об}}$ являются составляющими затрат на оборудование $Z_{\text{об}}$ и рассчитываются с учётом нормы амортизации, которая принимается $N_a = 21,5\%$: эффективного фонда времени $F_э$, стоимости оборудования $\Pi_{\text{об}}$, которое для базового варианта составляет $\Pi_{\text{об}} = 400000$ рублей, для проектного варианта $\Pi_{\text{об}} = 1200000$ рублей; машинного времени $t_{\text{маш}}$, которое для базового варианта составляет $t_{\text{маш}} = 24,2$ часов, для проектного варианта $t_{\text{маш}} = 4,8$ часов.

$$A_{\text{об}} = \frac{\Pi_{\text{об}} \cdot N_a \cdot t_{\text{маш}}}{F_э \cdot 100}. \quad (11)$$

«Для базового варианта технологии согласно (10) $A_{\text{об}} = 400000 \cdot 21,5 \cdot 24,2 / 2054 / 100 = 1970$ рублей. Для проектного варианта технологии согласно (10) $A_{\text{об}} = 1200000 \cdot 21,5 \cdot 4,8 / 2054 / 100 = 600$ рублей.

Ещё одной составляющей затрат на оборудование $Z_{\text{об}}$ являются затраты на электрическую энергию $P_{ээ}$. Эти затраты рассчитываются с учётом цены электрической энергии $\Pi_{ээ}$, которая для рассматриваемого варианта принимается $\Pi_{ээ} = 3,02$ руб/кВт·ч; коэффициента полезного действия КПД, машинного времени $t_{\text{маш}}$ и установленной мощности оборудования $M_{\text{уст}}$.

$$P_{ээ} = M_{\text{уст}} \cdot t_{\text{маш}} \cdot \Pi_{ээ} / \text{КПД}. \quad (12)$$

Согласно (12) для базового варианта $P_{ээ} = 12 \cdot 24,2 \cdot 3,02 / 0,7 = 1250$ рублей. Согласно (12) для проектного варианта $P_{ээ} = 40 \cdot 4,8 \cdot 3,02 / 0,85 = 680$ рублей» [13].

Затраты на оборудование $Z_{\text{об}}$ являются составляющей технологической себестоимости и определяются с учётом ранее рассчитанных $A_{\text{об}}$ и $P_{ээ}$:

$$Z_{\text{об}} = A_{\text{об}} + P_{ээ}. \quad (13)$$

С учётом ранее определенных значений, при подстановке в (13) для базового варианта технологии $Z_{об.} = 1970 + 1250 = 3220$ рублей, для проектного варианта технологии $Z_{об} = 600 + 680 = 1280$ рублей.

Технологическая себестоимость $C_{тех}$ является суммой фонда заработной платы (в базовом варианте $\Phi ЗП = 10190$ рублей, в проектном варианте $\Phi ЗП = 2020$ рублей), затрат на материалы (в базовом варианте $M = 16300$ рублей, в проектном варианте $M = 6280$ рублей) отчислений на социальные нужды (в базовом варианте $O_{сс} = 3470$ рублей, в проектном варианте $O_{сс} = 690$ рублей), затрат на оборудование (в базовом варианте $Z_{об} = 3220$ рублей, в проектном варианте $Z_{об} = 1280$ рублей). Таким образом:

$$C_{тех} = M + \Phi ЗП + O_{сс} + Z_{об} . \quad (14)$$

«По расчётам согласно (14) технологическая себестоимость для базового варианта $C_{тех} = 16300 + 10190 + 3470 + 3220 = 33180$ рублей, для проектного варианта себестоимость составляет $C_{тех} = 6280 + 2020 + 690 + 1280 = 10270$ рублей.

Расчёт цеховой себестоимости $C_{цех}$ ведется с учётом основной заработной платы $Z_{осн}$ и коэффициента цеховых расходов $K_{цех} = 1,5$:

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

По расчётам согласно (15) цеховая себестоимость для базового варианта технологии $C_{цех} = 33180 + 1,5 \cdot 9100 = 33180 + 13650 = 46830$ рублей, для проектного варианта $C_{цех} = 10270 + 1,5 \cdot 1800 = 10270 + 2700 = 12970$ рублей.

Расчёт заводской себестоимости $C_{зав}$ ведется с учётом основной заработной платы $Z_{осн}$ и коэффициента заводских расходов $K_{зав} = 1,15$ [14]:

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

Согласно (16) $C_{зав} = 46830 + 1,15 \cdot 9100 = 46830 + 10460 = 57290$ рублей для базовой технологии и $C_{зав} = 12970 + 1,15 \cdot 1800 = 12970 + 2070 = 15040$

рублей для проектной технологии. Рассчитанные выше составляющие заводской себестоимости сведены в таблицу 13, по которой может быть построена сравнительная диаграмма, представленная на рисунке 26.

Таблица 13 – Данные для расчёта заводской себестоимости

Показатель	Условное обозначение	Калькуляция, руб.	
		Базовый вариант	Проектный вариант
1. «Затраты на материалы	М	16300	6280
2. Фонд заработной платы	ФЗП	10190	2020
3. Отчисления на соц. нужды	Осн	3470	690
4. Затраты на оборудование	Зоб	3220	1280
5. Технологическая себестоимость	С _{тех}	33180	10270
6. Цеховые расходы	Р _{цех}	13650	2700
7. Цеховая себестоимость	С _{цех}	46830	12970
8. Заводские расходы	Р _{зав}	10460	2070
9. Заводская себестоимость» [12]	С _{зав}	57290	15040

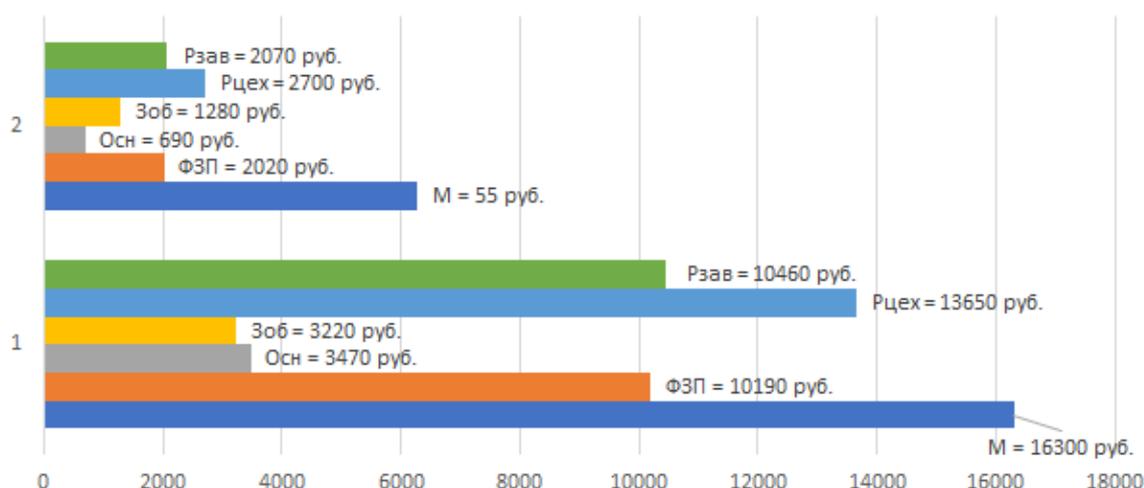


Рисунок 26 – Состав заводской себестоимости

На основании анализа структуры заводской себестоимости рассматриваемых вариантов технологии следует признать высокую эффективность предлагаемых решений. При этом в проектом варианте по сравнению с базовым отмечается существенное снижение затрат на материалы, фонд заработной платы и отчисления на социальные нужды.

4.5 Расчёт капитальных затрат

Остаточная себестоимость оборудования $\Pi_{об.б.}$ определяется расчётным путем исходя из продолжительности эксплуатации, которая принимается $T_c = 3$ года, и цены нового оборудования на рынке $\Pi_{перв.}$, которая принимается $\Pi_{перв.} = 400000$ рублей. Расчеты ведем с учетом нормы амортизационных отчислений $H_a = 21,5 \%$. Таким образом, остаточная стоимость оборудования составляет:

$$\Pi_{об.б.} = \Pi_{перв.} - (\Pi_{перв.} \cdot T_{сл} \cdot H_a / 100). \quad (17)$$

Согласно (17) $\Pi_{об.б.} = 400000 - (400000 \cdot 3 \cdot 21,5 / 100) = 142000$ рублей.

Ранее для базового варианта был рассчитан коэффициент загрузки оборудования $K_z = 0,9$, с учётом которого для остаточной стоимости оборудования $\Pi_{об.б.} = 142000$ рублей общие капитальные затраты составят:

$$K_{общ. б.} = \Pi_{об.б.} \cdot K_{з.б.} = 142000 \cdot 0,90 = 127800 \text{ рублей.} \quad (18)$$

«Для расчета размеров капитальных затрат $K_{общ. пр.}$ по проектному варианту необходимо определить величину капитальных вложений в производственные площади $K_{пл. пр.}$, капитальных затрат на оборудование $K_{об. пр.}$ и сопутствующих затрат $K_{соп.}$:

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

Согласно исходным данным для проектной технологии в настоящей выпускной квалификационной работе принимаем цену оборудования $\Pi_{об. пр.} = 1200000$ рублей, коэффициент транспортно-заготовительных расходов $K_{тз} = 1,05$ и коэффициент загрузки оборудования $K_z = 0,18$. Далее выполним расчёт капитальных затрат на оборудование $K_{об. пр.}$:

$$K_{об. пр.} = \Pi_{об. пр.} \cdot K_{тз} \cdot K_{зп.} \quad (20)$$

По результатам подстановки в (20) исходных данных размер капитальных затрат на оборудование при реализации проектной технологии составляет $K_{об.пр} = 1200000 \cdot 1,05 \cdot 0,18 = 226800$ рублей.

Сопутствующие капитальные затраты $K_{соп}$ рассчитываются с учётом расходов на монтаж нового оборудования $P_{мон}$ и расходов на демонтаж оборудования, которое ранее было использовано при реализации базовой технологии $P_{дем}$. Расчёты ведутся по формуле

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

Для рассматриваемого в настоящей выпускной квалификационной работе технологического процесса принимаем коэффициент расходов на демонтаж оборудования $K_{дем} = 0,05$. С учётом ранее заданной цены оборудования $Ц_{об.б} = 4000000$ рублей расходы на демонтаж $P_{дем}$ составят:

$$P_{дем} = Ц_{об.б} \cdot K_{д} = 4000000 \cdot 0,05 = 200000 \text{ рублей}. \quad (22)$$

Величина расходов на монтаж оборудования оценивается по цене оборудования $Ц_{об.пр}$, с учётом значения коэффициента расходов на монтаж, который принимается $K_{мон} = 0,05$ » [13]:

$$P_{монт} = Ц_{об.пр} \cdot K_{м} = 1200000 \cdot 0,05 = 60000 \text{ рублей}. \quad (23)$$

Расчётное значение сопутствующих расходов $K_{соп}$ согласно (21) составляет $K_{соп} = 200000 + 60000 = 260000$ рублей.

«Расчётное значение капитальных затрат по проектной технологии $K_{общ.пр}$ согласно (19) составляет $K_{общ.пр} = 226800 + 260000 = 486800$ рублей.

На основании рассчитанных ранее капитальных затрат по проектной технологии $K_{общ.пр} = 486800$ рублей и капитальных затрат по базовой технологии $K_{общ.б} = 127800$ рублей рассчитываем дополнительные капитальные затраты $K_{доп}$:

$$K_{доп} = K_{общ.пр} - K_{общ.б} = 486800 - 127800 = 359000 \text{ рублей}. \quad (24)$$

Удельные капитальные вложения $K_{уд}$ рассчитываются как отношение величины капитальных вложений $K_{общ}$ к годовой программе Π_T согласно формулы

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

Согласно (25) базовый вариант предполагает удельные капитальные вложения $K_{уд} = 127800/80 = 1600$ руб./ед. Проектный вариант предполагает удельные капитальные вложения $K_{уд} = 306800/80 = 3840$ руб./ед» [14].

4.6 Расчёт экономических показателей

Для обоснования эффективности предлагаемых в работе решений применяются объективные показатели, расчёт которых выполняется с использованием полученных ранее значений.

Первым объективным показателем является снижение трудоемкости $\Delta t_{шт}$, которое определяется исходя из штучного времени для проектного варианта $t_{шт пр} = 24,2$ часов и штучного времени для базового варианта $t_{шт б} = 4,8$ часов:

$$\Delta t_{шт} = (t_{шт б} - t_{шт пр}) \cdot 100 \% / t_{шт б} = (24,2 - 4,8) \cdot 100 \% / 24,2 = 80 \%. \quad (26)$$

Следующим объективным показателем эффективности проектной технологии является повышение производительности труда Π_T , рассчитываемая как

$$\Pi_T = 100 \cdot \Delta t_{шт} / (100 - \Delta t_{шт}) = 100 \cdot 80 / (100 - 80) = 400 \%. \quad (27)$$

Следующим объективным показателем является снижение технологической себестоимости $\Delta C_{тех}$, которая рассчитывается для технологической себестоимости по базовой технологии $C_{тех.б} = 33180$ рублей и себестоимости по проектной технологии $C_{тех.пр.} = 10270$ рублей:

$$\Delta C_{\text{тех}} = (C_{\text{тех.б.}} - C_{\text{тех.пр.}}) \cdot 100\% / C_{\text{тех.б.}} = (33180 - 10270) \cdot 100\% / 33180 = 70 \%. \quad (28)$$

Для расчёта условно-годовой экономии $\mathcal{E}_{\text{уг}}$ применяются ранее определенное значение заводской себестоимости по базовому и проектному вариантам $C_{\text{зав.б.}} = 57290$ рублей и $C_{\text{тех.пр.}} = 15040$ рублей. Расчёты ведутся по формуле

$$\mathcal{E}_{\text{уг}} = (C_{\text{зав.б.}} - C_{\text{зав.пр.}}) \cdot \Pi_{\text{г}} = (57290 - 15040) \cdot 80 = 3380000 \text{ рублей.} \quad (29)$$

Срок окупаемости дополнительных капитальных вложений $T_{\text{ок}}$ рассчитывается для $K_{\text{доп}} = 306800$ рублей и $\mathcal{E}_{\text{уг}} = 3380000$ рублей по формуле:

$$T_{\text{ок}} = K_{\text{доп}} / \mathcal{E}_{\text{уг}} = 306800 / 3380000 = 0,1 \text{ года.} \quad (30)$$

Для рассматриваемого в настоящей выпускной квалификационной работе технологического процесса принимается значение коэффициента окупаемости затрат $E_{\text{н}} = 0,33$. С учётом дополнительных капитальных вложений $K_{\text{доп}} = 306800$ рублей и условно-годовой экономии $\mathcal{E}_{\text{уг}} = 3380000$ рублей рассчитываем годовой экономический эффект:

$$\mathcal{E}_{\text{г}} = \mathcal{E}_{\text{уг}} - E_{\text{н}} \cdot K_{\text{доп}} = 3380000 - 0,33 \cdot 306800 = 3260000 \text{ рублей.} \quad (31)$$

На основании проведенных экономических расчётов продемонстрировано, что применение предлагаемых решений в построении технологических процессов обеспечивает получение условно-годовой экономии в размере 3,4 миллиона рублей. При этом за счёт модернизации производства трудоемкость снижается на 80 %, производительности труда повышается на 400 %. Технологическая себестоимость снижается на 70 %. Годовой экономический эффект оценивается в 3,26 миллиона рублей, что позволяет сделать вывод о высокой эффективности предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе решений.

Заключение

Выпускная квалификационная работа посвящена повышению эффективности работ при восстановительной наплавке цилиндрических деталей машин на примере вала гидротурбины. В ходе работы над введением выполнен краткий анализ состояния вопроса, обоснована актуальность исследования и сформулирована цель выпускной квалификационной работы.

Базовая технология выполнения наплавки на валы гидравлический турбины, которая рассмотрена в настоящем разделе выпускной квалификационной работы, имеет ряд недостатков, которые обусловлены применением устаревших технологий и морально устаревшего оборудования. Применяемая в базовой технологии ручная дуговая наплавка штучными электродами является устаревающим процессом, область которого в современном производстве неуклонно снижается, что подтверждается рядом отечественных и зарубежных аналитиков.

При сварке и наплавке с применением штучных электродов в наплавленном металле образуется значительное количество дефектов (пор, несплавлений, трещин и т.д.) по причине недостаточной защиты места сварки от воздействия воздуха и попадания в сварочную ванну влаги. В результате качество работ, выполненных с применением ручной дуговой сварки, зачастую уступает качеству, полученному при применении других, более перспективных способов сварки. Кроме того при ручной дуговой сварке и наплавке условия труда сварщика намного хуже, чем условия труда при других способах сварки, что объясняется увеличенным количеством вредных испарений. Кроме того, следует отметить увеличенный расход электродного металла, который идет на огарки и разбрызгивание.

Анализ источников научно-технической информации позволил для предварительного анализа выбрать альтернативные способы восстановительной наплавки. По результатам экспертной оценки

альтернативных способов восстановительной наплавки для построения проектной технологии предложено применить автоматическую наплавку под флюсом. С применением современных достижений российской сварочной науки повышена эффективность выбранного способа восстановительной наплавки, что позволяет повысить конкурентоспособность и техническую независимость отечественного сварочного производства.

С использованием отечественного оборудования, материалов и разработанных в настоящей выпускной квалификационной работе технических решений составлена проектная технология, предусматривающая формулировку перечня выполняемых технологических операций, назначение оптимальных параметров обработки, выбор технологического оборудования.

Проведена идентификация опасных и вредных производственных факторов, негативно влияющих на персонал и окружающую среду, предложены мера защиты от них.

На основании анализа результатов расчета изменяющихся экономических показателей сделан вывод о целесообразности внедрения предлагаемых решений в производство. Годовой экономический эффект составляет более трёх миллионов рублей. При этом ожидаемое за счёт применения предлагаемых решений снижение технологической себестоимости составляет 70 %, повышение производительности труда за счёт уменьшения трудоемкости составляет 400 %.

На основании вышеизложенного следует признать высокой эффективностью предлагаемых в проекте технологических и организационных решений, внедрение которых в производство позволяет существенно улучшить условия труда сварщиков, увеличить производительность и качество, снизить трудоемкость наплавки и её стоимость.

Результаты выпускной квалификационной работы предлагаются к внедрению на предприятиях тяжёлого энергомашиностроения.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Белов С. В. Охрана окружающей среды. М. : Машиностроение, 1990. 372с.
2. Бернадский В. Н., Маковецкая О. К. Вклад сварки в экономику США // Сварочное производство. 2004. № 5. С. 43-50.
3. Георгиевская Е. В. Обеспечение надёжности и безопасности эксплуатации гидроагрегатов за пределами проектного срока службы // Проблемы энергетики. 2017. № 7-8. С. 33-42.
4. Гладкий П. В., Переплётчиков Е.Ф., Рябцев А. И. Плазменная наплавка // К. : Екологія, 2007. 292 с.
5. Горина Л. Н. Обеспечение безопасных условий труда на производстве: учебное пособие. Тольятти : ТолПИИ, 2000. 68 с.
6. Гуленин А. А., Насад Т. Г. Применение воротникового уплотнения вала в гидротурбинах с напором выше 40М // Юность и знания – гарантия успехов. 2021. С. 275-277.
7. Гурвич Л.Я., Лащевский В.Б. Сопротивление коррозионному растрескиванию высокопрочных нержавеющей сталей и их сварных соединений // Защита металлов. 1993. Т. 29, № 5.
8. 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.
9. Клепач А. Н. Социальный инновационный поворот Российской экономики: планы и реальность // Научные труды Вольного экономического общества России. 2021. № 1. С. 17-23.
10. Козулин, М.Г. Технология изготовления сварных конструкций : учебно-методическое пособие к курсовому проектированию. Тольятти : ТГУ, 2008. 77 с.

11. Крампит А. Г., Крампит Н. Ю., Габитов Э. К. Модернизация сварочного оборудования – как решение приоритетной задачи по импортозамещению // Технический научно-производственный журнал. 2016. № 7. С. 18-23.
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. Ленчук Е. Б. Научно-технологическое развитие России в условиях санкционного давления // Экономическое возрождение России. 2022. № 3. С. 52-60.
16. Мазур А.А., Маковецкая О.К., Пустовойт С.В., Петрук В.С. Экономико-статистический обзор мирового и региональных рынков сварочных материалов // Автоматическая сварка. 2019. № 9. С. 45–51.
17. Маковецкая О.К. Состояние и тенденции развития мирового рынка основных конструкционных материалов и сварочной техники // Автоматическая сварка. 2015. № 10. С. 54–61.
18. Малаховский В. А. Плазменные процессы в сварочном производстве // М. : Высшая школа, 1988. 72 с.
19. Мигуренко В.Р., Станкевич В.Л. Радикальные изменения в подходе к монтажу гидроагрегатов // Гидротехника. 2009. № 1. С. 65–67.
20. Неёлов Ю. В. Перспективы импортозамещения в Российской Федерации, // Аналитический вестник. 2015. № 27. С. 4-7.
21. Патон Б.Е. Исследования и разработки ИЭС им. Е.О. Патона для современной энергетики // Современная электрометаллургия. 2013. № 4. С. 12-20.

22. Походня И. К. Сварочные материалы: состояние и тенденции развития // Сварочное производство. 2003. № 6. С. 26–40.

23. Рябцев И. А., Бабинец А. А., Коржик В. Н. Оборудование и технология антикоррозионной электрошлаковой наплавки двумя лентами // Автоматическая сварка. 2017. № 8. С. 55-60.

24. Сенченков И. К. Червинко О.П. Рябцев И. А. Исследование термомеханического состояния цилиндрических деталей, аплавленных слоями аустенитной и мартенситной сталей // Автоматическая сварка. 2007. № 8. С. 6-14.

25. Смирнов И. В. Сварка специальных сталей и сплавов : учебное пособие Тольятти : ТГУ, 2007. 301 с.

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

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

28. 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

29. СТО РусГидро 02.03.77-2011. Гидроэлектростанции. Правила продления срока службы основного оборудования в процессе эксплуатации. Нормы и требования.

30. Шейко П. П., Жерносеков А. М., Шимановский Ю. О. Импульсно-дуговая сварка плавящимся электродом с автоматической стабилизацией параметров режимов // Автоматическая сварка. 2004. № 1. С. 8–11.

31. 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.