



## Аннотация

Тема работы «Восстановление лопаток турбокомпрессора».

Выпускная бакалаврская работа приведена в записке на 67 страницах и на 6-ти чертежах формата А1. На чертежах изображены лопатка компрессора, сравнение способов наплавки применимых для лопаток, универсальная установка для наплавки, предложенный технологический процесс, спроектирован участок для ремонта лопаток.

Целью работы является повышение срока службы лопаток турбокомпрессора.

Повысить срок службы возможно за счет перехода с ручной электродуговой наплавки электродом на автоматическую плазменно порошковую. Предложенная технология наплавки позволит сократить время наплавки и повысить качество, а следовательно повысить срок службы.

В данной работе проведен анализ базовой технологии упрочнения лопаток, анализ возможных способов наплавки, предложено оборудование и разработан технологический процесс упрочнения лопаток, рассчитан ожидаемый экономический эффект при использовании предлагаемой технологии и оборудования.

## Содержание

Введение	4
1 Описание применяемой технологии и сравнение возможных способов восстановления лопаток	5
1.1 Описание конструкции компрессора и лопаток	5
1.2 Характеристика материала лопаток турбокомпрессора и особенности ее свариваемости	12
1.3 Описание базового варианта ремонта лопаток	14
1.4 Анализ возможных способов ремонта лопаток	15
2 Технологический процесс ремонта лопаток турбокомпрессора	23
3 Оборудование для восстановления лопатки турбокомпрессора	28
3.1 Источник питания для плазменной наплавки	28
3.2 Установка для наплавки	30
3.3 Машина для зачистки	32
3.4 Оборудование для контроля	34
4 Безопасность и экология восстановления лопаток	39
4.1 Конструктивно-технологическая характеристика ремонта лопаток	39
4.2 Сравнение профессиональных опасностей	39
4.3 Способы и устройства снижения профессиональных рисков	42
4.4 Меры пожарной и техногенной безопасности при наплаве лопаток	43
4.5. Применяемые на участке сварки организационные мероприятия по обеспечению пожарной безопасности	45
5.Экономическое обоснование	48
Заключение	68
Список использованных источников	69

## Введение

На химическом предприятии г. Тольятти ООО «Сибур» при изготовлении и получения этиленового холода с параметрами минус 100 °С до минус 70 °С используются различного рода компрессоры для создания повышенного давления. Все механизмы и детали компрессора во время работы подвержены воздействию различных токсичных микрочастиц, паров воды и химических элементов, которые возможны в воздухе в производственных условиях цеха. Поэтому существует проблема износа деталей, который происходит вследствие истирания от абразива, возможных ударных нагрузок от перекосов, эрозии и повышенных температур.

В данной работе рассмотрен ремонт лопаток турбокомпрессора используемого для передачи холода.

Современные технологии обладают различными способами восстановления или упрочнения изношенных деталей с целью повышения их срока службы, один из которых это - ремонтное производство – важнейшая технологическая отрасль, которая внесла большой вклад в выполнение программы промышленного развития страны. Одна из главнейших задач ремонтного производства – снижение себестоимости ремонта при одновременном повышении послеремонтного ресурса машины.

В настоящее время изношенные лопатки компрессора ремонтируются наиболее простым и доступным на предприятии методом с использованием ручной дуговой наплавки покрытыми электродами.

Однако этот способ ремонта не обеспечивает большого срока службы восстановленных лопаток. Поэтому целью данной работы является повышение срока службы лопаток турбокомпрессора.

# 1 Описание применяемой технологии и сравнение

## возможных способов восстановления лопаток

### 1.1 Описание конструкции компрессора и лопаток

Компрессор, используемый для сжатия газа, рассчитывается, конструируется в зависимости от физических и химических свойств контактирующего воздуха или газа. Виды сжимаемых газов, определяют величину и особенности деталей компрессора. При сжатии большинства газов необходимо тщательно обеспечить герметичность компрессора и защиту от возможного взрыва. При сжатии оксида углерода, хлора и подобных газов важно обеспечить герметичность узлов и прокладок компрессора. При сжатии газов активных к взаимодействию с поверхностями узлов компрессора требуется применять специальные антикоррозионные материалы.

Так как некоторые газы могут вступать в химическую реакцию с маслом, то необходимо применять специальные смазки или выполнять детали компрессора из материалов не требующих смазки.

Компрессоры подразделяют на поршневые, винтовые и ротационно-пластинчатые.

В химических производствах большое распространение нашли вакуум-насосы и ротационно-пластинчатые компрессоры, которые широко применяются при малых производительностях. Ротационно-пластинчатые компрессоры бывают с производительностью от 0,1 до 100 м<sup>3</sup>/мин, с давлением 1,2 МПа, 1,6 МПа или 2,5 МПа. При таких давлениях ротационно-пластинчатые компрессоры имеют выше КПД и предпочтительнее из-за малых габаритов и надежности работы [1].

Но самыми экономичными являются компрессоры центробежные с производительностью от 20 м<sup>3</sup>/мин и выше. Произведенные улучшения и изменения конструкции центробежных компрессоров позволяют использовать их одновременно с другими конструкциями. Преимуществами таких конструкций является высокая производительность, срок службы, высокая

надежность при малых габаритах и массе. В последнее время разработаны центробежные компрессоры с давлением более 100 МПа.

Главным показателем является степень сжатия - это отношение давления в линии выхода к давлению на линии входа газа.

Еще одним показателем является изотермический КПД, который определяется отношением мощности, расходуемой при сжатии газа, к фактической мощности компрессора.

По создаваемому давлению компрессоры рассчитаны на низкое давление (от 0,15 до 1,2 МПа), среднее давление (от 1,2 до 10 МПа), высокое давление (от 10 до 100 МПа) и сверх высокое давление (100 МПа и выше).

Известны компрессоры, которые применяются для сжатия воздуха, но чаще для сжатия и передачи различных газов. Кроме того, установки применяются в нефтеперерабатывающих и химических производствах, где требуется поднять давление входного газа в трубопроводе до величины, необходимой для работы газовых турбин (до 40 бар). Компрессоры служат для перекачки и сжатия газа, подачи топливного газа в турбины и сжатие газа в технологических процессах.

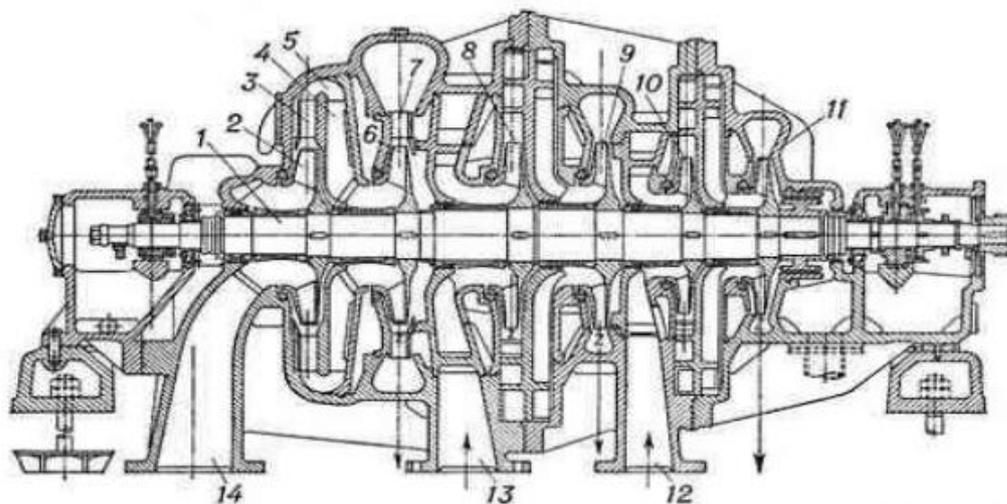
Компрессоры природного газа типа АГ (рис.1.1) предназначены для заправки спецтранспорта и сельскохозяйственной техники природным газом, сжатым до 20 МПа. Использование установок этого типа позволяет заменить моторное топливо более экономичным шахтным метаном или природным газом. Важным преимуществом использования технологии становится возможность существенного снижения расходов на топливо и получение фактической независимости от его поставок.



Рисунок 1.1 – Газонаполнительная компрессорная станция

Кроме того, в такой ситуации существенно снижаются расходы на ГСМ, в разы снижаются объём вредных веществ, которые выбрасываются в атмосферу вместе с продуктами сгорания. Компрессоры типа АГ в зависимости от места установки и особенностей эксплуатации предлагаются изготовителями в нескольких модификациях. Малогабаритный вариант станции природного газа может быть успешно использован в черте города или в автохозяйстве. В этом случае газ может потребляться из городских коммуникаций с давлением до 0,2 МПа.

В компрессорах динамического принципа действия газ сжимается в результате подвода механической энергии от вала, и дальнейшего взаимодействия рабочего вещества с лопатками ротора. В зависимости от направления движения потока и типа рабочего колеса такие компрессоры бывают центробежные (рис. 1.2) и осевые.



1 - вал; 2, 6, 8, 9, 10 и 11 - колёса рабочие; 3 и 7 - диффузоры кольцевые;  
 4 - канал обратный направляющий; 5 – устройство направляющее; 12 и 13 -  
 каналы для транспортировки газа; 14 – вход газа

Рисунок 1.2 - Центробежный компрессор

Основными частями центробежного компрессора являются корпус и ротор, закрепленный на валу 1 с симметрично расположенными рабочими колёсами 2, 6, 8, 10, 11. Центробежный 6-ступенчатый компрессор изображен на (рис.1.2). При вращении центробежного компрессора лопатки рабочего колеса разгоняют частицы газа и придают им вращательное движение и создают им центробежную силу. Под действием этой силы частицы газа разгоняются и перемещаются от оси компрессора к периферии рабочих колес приобретая определенную скорость.

Основным узлом центробежного компрессора является пакет лопастей, закрепленных на ободе диска (рис.1.2, 1.3). Каждая лопасть имеет овальную плавную форму с двух сторон и расположена на равном расстоянии друг за другом. За счет вращения лопасти засасывают воздух или какой - либо газ, разгоняя его за счет центробежной силы к выходному патрубку. Под действием повышенной центробежной силы происходит процесс сжатие частиц газа.

Перед выходом воздух или газ можно пропускать через дополнительное специальное устройство типа диффузор, чтобы избежать снижения потерь созданного давления.

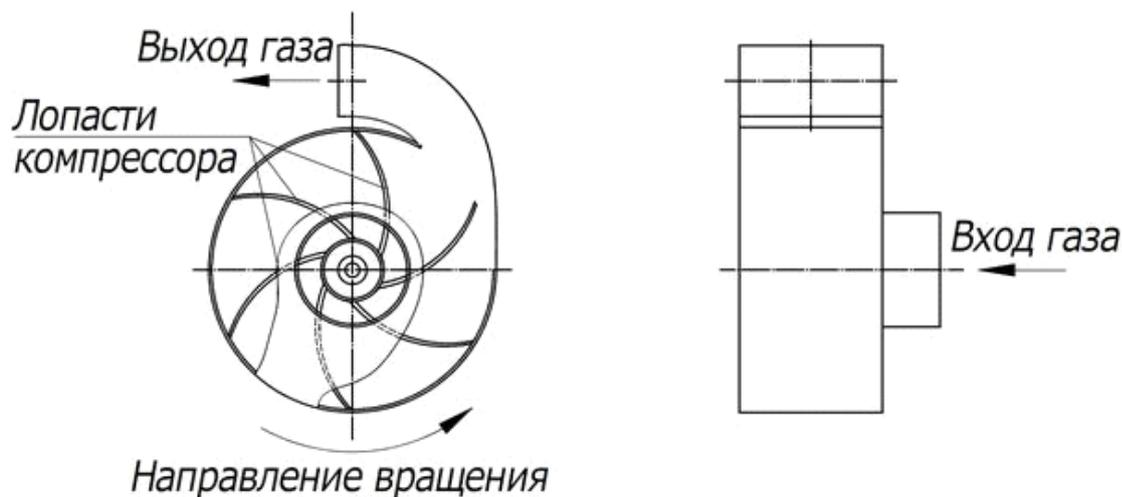
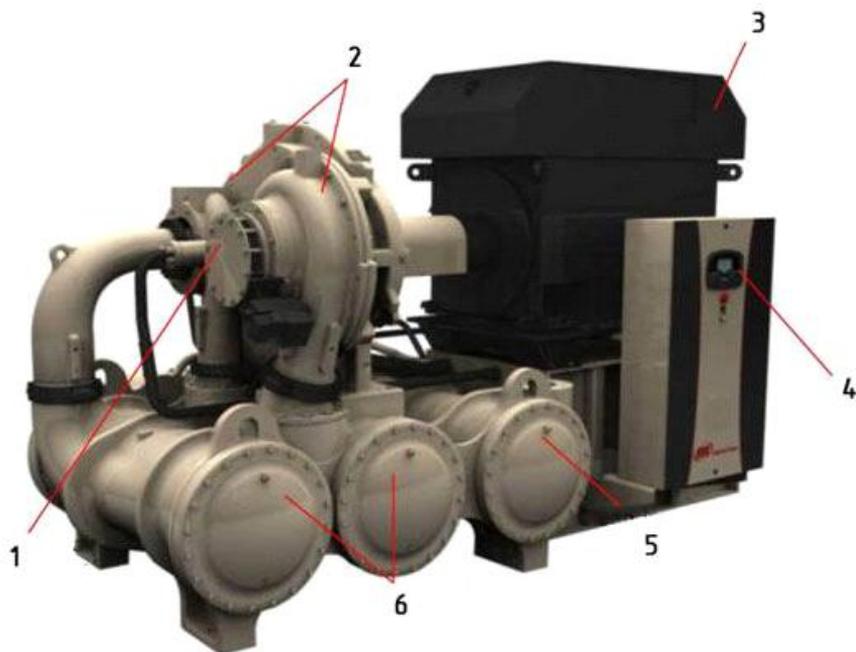


Рисунок 1.3 – Схема работы компрессора



1- вход воздуха в компрессор, 2- аэродинамическая улитка для снижения турбулентности и потерь, 3- электрический двигатель, 4- панель управления, 5- камера очистки на месте выходного охладителя, 6 – камера очистки на месте промежуточного охладителя

Рисунок 1.4 – Воздушный центробежный компрессор

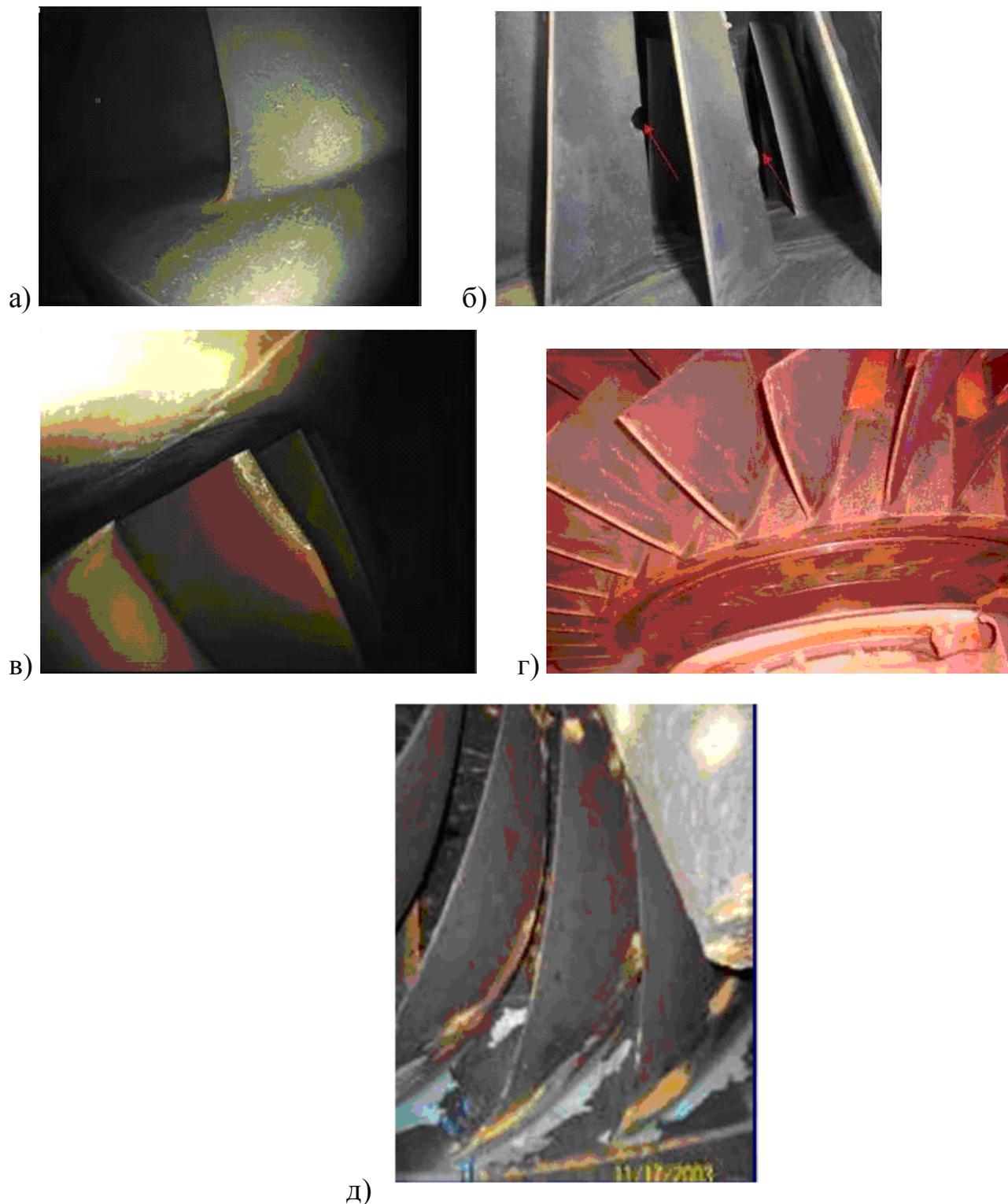
Наибольшее применение для получения этиленового холода находит центробежный компрессор (рис.1.4). Конструкция рабочего колеса (рис.1.5) компрессора состоит из обратно направленных лопастей рабочего колеса и обеспечивает высокую производительность в течение всего рабочего интервала, а коррозионная стойкость и стойкость на истирание обуславливают долговременную износостойкость.



Рисунок 1.5 – Рабочее колесо компрессора

Рабочие лопатки газовых турбин (рис.1.5, 1.6), а также диски, камера сгорания работают при высоких температурах, испытывают большие механические напряжения от процесса сжатия и могут быть подвержены действию различных агрессивных сред. Поэтому при изготовлении таких деталей часто используют сплавы, содержащие никель, хром, ванадий, молибден, вольфрам, кобальт. Применяемые жаропрочные и жаростойкие материалы элементов газовых турбин обладают высоким пределом ползучести и стойкостью к выдерживанию от возможной коррозии в условиях повышенных температур.

Для лопаточных аппаратов компрессоров и турбин используемых на предприятии с температурой до 550 °С применяют хромистые (нержавеющие) стали, содержащие 12-14 % хрома 20Х13.



а) трещины, б) сколы и вмятины, в) истирание, г) эрозия и загрязнение,  
д) коррозия

Рисунок 1.6 – Повреждения лопаток

Направляющие и рабочие лопатки набираются непосредственно в корпусе турбины или в обойме и монтируются в корпусе. Чтобы снизить вредное действие высоких температур, направляющие лопатки первых ступеней выполняют пустотелыми с воздушным охлаждением и реже — с водяным. Ввиду значительного объемного расхода рабочего газа лопатки имеют большую высоту. Для обеспечения безударного входа газа на лопатки их выполняют с закруткой (винтовые).

Длительный цикл работы компрессора и вредные воздействия от перекачиваемого газа приводят к износу лопастей (рис.1.6), а следовательно к ремонту. На лопатках возможны различного вида износы: истирания, выбоины, сколы, трещины, вмятины, деформации, коррозия и т.п. Если глубина износа составляет 2-3 мм, лопатки могут подвергаться восстановлению, а если более 3 мм, то лопатки заменяются на новые. Основными признаками износа являются: повышенный расход масла в двигателе, течь масла в компрессоре или в патрубках, снижение мощности двигателя, повышенный шум двигателя при работе на больших скоростях. Эти показатели говорят о необходимости проверки, а как правило, и ремонту компрессора.

## 1.2 Характеристика материала лопаток турбокомпрессора и особенности ее свариваемости

Лопатки центробежного компрессора изготовлены из коррозионно-стойкой жаропрочной стали 20X13, имеющей ограниченную свариваемость из-за высокого содержания хрома и имеющей склонность к отпускной хрупкости (табл.1.1).

Таблица 1.1 — Химический состав стали 20X13 по ГОСТ 5632-72

Марка стали	Массовая доля элементов, %					
	Углерод	Кремний	Марганец	Хром	Сера	Фосфор
20X13	0,16-0,25	≤ 0,8	≤ 0,8	12,0-14,0	≤ 0,025	≤ 0,030

Главный легирующий элемент стали этого типа — это хром. Именно благодаря хрому сталь устойчива к коррозии во время работы в окислительной среде. Также устойчивость к коррозии объясняется наличием на стали очень плотной защитной пленки. Наивысшая степень устойчивости стали 20X13 к коррозии достигается за счет термической обработки.

Часто лопатки изготавливают из сталей мартенситного класса типа 20X13 как и другие подобные жаропрочные хромистые стали используются в различных устройствах при температурах до 600° С. Из таких марок сталей обычно изготавливают роторы, диски и лопатки турбин, в том числе и роторных. Иногда их используют для кольцевых деталей имеющих большую толщину. Марки сталей данного класса подвержены эффективному упрочнению широко распространенными методами термообработки, которые применяются для получения, при необходимости нужной структуры мартенсита при необходимости дальнейшего улучшения структуры.

Чтобы предотвратить образование холодных трещин после процесса сварки, нужно создать постепенное снижение температуры лопатки, тем самым уменьшить скорость мартенситного превращения стали при охлаждении. Для обеспечения таких условий следует применять специальные электроды, имеющие большой диаметр, а следовательно и большое поперечное сечение. При этом сварку надо выполнять в малом термостатируемом приспособлении, наполненном подогретом теплоизолятором. Это может быть обеспечено за счет применения обычного кварцевого песка, нагретого газовыми горелками до температуры 500° С.

Макроструктура такого сварного или наплавленного шва имеет обычно структуру столбчатого строения при возможном росте дендритов. В случае выполнения последующей термообработки, макроструктура наплавленного металла измельчается.

При нагреве отожженной стали 20X13 полиморфное альфа-гамма превращение в ней происходит в интервале температур от 820 °С ( $A_{c1}$ ) до 950 °С ( $A_{c3}$ ). Температура точки  $A_{c1}$  составляет 780 °С. При определенной выдержке и медленном охлаждении в интервале 800-550 °С аустенит

распадается на феррито-карбидную смесь. Эта феррито-карбидная смесь состоит из высокохромистого феррита и карбида типа  $\text{Cr}_{23}\text{C}_6$ . При быстром охлаждении стали 20X13 в ней происходит мартенситное превращение. Температура начала мартенситного превращения —  $220^\circ\text{C}$ . С повышением температуры отпуска происходит значительное снижение прочности с увеличением пластичности, а также снижение коррозионной стойкости.

Известно, что сталь типа 20X13 может иметь удовлетворительную свариваемость при обычной электродуговой или аргонодуговой сварке, а также при механизированной сварке в среде углекислого газа, при использовании электродной проволоки типа Св-06X14 с выполнением предварительного и последующего подогрева.

### 1.3 Описание базового варианта ремонта лопаток

Ремонт начинается с очистки компрессора от грязи, масла, ржавчины с помощью механической щеткой. Затем производится разборка компрессора и отборка деталей, определяется возможность и целесообразность ремонта лопаток и устанавливается способ ремонта. Если глубина выработки превышает 3 мм, то такие детали ремонту не подвергаются, требуется их замена на новые. Если глубина дефектов не превышает допустимых значений, то детали подвергаются механической обработке для удаления дефектов до чистого металла. Зачистка производится переносными механическими щетками.

После проведения диагностики и механической обработки лопатки передаются на сварочный участок, где проводится наплавка изношенных поверхностей. В настоящее время ремонт лопаток компрессора производится путем обычной наплавки в один или два слоя. Первый слой должен выполняться электродом марки ОЗЛ-6 диаметром 4 мм, постоянным током обратной полярности под углом  $70-75^\circ$  к наплавляемой поверхности, с питанием от источника типа ВДУ-506, при величине тока  $I = 100-120 \text{ А}$  и скорости наплавки  $V_{\text{н}} = 4...8 \text{ м/ч}$ . При необходимости наносится второй слой

теми же электродами на таких же режимах, в том же направлении с наложением валиков на стыки нижнего слоя.

После этого производится механическая обработка ручной фрезой до нужного размера с контролем толщины лопатки штангенциркулем, а формы визуально и лекалом.

#### 1.4 Анализ возможных способов ремонта лопаток

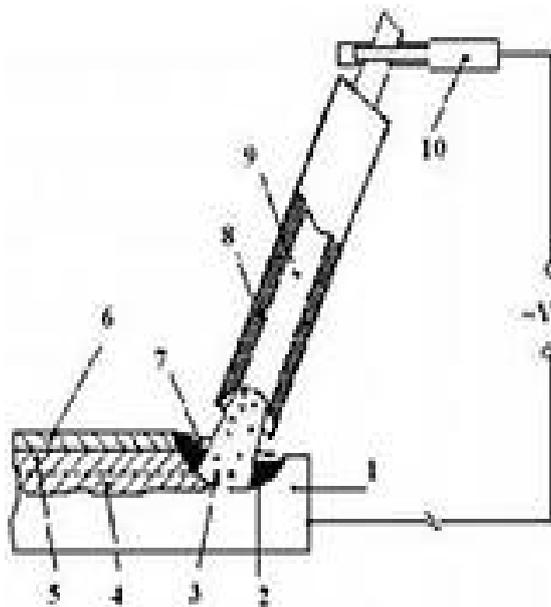
Для сравнения будут анализироваться следующие возможные виды наплавки, применимые для лопаток: ручная дуговая наплавка (как базовый вариант); дуговая наплавка в защитном газе; наплавка плазменно-порошковая, наплавка порошковой проволокой.

Известно, что для наплавки изношенных поверхностей может применяться ручная дуговая наплавка, как в базовом варианте [5]. Ручная дуговая наплавка осуществляется штучными металлическими электродами (рис.1.7). Такая наплавка производится путем наложением валиков, образующихся от расплавления электрода, на поверхность изделия. Металл наплавленного валика формируется от смешивания материала стержня электрода и частично расплавления металла детали. После наплавки валика поверхность самого валика и место рядом с ним для последующего валика тщательно зачищают от шлака, окалина и брызг.

Ручная дуговая наплавка электродом дают следующие преимущества: простота способа, низкая стоимость используемого оборудования, возможность наплавки во всех пространственных положениях, в том числе и овальных поверхностях, возможность наплавки сварщиками не высокой квалификацией.

Однако этот вид наплавки имеет низкую производительность, не всегда обеспечивает стабильность качества наплавленного металла. К недостаткам можно отнести необходимость зачистки шва от шлака и брызг после наплавки, возможно воздействие вредных факторов влияющих на сварщика. А самое главное наплавленные электродом лопатки не обеспечивают большого срока службы.

Следовательно, этот вид наплавки не желателен для восстановления лопасти.



- 1 – основа изделия; 2 – расплавленный металл; 3 – дуга сварочная;  
4 – металл переплавленный; 5 – металл наплавленный; 6 – шлак;  
7 – расплав шлака; 8 – обмазка; 9 – стержень электрода;  
10 – зажим электродов

Рисунок 1.7 — Схема ручной дуговой наплавки штучным электродом

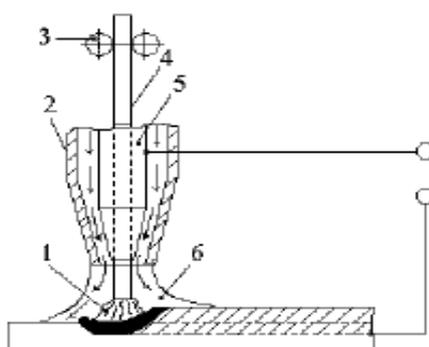
Наряду с наплавкой покрытыми электродами, изношенные детали можно наплавлять механизированными способами в среде защитных газов - методом MIG или MAG (с автоматизированной подачей проволоки) или TIG (вольфрамовым электродом) с присадочными прутками. Для защиты зоны наплавки можно применять различные газы: аргон, углекислый газ, гелий, азот - в зависимости от того, какой наплавляется металл.

Наплавку валика формируют из плавящейся проволоки и частично основного металла. В зависимости от применяемого защитного газа наплавку можно разделять на наплавку в активных (углекислый газ) или в инертных (аргон, гелий) газах.

При восстановлении наплавкой деталей из углеродистых сталей можно

использовать более дешевый углекислый газ. Известно, что при наплавке может применяться способ, когда в среде защитных газов в зону горения дуги подается проволока формирующая валик (рис. 1.8).

На практике для ремонта изношенных металлических деталей нашла наплавка в среде углекислого газа ( $\text{CO}_2$ ), как более дешевого для восстановления углеродистых сталей. Наплавка может осуществляться плавящейся проволокой с защитой сварочной ванны и место наплавки от воздуха углекислым газом [5].



- 1 – дуга электрическая; 2 – сопло направляющее; 3– ролики подающие;  
4 – проволока электродная; 5 – токоподводящий мундштук;  
6 – газ защитный

Рисунок 1.8 — Дуговая сварка в защитном газе плавящимся электродом

При наплавке в среде защитного газа (рис. 1.8) из сопла горелки 2, подается электродная проволока 4, а вокруг неё продувается защитный газ 6, оттесняя воздух от места наплавки, обеспечивая защиту сварочной ванны от воздуха.

Однако, механизированная наплавки в активном, углекислом газе не подходит для наплавки лопаток из жаропрочных сталей. Поэтому наплавку лопаток можно производить только в инертном газе, например в аргоне.

Наплавка в среде инертного газа применима для ремонта лопаток за счет повышенной производительности с минимальной зоной возможных

структурных изменений металла, при высокой тепловой мощностью за счет повышенной плотности тока. Остается возможность наблюдения за процессом формированием наплавленного валика, можно наплавлять слои металла разной величины от одного до нескольких десятков миллиметров, можно производить наплавку в различных пространственных положениях, существует возможность механизировать и автоматизировать операции технологического процесса.

Однако при применении данного способа наплавки возможны следующие недостатки: повышенное образование брызг металла, что требует периодической очистки сопла горелки или применение специального источника питания исключающего разбрызгивание, но имеющего высокую стоимость, повышенное излучение свободной дуги, требующее хорошей защиты сварщика, осуществление сварки практически только на постоянном токе.

Следовательно, рассмотренный вид наплавки не применим для восстановления поверхности лопатки.

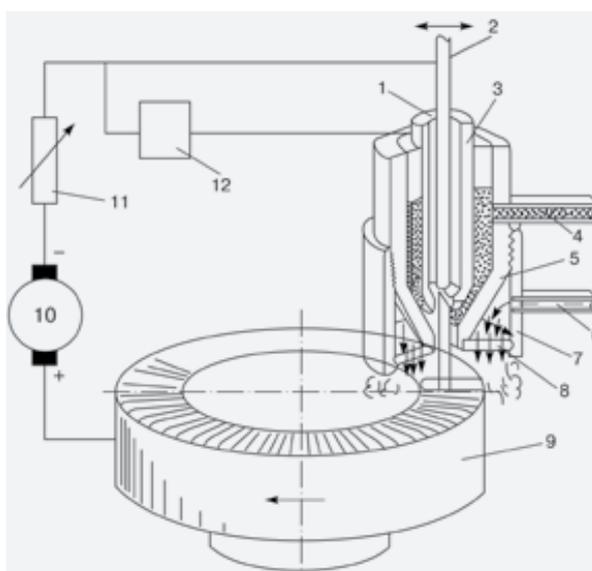
Известна плазменно-порошковая наплавка (рис.1.9), которая является современным способом, как при изготовлении изделий, так и при восстановлении упрочняющих покрытий на рабочее место истертых деталей [6].

Плазмой является ионизированный инертный газ с температурой свыше  $15\ 000^{\circ}\text{K}$ , состоящий из молекул, атомов, ионов, электронов, и др. При сварочно-дуговой ионизации газ подается через канал сопла с малым диаметром и обеспечивает дуговой разряд, тепловое и световое излучение которого ионизирует газ, а приложенное электрическое поле обеспечивает направленную плазменную струю.

При этом источником тепла является плазменная дуга между электродом и изделием, а материалом для наплавки может являться, например металлический порошок, специального состава. Порошок подается от питателя в плазматрон потоком газа. Такой способ имеет высокую производительность наплавки при низком и обычно регулируемом проплавлении основного металла. Что позволяет получить нужные составы наплавленного металла. Такие возможности обеспечиваются за счет плавной настройки мощности плазменной

дуги и расхода присадочного порошка или проволоки. Плазменно-порошковая наплавка может быть выполнена одним слоем требуемой толщины.

Однако при наплавке сплавов на основе кобальта непосредственно на основу из углеродистой стали, возможно появление трещин. Возможно избежать появление трещин за счет предварительного или сопутствующего подогрева наплавляемых заготовок. Для повышения стойкости против трещин на кобальтовых изделиях, дополнительно требуется легировать их при введении бора, который образует легкоплавкую боридная эвтектика, способную снизить вероятность появления горячих трещин.



- 1 – подача газа; 2 – электрод вольфрамовый;  
3 – сопло направляющее; 4 – подача газа с порошком; 5 – сопло формирующее  
поток; 6 – газ защитный; 7 – сопло защитное; 8 – линза газовая;  
9 – изделие; 10 – источник питания дуги;

Рисунок 1.9 — Схема плазменно-порошковой наплавки

Установлено, что наилучшее сопротивление от образования возможных трещин имеют стеллиты, за счет повышения содержания бора до одного процента [6]. Присутствие бора снижает температуру расплавления

кобальтовых добавок, обеспечивает получение более качественных присадочных порошков и обеспечивает хороший вид наплавленной поверхности. Проведенные испытания жаростойкости и коррозионной стойкости подобных сплавов не выявили существенной разницы в характере окисления кобальтовых стеллитов с бором и без него. В результате исследований путем наплавки поверхностей регулируемых химических устройств испытан порошок ПН-АН34 на основе кобальта. Установлено, что при наплавке этим порошком твердость валика повышается до 46-48 HRC [6].

Хороший результат получен, при нанесении порошка типа ПН-АН34 плазмой ремонтируемых деталей задвижек больших размеров, используемых для изменения потоков химических сред с высокими коррозионными свойствами и при температуре до 630°C. Опыт эксплуатации восстановленных задвижек показал их работоспособность повышается, а износ задвижек, наплавленных порошком ПН-АН34, на 20-30% снижается по сравнению с наплавленными сплавом стеллит [7].

Преимуществами плазменно-порошковой наплавки являются малые деформации наплавленной детали, минимальный запас на последующую механическую обработку, требуется мало порошка, получается валик с гладкой внешней поверхностью, минимальное перемешивание верхнего слоя в нижний, что дает возможность получить различные характеристики покрытия, а при высокой плотности энергии и концентрации мощности получается малая зона теплового воздействия.

Однако данный вид наплавки имеет свои недостатки, во-первых повышено сложную технологию, высокую стоимость оборудования и материалов, требуется специалист с высокой квалификацией.

Известен и возможен способ наплавки с помощью порошковой проволоки [8]. Порошковая проволока представляет собой металлическую оболочку, заполненную порошкообразными веществами по применению подобные покрытия на штучных электродах. Сварочный ток подается через металлическую оболочку в виде трубки, расплавляя ее и порошок. Плавление происходит за счет тепла излучаемого от дуги и тепла передачи от

расплавляющегося металла оболочки. Это приводит к засорению сварочной ванны неметаллическими включениями, что требует тщательной зачистки.

Обычно порошковые проволоки подаются к месту сварки полуавтоматами. Этот способ позволяет производить наблюдение за образованием наплавленного слоя. Образование на поверхности сварочной ванны шлака, аналогичного от штучного электрода, появляется возможность затекание. При многослойной наплавке нижний слой надо зачищать от шлака.

Однако сварка и наплавка порошковыми проволоками (рис. 1.21) имеет свои недостатки. Применяемая порошковая проволока имеет малую жесткость, что повышает и усложняет процесс настройки механизма и требует применения подающих роликов с малым усилием прижатия. Серийный выпуск отечественных порошковых проволоки в основном диаметром 2,6 мм и более, требует повышенных сварочных токов для обеспечения устойчивого горения дуги, что позволяет применять их для сварки обычно в нижнем и редко в вертикальном положении из-за большого объема расплавленного металла.

Образование на поверхности сварочной ванны шлака, от расплавления порошка, снижает скорость кристаллизации расплавленного металла, а также ухудшает условия формирования шва в вертикальном или потолочном положении.

Существенный недостаток порошковых проволок, состоит в повышенной вероятности образования газовых пор, образуемых за счет пустоты в проволоке.



Рисунок 1.21 – Схема сварки порошковой проволокой

Кроме того, возможно получение не расплавившихся частей сердечника, переходящих в сварочную ванну и способствующих появлению газообразных продуктов. При взаимодействии ферромарганца с мрамором происходит разложение мрамора, окисление и восстановление углерода и другие процессы, которые могут привести к образованию в металле сварочной ванны газовых пор. В результате этого в швах появляются внутренние и поверхностные поры. Кроме этого на образование пор оказывает влияние неправильная или не точная настройка параметров режима.

Вероятность образования пор повышается из-за влаги, попавшей в емкость при хранении проволоки, а кроме того, из-за случайного попадания смазки и ржавчины на поверхности металлической ленты. Порошковая проволока может использоваться и при сварке дополнительно с подачей углекислого газа. С повышением надежности защиты, возможность создания пор снижается. Сварка или наплавка порошковой проволокой осуществляется от сварочного выпрямителя с жесткой или пологопадающей характеристикой.

В результате проведенного анализа возможных способов наплавки следует, что наиболее целесообразно для восстановления лопатки является использовать плазменно-порошковую наплавку, так как она позволяет

повысить качество наплавленного слоя, а следовательно и срок эксплуатации лопатки.

Поэтому для достижения поставленной цели, повышение срока службы, в работе необходимо решить следующие задачи:

1. Предложить новый технологический процесс для восстановления лопаток турбокомпрессора наплавкой;
2. Разработать или выбрать наплавочное и вспомогательное оборудование для технологического процесса.

## 2 Технологический процесс ремонта лопаток турбокомпрессора

Разработка технологического процесса по ремонту лопаток турбокомпрессора начинается с транспортировки компрессора в ремонтный цех. После разборки компрессора и снятия диска (рис.1.5) производится замер изношенных поверхностей, для установления величины износа. Замер производится в нескольких точках штангенциркулем ШЦ-II-250 по ГОСТ 166-89 с точностью  $\pm 0,1$  мм.

После зажатия лопаток в тисках производят чистку поверхностей для ремонта при помощи механической щетки и шлифовальным кругом СМ-2 с зернистостью 63 единицы. Со скоростью вращения круга 6000 об/мин до чистоты поверхности  $Ra = 2,5$  мкм. Обезжиривание поверхности для удаления ржавчины, масла грязи и других возможных загрязнений производится ветошью смоченной в ацетоне по ГОСТ 2603-79 поверхность для ремонта и прилегающие участки по 10-15 мм в каждую сторону от места наплавки. Остатки масла или других загрязнений не допустимы. После обезжиривания производят сушку поверхности при помощи сжатого воздуха поступающего из общей заводской сети давлением 3 кгс/см.

Основное требование, которое следует соблюдать при восстановлении лопаток это обеспечить нужные размеры и не большую шероховатость восстанавливаемой поверхности, требуемую твердость, сплошность покрытия и прочность сцепления нанесенных слоев с основным металлом.

Для наплавки поверхностей лопаток, работающих в условиях гидроэрозии, агрессивных средах и при повышенных температурах (до  $600^{\circ}\text{C}$ ), предлагается производить наплавку порошком ПН-АН34 (ТУ167-77). По содержанию основных легирующих элементов этот порошок близок к пруткам Пр-ВЗК (ГОСТ 21449-75), но дополнительно легирован бором, который облегчает получение порошков из стеллитов, снижает температуру их плавления, а также способствует хорошему формированию наплавленных валиков. Бор оказывает также существенное влияние на свойства

наплавленного металла, таких как повышение твердости и износостойкости. В структуре наплавленного металла порошком ПН-АН34 по сравнению с наплавкой электродами, способствует стойкости против образования горячих трещин при наплавке, что значительно повышает качество наплавленного металла.

Химический состав порошка ПН-АН34 и твердость наплавленного металла представлен в таблице 2.1 [9].

Таблица 2.1 - Химический состав порошка ПН-АН34 ТУ167-77

Марка порошка	Содержание элементов в %							Твердость наплавленного металла, РНС
	C	Si	Cr	В	W	Co	Fe	
ПН-АН34	0,9-1,3	2,0-3.0	28-32	3,0-4,0	4,0-5,0	Основа	≤ 2	40 - 48

Размер гранул порошка для плазменной наплавке должны быть в пределах 200 ÷ 600 мкм. Мелкие гранулы приводят к повышенному окислению и частичному выгоранию. При использовании мелких частиц происходит засорение сопла плазмотрона [7], поэтому порошок следует просеивать через соответствующие сита и мелкие фракции не допускать.

В качестве плазмообразующего и транспортирующего (защитного) газа используем аргон высшего сорта по ГОСТ 10157-79. Аргон – инертный газ, без цвета и запаха. Не взаимодействует с расплавленным металлом, не горящий и не взрывоопасен.

Для плазменной наплавки на сталь 20Х13 следует применять неплавящийся электрод, выполненный из лантанированного вольфрама ЭВЛ с добавлением активирующей присадки-оксида лантана для повышения стойкости катода диаметром 4 мм. Чистый вольфрам в качестве электрода применять нецелесообразно, так как он обладает сравнительно высоким значением работы выхода электронов, и для получения требуемой величины электродной эмиссии такой катод необходимо нагревать до высоких температур, что нередко является причиной его разрушения.

Перед наплавкой лопатки подогреваются в печи до температуры 250-300°С. После чего нагретые лопатки подвергают плазменной наплавке.

Плазменная наплавка происходит путем нанесения материала покрытия подаваемого плазменной струей, воздействующей на деталь, включенную в цепь. От воздействия плазменной струи происходит нагрев восстанавливаемой поверхности восстанавливаемой детали и наносимый материал. При плазменной наплавке электрическая дуга сжимается потоком плазмообразующего газа и стенками водоохлаждаемого сопла. Инертный газ, подаваемый в дугу, приобретает свойства плазмы т.е. становится сильно ионизированный и электропроводным. В качестве плазмообразующего газа рекомендовано применять аргон.

При плазменной наплавке можно получить покрытия толщиной от 0,2 до 6,5 мм и шириной от 1,2 до 45 мм, с перекрытием валиков на  $\frac{1}{2}$  -  $\frac{1}{3}$  от ширины.

Наплавку осуществлять на прямой полярности. Установить заданный режим наплавки: ток 180-200А, напряжение 20-22В. Для получения швов стойких к межкристаллитной коррозии, сварку нужно производить на минимальном токе и лучше тонким слоем, а при необходимости в несколько проходов. Для восстановления лопаток, как правило, достаточно бывает одного слоя толщиной до 3 мм. К плазмотрону следует подвести охлаждаемую воду с расходом не менее 4 л/мин, к плазмотрону - плазмообразующий газ аргон с расходом 12-15л/мин. Провести подачу электрической энергии (от источника питания) между вольфрамовым электродом и внутренним соплом плазмотрона, далее при помощи осциллятора возбуждается дежурная сжатая дуга. Затем из порошкового питателя транспортирующего аргон через защитное сопло горелки на поверхность лопатки подается наплавочный порошок ПН-АН34. Одновременно с пульта управления через балластный реостат подводится ток к лопатке при помощи токосъемника и включается механизм поперечных колебаний плазмотрона, и между электропроводной плазменной струей и поверхностью лопатки возникает сжатая дуга, которая расплавляет

одновременно поверхность лопатки и наплавочный порошок, образуя плотные слои высокого качества.

После наплавки требуемой поверхности, производят очистку поверхности от шлака. Потом производится средний отпуск на следующих режим обработки: нагрев в электрической печи СН 3А-5,0.10. 3,2/10 до  $T = 400$  °С и выдержка в течении 1,5 часов. Отклонение температуры не более  $\pm 50$ °С. Затем происходит медленное охлаждение в печи до полного охлаждения без резких охлаждений. Отпуск используется для снятия внутреннего напряжения изделия.

После охлаждения производят механическую обработку шлифованием лопатки методом выглаживания. Обработку производить шлифовальным кругом марки СМ-2 ГОСТ 2424-83 с зернистостью 40 типа ПП – прямой профиль. Скорость вращения круга 6000 об/мин. Для охлаждения использовать 5%-ую эмульсию из эмульсона с расходом 0,8 л/мин. Чистота поверхности после шлифования  $Ra 2,5\mu m$  (рис.2.2).

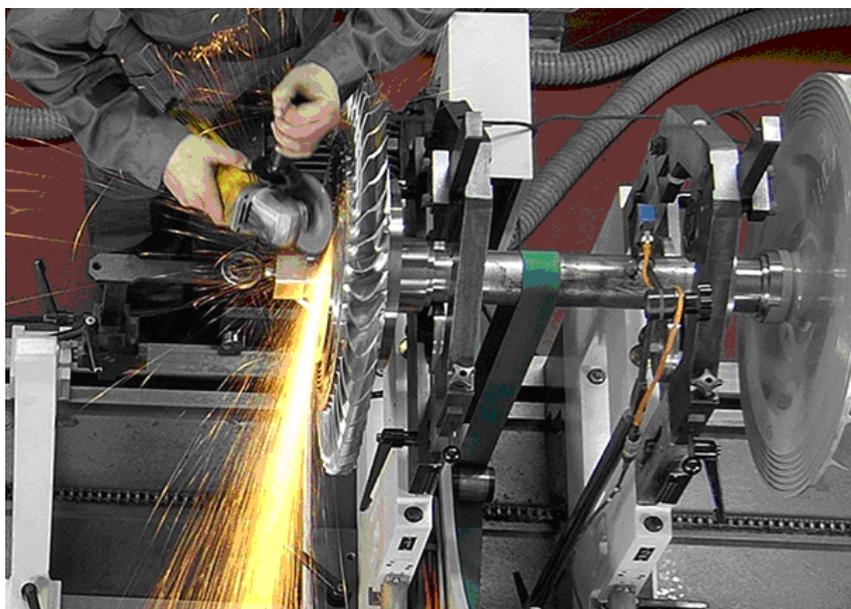


Рисунок 2.2- Шлифовка лопаток

Периодический контроль поверхности производится шаблоном. Выборочный контроль толщины лопатки производится микрометром МК по ГОСТ 6507-90 и штангенциркулем в нескольких точках с шагом 20-25 мм. Для выявления под поверхностных дефектов используют дефектоскопический

набор ДН-2Ц и лупу. Отклонения размеров не должно превышать 0,1 мм. Трещины не допустимы.

После восстановления всех лопаток производится их установка в диск и последующая сборка в компрессор.

### 3 Оборудование для восстановления лопатки турбокомпрессора

#### 3.1 Источник питания для плазменной наплавки



Рисунок 3.1 — Источник питания PSI 350 plus

Для наплавки лопаток может быть использован сварочный инвертор PSI 350 plus предназначенный для плазменно-порошковой наплавки [12]. Внутри корпуса PSI 350 plus находится инвертор и блок охлаждения. В источнике применено электронное регулирование расхода газа, бесступенчато регулируемые сварочные параметры по заранее составленным программам. Такая комплектация делает источник устройством, подходящим для нанесения покрытий по сложным траекториям типа лопаток.

Поэтому источники типа PSI 350 plus применяют для наплавки твердосплавных компонентов на различные детали типа клапанов в автомобильных двигателях, а также для ремонта активных и пассивных валиков в транспортерах. Защита от возможного износа и коррозии осуществляется, за

счет однослойного покрытия толщиной до 3 мм. При этом источник обеспечивает высокую скорость сварки или наплавки, при малом тепловом воздействии на изделие с низкими потерями порошка. Высокие технические показатели и экономия порошка при наплавке отличает этот источник тока. Встроенная система плавного управления в PSI 350 plus с программируемым контроллером, позволяет применять его в автоматизированные сварочные системы с использованием роботов.

Таблица 3.1 — Технические параметры источника питания

Источник питания	PSI 350 plus
Диапазон регулирования сварочного тока, А	15 — 600
Размеры (длина x ширина x высота), мм	1020 x 750 x 1130
Масса, кг	185

### 3.2 Установка для наплавки

В результате проведенного анализа известных установок для наплавки, можно сделать вывод, что для наплавки лопаток можно использовать установку типа У-877, предназначенную для автоматической электродугую наплавки. Её применение позволит повысить качество наплавляемых деталей, и одновременно увеличивается производительность труда и улучшаются условия труда сварщика, а также снижается трудоёмкость.

Установка У-877 предназначена для последовательной наплавки нескольких деталей и показана на рисунке 3.2. Наплавка производится только при постоянном токе обратной полярности. Установка представляет собой устройство, состоящее из круглого вращающегося стола с закрепленной над ним сварочной головкой. По краям поворотного стола закреплены пять водоохлаждаемых кокилей расположенных равномерно с разделением через 72°, в которых зажаты наплавляемые детали. При необходимости к наплавляемым деталям может производиться подвод холодной воды для их

охлаждения, а отвод нагретой производится через неповоротную часть стола про помощи уплотнений.

Таблица 3.2 - Технические характеристики установки У-877

Наименование технических параметров, ед.	Величина
Ток наплавки, А	До 1500
Напряжение сварочное, В	32-39
Скорость подачи проволоки, м/час	120-200
Шаг наплавки, мм	14-20
Высота подъема сварочной головки, мм	300
Шаг величины перемещения электрода, мм	200
Расход воды, л/мин	3-4
Производительность, шт/смену	До 125
Габаритные размеры, мм	2056x1200x1400



Рисунок 3.2 – Установка У-877

### 3.3 Машина для зачистки

Для зачистки лопаток до наплавки и после наплавки можно применять угловую шлифовальную машину типа BOSCH GWS 20-230H (рис. 3.3).



Рисунок 3.3- Угловая шлифовальная машина BOSCH GWS 20-230H

Техническая характеристика приведена на рис.3.3

Таблица 3.9-Техническая характеристика угловой шлифовальной машины BOSCH GWS 20-230H

Наименование параметров	Величина
Тип машины	угловая
Потребляемая мощность, Вт	2000
Число оборотов, об/мин	6500
Максимальный диаметр диска, мм	230
Вес, кг	4,2
Резьба шпинделя	M14
Регулировка частоты вращения	есть

### 3.4 Оборудование для контроля

В процессе производства работ персоналом организации-производителя работ должен осуществляться операционный контроль технологических процессов подготовки поверхности деталей под наплавку, самого процесса наплавки и контроль исправленной поверхности, т.е. наплавленных слоёв.

К контролю сварных соединений физическими методами допускаются специалисты, прошедшие специальную теоретическую подготовку, практическое обучение и аттестацию в соответствии с Правилами аттестации персонала в области неразрушающего контроля (ПБ 03-440-02) [10].

Существует большое разнообразие физических методов неразрушающего контроля качества сварных соединений и наплавленных поверхностей, ассортимент сварных изделий и наплавленных поверхностей определяют необходимость в выборе средств контроля для получения наибольшей технико-экономической выгоды от их применения [13].

Основными видами неразрушающего контроля металла, сварных соединений и наплавленного слоя являются: визуальный и измерительный; радиографический; ультразвуковой; измерение твердости; капиллярный контроль; магнитопорошковый контроль.

Выбор метода контроля определяется конструктивными особенностями изделия, физическими свойствами контролируемого материала, техническими требованиями изготовления изделия [14].

Визуальный и измерительный контроль.

Визуальному и измерительному контролю подлежат все сварные соединения сосудов и их элементов в целях выявления в них следующих дефектов:

- трещин всех видов и направлений;
- свищей и пористости наружной поверхности шва;
- подрезов;
- наплывов, прожогов, незаплавленных кратеров;

- смещения и совместного увода кромок свариваемых элементов свыше норм, предусмотренных правилами;
- непрямолинейность соединяемых элементов;
- несоответствие формы и размеров швов требованиям технической документации.

Перед визуальным контролем восстановленная поверхность наплавленного слоя, сварного шва или наплавленного слоя, а так же прилегающие к нему участки основного металла шириной не менее 20 мм в обе стороны должны быть зачищены от шлака и других загрязнений.

Визуально осматривают и измеряют состояние наплавленного слоя и сварных соединений должны производиться с наружной и внутренней сторон по всей протяженности швов [15].

Самые явные дефекты конструкций и материалов устанавливаются визуальным контролем. Внешний осмотр исследуемого объекта на предмет дефектов производится, как с применением оптических средств, так и без них.

Осмотр и измерения наплавленного слоя должны производиться по всей поверхности наплавки. Внешний визуальный осмотр наплавленной поверхности является обязательной операцией технологического процесса контроля.

Перед наплавкой контролю подлежит: качество и состояние, поверхности, качество подготовки поверхности под наплавку.

В процессе наплавки контролю подлежат: технологические параметры процесса наплавки, порядок наложения слоев наплавленного металла, толщина и ширина валика наплавленного металла, качество послойной зачистки шлака, температура детали и окружающего воздуха.

После наплавки контролю подлежат: геометрические размеры изделия, размеры выполненного наплавленного металла, наличие и размеры поверхностных дефектов в наплавленном металле.

Для визуального и измерительного контроля понадобится подобранный комплект (рис. 3.4).



Рисунок 3.4- Набор для визуального контроля

Визуальный и измерительный контроль является первым и самым простым методом, позволяющим получить много информации. Это метод неразрушающего контроля является единственным, который выполняется без каких либо сложных приборов и проводится с использованием простейших измерительных инструментов. С помощью устройств можно определить следующие дефекты: наплывы, подрезы, прожоги, трещины, не заваренные кратеры, поверхностные поры, свищи и смещения кромок. Недостатком можно считать низкую вероятность обнаружения мелких поверхностных дефектов и зависимость от квалификации контролера, а также от остроты его зрения, усталости, опыта работы и условий контроля (освещенность, оптический контраст и др.).

Однако малая трудоемкость и достаточная информативность визуального и измерительного контроля делают его обязательным и перед выполнением других неразрушающих методов контроля. Какими бы уникальными не были методы последующего контроля, всегда контроль начинается с визуального осмотра. Осмотр выполняется на расстоянии глаз не более 250 мм различают детали размером  $\sim 0,15$  мм. Однако при осмотре недостаточно освещенных, удаленных и движущихся изделий возможности глаза ограничены [17].

Радиографический и ультразвуковой методы контроля выбирается исходя из возможности обеспечения более полного и точного выявления

недопустимых дефектов с учетом особенностей физических свойств металла, а также освоенности данного метода контроля для конкретного вида сварных соединений.

Для последующего контроля качества наплавки лопаток может применяться ультразвуковой контроль. При контроле наплавки должна контролироваться зона сплавления основного металла и наплавленного слоя, а также непосредственно наплавленный слой. Контроль можно производить как со стороны наплавленного слоя, так и с обратной стороны [16].

## 4 Безопасность и экология восстановления лопаток

### 4.1 Конструктивно-технологическая характеристика ремонта лопаток

В работе рассмотрены операции наплавки поверхности лопаток компрессора.

На химическом предприятии г. Тольятти ООО «Сибур» при изготовлении и получения этиленового холода с параметрами минус 100 °С до минус 70 °С используются различного рода компрессоры для создания повышенного давления. Все механизмы и детали компрессора во время работы подвержены воздействию различных токсичных микрочастиц, паров воды и химических элементов, которые возможны в воздухе в производственных условиях цеха. Поэтому существует проблема износа деталей, который происходит вследствие истирания от абразива, возможных ударных нагрузок от перекосов, эрозии и повышенных температур.

Составлена планировка ремонтного участка с оборудованием используемым в технологическом процессе. На данном участке расставлено оборудование для зачистки и наплавки лопаток. После осмотра лопатки подаются для зачистки, потом производится обезжиривание, а после сушки наплавляется изношенная поверхность. После механической обработки поверхности лопаток до нужного размера, шаблоном и микрометром контролируют восстановленную поверхность.

Таблица 4.1 - Технологический паспорт объекта

№ п/п	Операция	Технологическая операция, вид выполняемых работ	Наименование должности работника, выполняющего технологический процесс, операцию	Оборудование, техническое устройство, приспособление	Материалы, вещества
1	Подготовка поверхности	Механическая зачистка дефектов	Слесарь инструмента льщик	Зачистная машинка	-
2	Обезжиривание	Удаление ржавчины, масла	Слесарь инструмента льщик	Ванна	Ветошь, СОЖ, перчатки
3	Наплавка лопатки	Восстановление поверхности	Сварщик	Установка У- 877	Сварочная проволока, маска
4	Термообработка	Отпуск металла	Термист	Печь	Термометр
5	Шлифовка	Выравнивание поверхности лопатки	Шлифовщик	Зачистная машинка	Круг зачистной, перчатки
6	Контроль	Визуальный и измерительный контроль	Контролер	Шаблон, микрометр	-

## 4.2 Сравнение профессиональных опасностей

Многие изделия в результате длительного использования подвергаются износу и требуют ремонта или замены. Чаще всего ремонт обходится дешевле, поэтому производится наплавка, которая является основной операцией технологического процесса во многих производствах. Во время проведения наплавки или во время подготовительных операций возможно получение различных травм. Во время ремонта лопаток компрессора возможно, нанесение травм глаз, рук, ног. Это происходит при нарушении правил техники безопасности. В случае плохой защиты частей тела от воздействия горячих и острых частиц обточенного металла или абразива. При контакте частей тела с нагретым металлом может привести к его ожогам. В процессе наплавки может происходить разбрызгивание металла, что может привести к возгоранию горючих материалов или попадания на не защищенные участка тела или в глаз работника. Поэтому работник может получить ожоги кожи и глаз.

При дуговой наплавке лопаток возможна опасность светового излучения глаз от сварочной дуги. Для этого применяются различные средства защиты: спецодежду, защитную сварочную маску, перчатки. При наплавке можно получить отравление от газов и пыли, образующихся при расплавлении основного и присадочного металла, которые оказывают на органы человека токсическое действие.

Таблица 4.2 – Сравнение профессиональных рисков

№п /п	Выполняемая по технологии операция	Опасность и вредность при выполнении определенной технологической операции	Источник опасного и / или вредного производственного фактора
1	2	3	4

Продолжение таблицы 4.2

1	2	3	4
1	Подготовка поверхности	Попадание в глаза окалины, абразива металла	Счищенный металл и абразив
2	Обезжиривание	Попадание на кожу или в дыхательные органы ацетона	Пары или капли ацетона
3	Наплавка лопатки	Высокая температура при наплавке, яркий свет, пары металла	Сварочная дуга, расплавленный металл
4	Термообработка	Высокая температура	Нагретая печь и лопатка
5	Шлифовка	Попадание в глаза окалины, абразива металла	Счищенный металл и абразив
6	Контроль	Возможны порезы рук	Заусенцы, промасленные места

### 4.3 Способы и устройства средства снижения профессиональных рисков

Таблица 4.3 – Способы и устройства снижения воздействия опасных и вредных производственных факторов

№ п/п	Опасность и вредность при выполнении определенной технологической операции	Организационно-технические способы и технические устройства защиты, частичного снижения, полного устранения опасного и / или вредного производственного фактора	Средства индивидуальной защиты работника
1	Загрязнение рабочей зоны	Ежедневная уборка тисков и слесарного стола	Защитные очки, перчатки
2	Острые кромки, заусенцы на поверхности лопатки	Зачистка кромок и поверхности лопатки	Защитные очки, перчатки
3	Повышенная температура планки	Находится на безопасном расстоянии от горячих частей от печи и лопаток	Спец. одежда, перчатки
4	Яркость света от сварочной дуги	Не смотреть на открытую дугу, наличие защитной одежды	Сварочная маска

#### 4.4 Меры пожарной и техногенной безопасности при наплавке лопаток

Таблица 4.4 – Идентификация классов и опасных факторов пожара

№ п/п	Место расположения	Используемое оборудование	Класс пожара	Источник возникновения пожара	Сопутствующие проявления факторов пожара
1	Место сварки	Источники питания сварочной дуги	Е	Конвекционный поток, пламя брызги	Удаление высокого электрического напряжения от токопроводящих частей установки
2	Место сварки	Сварочная горелка	В	Источник теплового излучения, факел брызги	Образующиеся в процессе пожара отделенные элементы

Пожарная безопасность при наплавочных работах может быть обеспечена при соблюдении заданных параметров работы электрических установок и механического оборудования. Правильного соблюдения условий работы с материалами, которые могут стать источниками возгорания. Особенно следует

соблюдать температурный режим при работе с материалами контактирующими с горючими средами. Применяемые на участке наплавки лопаток различные технические средства предотвращения возникновения пожара приведены в таблице 5.5.

#### 4.5. Применяемые на участке сварки организационные мероприятия по обеспечению пожарной безопасности

Таблица 4.5 – Средства оснащения пожарной безопасности

Первостепенные устройства пожаротушения	Переносные установки пожаротушения	Стационарные установки пожаротушения	Средства пожарной автоматики	Пожарное оборудование
Бункер с песком, вода	Пожарная машина, огнетушитель	Пожарный кран	Огнетушитель	Краны пожарные, кнопка аварийной сигнализации

Таблица 4.6 – Организационные (организационно-технические) мероприятия по обеспечению пожарной безопасности

Опасная операция и применяемые устройства используемые в технологическом процессе	Название выполняемых организационных (организационно-технических) мероприятий	Обязательные условия по обеспечению пожарной безопасности
Сварка	Инструктаж рабочих правилам безопасности при пожаре, наглядная агитация и проведение учений пожарной безопасности	На рабочих местах необходимо иметь инвентарь, защитные экраны от разлета искр

Таблица 4.7 – Идентификация экологических факторов технического объекта

Наименование технической операции в производстве технологического процесса	Название технологического процесса, (производственного здания или сооружения по функциональному назначению, опасных операций, применяемого оборудования), источника дуги, транспортирующего устройства и т.п.	Негативное экологическое воздействие технического объекта на атмосферу (вредные и опасные выбросы в воздушную окружающую среду)	Негативное экологическое воздействие технического объекта на гидросферу (создающие сбросовые воды, подача воды из водозаборника)	Вредное действие технического объекта на литосферу (землю, траву, недра, создание отходов, снятие верхнего слоя почвы, выделение земель, удаление растительного покрова и т.д.)
Технология наплавки	Установка для наплавки У-877	Газообразные частицы, сажа	Вода не используется	Почва не загрязняется бытовым мусором

Таблица 4.8 – Предложенные организационно-технические мероприятия для уменьшения вредного антропогенного воздействия процесса и устройств на окружающую среду

Наименование рассматриваемого процесса	Наплавка лопаток компрессора
Предложения по уменьшению негативного антропогенного воздействия на атмосферу	Вентиляция
Предложения по уменьшению негативного антропогенного воздействия на гидросферу	Не используется
Предложения по уменьшению негативного антропогенного воздействия на литосферу	Установка дополнительных контейнеров для раздельного сбора металлолома с надписями

### Заключение по разделу

В разделе «Безопасность и экология технического объекта» были установлены опасности технологического процесса, рассмотрены технологические операции процесса, примененное в них оборудование, расходные вещества и материалы которые необходимы для наплавки лопаток компрессора. В результате выполненной работы можно сделать вывод, что использование стандартных средств обеспечивает безопасность и санитарию составленного ремонтного участка, которая обеспечивает безопасность работников выполняющих операции технологического процесса.

## 5. Экономическое обоснование

Таблица 5.1- Краткая характеристика сравниваемых вариантов

Базовый вариант	Проектный вариант
1	2
<p>Наплавка с применением покрытых электродов считается универсальным процессом, оборудование имеет малые габариты и может использоваться даже в монтажных условиях и удобно при ремонте и изготовлении изделий.</p> <p><u>Однако у неё такие недостатки:</u></p> <ul style="list-style-type: none"><li>-относительно низкая</li></ul> <p>Производительность из-за низкой скорости, особенно при ремонте больших изделий из толстого металла.</p>	<p>Наплавка в автоматическом режиме позволяет регулировать некоторые параметры автоматически, за счет различных датчиков. Управление параметрами можно производить с пульта на расстоянии. Такими основными параметрами сварки, как длина дуги и номинальная величина сварочного тока.</p> <p><u>Преимуществами автоматического способа наплавки:</u> в высокой производительности, минимальном количестве трудоемких операций в процессе, удаление сварщика от воздействия вредных излучений.</p> <p><u>К недостаткам</u> применения автоматического способа наплавки считается повышенная стоимость сварочного и регулирующего оборудования.</p>

Продолжение таблицы 5.1

1	2
<p>-малая скорость наплавки из-за постоянно требующей замены электродов, что</p> <p>Снижает производительность наплавки электродами. Качество наплавки часто зависит от квалификации и состояния сварщика.</p> <p>Вредное воздействие тепла, света, паров расплавленного металла.</p>	

Таблица 5.2 - Вводные сведения для расчета

№	Перечень показателей, ед. изм.	Символ показателя	Базовый вариант	Проектный вариант
1	2	3	4	5
1.	Потребность основного материала, кг	$H_M$	8	8
2.	Коэффициент транспортно-заготовительных расходов	$K_{ТЗ}$	1,2	1,2
3.	Коэффициент доплат к основной зарплате	$K_d$	1,6	1,6
4.	Повышение на дополнительную зарплату, %	$K_{доп.}$	10	10
5.	Стоимость устройств, руб.	$Ц_{об.}$	65 000	890 000

Продолжение таблицы 5.2				
1	2	3	4	5
6.	Доплата на амортизационные отчисления, %	$H_a$	18	18
7	Мощность устройств, кВт	$M_o$	6,2	4,6
8.	Полезная доля устройств	КПД	0,78	0,87
9.	Стоимость электричества, руб/кВт	$\Pi_{ээ}$	2,5	2,5
10.	Цена 1 кг порошковой проволоки ПП-АН-170 (диаметр 3,2мм), руб.	$\Pi_{эл.пр}$	-	416
11.	Цена 1кг электродов Т-620 Ø5мм	$\Pi_{эл.}$	104,47	-
12.	Разряд сварщика	$P$	5	2
13.	Тариф сварщика	$Cч$	82,45	60,29

### 5.1 Расчёт штучного времени

$$t_{шт} = t_o + t_b + t_{отл} + t_{обсл} + t_{н.п.} \quad (5.1)$$

Трудоемкость пяти технологических операций, предусмотренных технологическим процессом по подготовке, наплавке и контролю лопаток двумя способами.

Таблица 5.3- Трудоемкости по базовому процессу

Операции	$t_o$ (ч)	$t_b$ (ч)	$t_{отл.}$ (ч)	$t_{обсл.}$ (ч)	$t_{н.п.}$ (ч)	$t_{шт}$ (ч)
Заготовительная	0,074	0,011	0,004	0,006	0,03	0,133
Зачистка	0,02	0,003	0,001	0,001	0,03	0,033
Наплавочная	0,78	0,12	0,04	0,062	0,03	1,026
Зачистная	0,037	0,06	0,002	0,003	0,03	0,083
Контрольная	0,92	0,14	0,046	0,074	0,03	1,275
Итого:						2,55

Таблица 5.4- Трудоемкости по проектному процессу

Операции	$t_o$ (ч)	$t_B$ (ч)	$t_{отл.}$ (ч)	$t_{обсл.}$ (ч)	$t_{н.п.}$ (ч)	$t_{шт}$ (ч)
Зачистка	0,02	0,003	0,001	0,001	0,03	0,033
наплавочная	0,26	0,039	0,013	0,02	0,03	0,362
Зачистная	0,025	0,003	0,001	0,001	0,03	0,040
Контрольная	0,39	0,058	0,019	0,03	0,03	0,573
Итого:						1,0

Для ручной наплавки на одну лопатку  $t_o$  трудоемкость наплавки рассчитываем по технологическому процессу и рассчитывается по формулам:

$$t_{шт\ баз} = 1,026 \text{ часа.}$$

Для автоматического способа наплавки трудоемкость рассчитываем по формуле [19] :

$$t_{o\ проект} = \frac{60 \cdot L_{шва}}{V_c}, \quad (5.2)$$

где  $V_c$  – выбранная скорость наплавки, м/час;

$$t_{o\ проект} = \frac{60 \cdot 2,2}{8,3} = 0,26 \text{ часа,}$$

$$t_{шт\ проект} = 0,26 + 0,039 + 0,013 + 0,02 + 0,03 = 0,362 \text{ час.}$$

## 5.2 Выбор серийности производства

Так как годовая программа ремонта лопаток может достигать  $N_{пр} = 10000$  шт, следовательно такой тип производства относится к серийному [19].

### 5.3 Капитальные вложения в оборудование

5.3.1 Общие капитальные вложения в оборудование состоят из прямых и сопутствующих вложений:

$$K_{\text{общ}} = K_{\text{пр.}} + K_{\text{соп}} \quad (5.3)$$

$$K_{\text{общ баз}} = 179400 + 39000 = 218400 \text{руб}$$

$$K_{\text{общ проект}} = 863300 + 178\,000 = 1\,041\,300 \text{руб}$$

Прямые капитальные затраты в оборудование рассчитываются по формуле (5.3) для двух вариантов исходя из стоимости оборудования  $C_{\text{об}}$  и коэффициента загрузки  $k_z$ :

$$K_{\text{пр. баз}} = \sum C_{\text{об.}} * k_z \quad (5.4)$$

$$K_{\text{пр. баз}} = 3 * 65\,000 * 0,92 = 179\,400 \text{руб}$$

$$K_{\text{пр. проект}} = 890\,000 * 0,97 = 863\,300 \text{руб.}$$

Необходимое количество сварочного оборудования, рассчитываем с учетом годовой программы по формуле:

$$n_{\text{об.расчетн.}} = \frac{N_{\text{пр.}} \cdot t_{\text{шт}}}{\Phi_p} \quad (5.5)$$

$$n_{\text{об. баз.}} = \frac{10000 * 1,026}{3714} = 2,76$$

$$n_{\text{об. проект.}} = \frac{10000 * 0,362}{3714} = 0,97$$

$$n_{\text{об. баз. прин.}} = 3$$

$$n_{\text{об. проект. прин.}} = 1$$

где:  $N_{\text{пр}}$  - количество наплавляемых лопаток, шт.;

$t_{\text{шт}}$  - время ремонта каждой лопатки, мин.;

$\Phi_p$  - время работы включенных устройств, час.

Время загрузки устройств в рабочем режиме рассчитывается по формуле:

$$k_3 = \frac{n_{\text{об.расчетн.}}}{n_{\text{об.принят.}}} \quad (5.6)$$

$$k_{3 \text{ баз.}} = \frac{2,76}{3} = 0,92$$

$$k_{3 \text{ проект.}} = \frac{0,97}{1} = 0,97$$

Работа устройств в течение года рассчитывается по формуле:

$$\Phi_p = (D_K - D_{\text{вых.}} - D_{\text{пр}}) * T_{\text{см}} * S * (1 - k_{\text{р.п.}}) \quad (5.7)$$

$$\Phi_p = (365 - 118) * 8 * 2 * (1 - 0.06) = 3714$$

$$K_{\text{монт.}} = \sum C_{\text{об.}} * k_{\text{монт.}} \quad (5.8)$$

$$K_{\text{дем.баз}} = 3 * 65\,000 * 0,2 = 39\,000 \text{руб}$$

$$K_{\text{монт.проект}} = 890\,000 * 0,2 = 178\,000 \text{руб}$$

При расчете учитывается стоимость работ при подключении нового оборудования  $K_{\text{монт.}}$ , на разборку базового оборудования  $K_{\text{дем.}}$  и коэффициенты монтажа  $k_{\text{монт.}}$  и демонтажа  $k_{\text{дем.}}$  равные 0,2.

Так как дополнительных площадей не требуется, то получается экономия.

### 5.3.2 Удельные капитальные вложения в оборудование

Вложения рассчитываются по годовой программе ремонта:

$$K_{\text{уд}} = \frac{K_{\text{общ.}}}{N_{\text{пр}}} \quad (5.9)$$

$$K_{\text{уд баз}} = \frac{218400}{10000} = 21,8 \text{руб.}$$

$$K_{\text{уд проект}} = \frac{1041300}{10000} = 104,1 \text{руб.}$$

## 5.4 Расчёт себестоимости исходного и предложенного способа

### 5.4.1. Затраты на материалы

Затраты на материалы по каждому варианту состоят из основных и вспомогательных, а их расход рассчитываем по чертежам и технологическим картам:

$$ЗМ = ЗМ_{\text{основн.}} + ЗМ_{\text{вспомог.}} \quad (5.10)$$

$$ЗМ_{\text{баз}} = 227 + 396,98 = 623,9 \text{руб.}$$

$$ЗМ_{\text{проект}} = 227 + 1114,88 = 1341,8 \text{руб.}$$

#### 5.4.1.1 Затраты на основной материал:

Расчет на основные материалы производим исходя из потребления материала на одно изделие  $N_M$  и цены одного кг материала  $Ц_M$ , с учетом коэффициент транспортно-заготовительных расходов  $k_{\text{т.з.}}$ :

$$ЗМ_{\text{основн.}} = N_M * Ц_M * k_{\text{т.з.}} \quad (5.11)$$

$$ЗМ_{\text{основн. баз. и проект}} = 8 * 31 * 1,12 = 227 \text{руб.}$$

#### 5.4.1.2. Затраты на вспомогательный материал:

К вспомогательным материалам при наплавке относятся плавящиеся электроды или проволока с учетом соответствующей цены  $Ц_{\text{эл}}$  руб/кг:

$$З_{\text{эл}} = N_{\text{св.мат.}} * Ц_{\text{эл}} \quad (5.12)$$

Потребность в электродах  $N_{\text{св.мат.}}$ , т.е. сварочных материалов на каждую лопатку выбираем из расчета указанного в технологической карте:

$$З_{\text{эл баз}} = 3,8 * 104,47 = 396,98 \text{руб}$$

$$З_{\text{эл проект}} = 2,68 * 416 = 1114,88 \text{руб.}$$

#### 5.4.2. Затраты на технологическую энергию

$$З_{\text{эл. эн.}} = \frac{P_{\text{об.}} \cdot t_o}{\eta \cdot 60} Ц_{\text{эл. эн}} \quad (5.13)$$

$$З_{\text{эл. эн. баз}} = \frac{6,2 * 61,56}{0,78 * 60} 2,69 = 21,94 \text{руб.}$$

$$Z_{\text{эл. эн. проект}} = \frac{4,6 * 15,6}{0,85 * 60} 2,69 = 3,78 \text{руб.}$$

где  $P_{\text{об}} = I_{\text{св}} * U_{\text{д}}$  - электрическая потребность устройств, кВА

$$P_{\text{об баз}} = 220 * 28 = 6200 \text{ВА} = 6,2 \text{кВА}$$

$$P_{\text{об проект}} = 144 * 32 = 4608 \text{ВА} = 4,6 \text{кВА}$$

$C_{\text{эл. эн}}$  - цена одного Квт\*ч электричества на данном заводе, руб.

$t_o$  - время затраченное на наплавку каждой лопатки, мин,

$\eta$  - к.п.д. сварочной установки = 0,85.

5.4.3 Затраты на обслуживание стандартного и не стандартного оборудования, прижимов, горелок и производственных площадей

5.4.3.1. Затраты на содержание и эксплуатацию стандартного и нестандартного оборудования

$$Z_{\text{об}} = A_{\text{об}} + P_{\text{т}}, \quad (5.14)$$

$$Z_{\text{об баз}} = 9,6 + 16,9 = 26,5 \text{руб}$$

$$Z_{\text{об проект}} = 15,6 + 81,35 = 96,9 \text{руб.}$$

где:  $A_{\text{об}}$  - затраты на амортизацию и технический ремонт стандартного и нестандартного оборудования, руб.;

$P_{\text{т.р.}}$  - затраты на текущий ремонт оборудования, руб.

а) Затраты на амортизацию оборудования рассчитываются по формуле с учетом балансовой стоимости сварочного оборудования  $C_{\text{об}}$  и норм амортизационных отчислений на оборудование  $H_{\text{а об}}$ , %:

$$A_{\text{об.}} = \frac{C_{\text{об.}} \cdot H_{\text{а об.}} \cdot t_{\text{шт}}}{\Phi_p \cdot 100} \quad (5.15)$$

$$A_{\text{об. баз}} = \frac{3 * 65000 * 18 * 1,026}{3714 \cdot 100} = 9,6 \text{руб.}$$

$$A_{\text{об. проект}} = \frac{890000 * 18 * 0,362}{3714 \cdot 100} = 15,6 \text{руб.}$$

б) Затраты на текущий ремонт оборудования рассчитываем с учетом норм отчислений  $H_{\text{т.р.}}$  на текущий ремонт оборудования (обычно  $\approx 35\%$ ) по формуле:

$$P_{\text{т.р.}} = \frac{C_{\text{об.}} \cdot H_{\text{т.р.}} \cdot k_3}{100 \cdot \Phi_p} \quad (5.16)$$

$$P_{\text{т.р. баз}} = \frac{3 * 5000 * 35 * 0,92}{100 * 3714} = 16,9 \text{руб}$$

$$P_{\text{т.р. проект}} = \frac{90000 * 35 * 0,97}{100 * 3849} = 81,35 \text{руб}$$

5.4.3.2. Затраты на содержание и эксплуатацию приспособлений и рабочего инструмента определяем по двум вариантам с учетом норм амортизационных отчислений на приспособления  $N_{\text{а приспособ}} 12\%$ , цена приспособлений и срока службы приспособлений  $T_{\text{присп.}}$ :

$$Z_{\text{присп.}} = \frac{C_{\text{присп.}} \cdot N_{\text{а приспособ.}} \cdot t_{\text{шт}}}{T_{\text{присп.}} \cdot N_{\text{пр.}} \cdot 100} \quad (5.17)$$

$$Z_{\text{присп. баз}} = \frac{30000 * 12 * 1,026}{3 * 10000 * 100} = 0,123 \text{руб.}$$

$$Z_{\text{присп. проект}} = \frac{15000 * 12 * 0,362}{3 * 10000 * 100} = 0,021 \text{руб.}$$

$$Z_{\text{инстр.}} = \frac{C_{\text{инстр.}} \cdot N_{\text{а инстр.}} \cdot t_{\text{шт}}}{T_{\text{инстр.}} \cdot 100 \cdot \Phi_p} \quad (5.18)$$

$$Z_{\text{инстр. баз}} = \frac{15000 * 15 * 1,026}{5 * 100 * 3714} = 0,12 \text{руб.}$$

$$Z_{\text{инстр.}} = \frac{5000 * 15 * 0,362}{5 * 100 * 3714} = 0,01 \text{руб.}$$

где:  $C_{\text{инстр.}}$  - суммарная цена инструмента, руб.;

$N_{\text{а инстр.}}$  - норма амортизационных отчислений на инструмент 15%.

$T_{\text{инстр.}}$  - срок службы инструмента, лет.

5.4.3.3. Затраты на содержание и эксплуатацию производственных площадей:

$$Z_{\text{пл.}} = \frac{C_{\text{пл.}} \cdot S_{\text{пл.}} \cdot H_{\text{пл.}} \cdot t_{\text{шт}}}{100 \cdot \Phi_p \cdot 60} \quad (5.19)$$

Определяем по двум вариантам исходя из цены 1м<sup>2</sup> производственной площади  $C_{\text{пл.}}$ , норм амортизационных отчислений  $H_{\text{а пл.}}$  и занимаемой площади  $S_{\text{пл.}}$ :

$$Z_{\text{пл. баз}} = \frac{2500 \cdot 15 \cdot 2 \cdot 1,026}{100 \cdot 3714 \cdot 60} = 0,003 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{пл. проект}} = \frac{2500 \cdot 15 \cdot 2 \cdot 0,362}{100 \cdot 3714 \cdot 60} = 0,001 \text{ руб.}$$

#### 5.4.4 Затраты на заработную плату основных производственных рабочих с отчислениями на социальные нужды.

Фонд заработной платы (ФЗП) производственных рабочих состоит из основной ЗПЛ осн и дополнительной заработной платы ЗПЛ доп.

$$\text{ФЗП} = \text{ЗПЛ осн} + \text{ЗПЛ доп}, \quad (5.20)$$

$$\text{ФЗП баз} = 135,5 + 16,242 = 151,6 \text{ руб.}$$

$$\text{ФЗП проект} = 34,92 + 4,2 = 39,11 \text{ руб.}$$

Основная заработная плата ЗПЛ осн основных производственных рабочих определяется по формуле исходя из часовой тарифной ставки  $C_{\text{ч}}$ , времени наплавки одной лопатки  $t_{\text{шт}}$  и коэффициента доплат  $k_{\text{доп.}}$ :

$$\text{ЗПЛ осн} = C_{\text{ч}} \cdot t_{\text{шт}} \cdot k_{\text{доп.}} \quad (5.21)$$

$$\text{ЗПЛ осн. баз} = 82,45 \cdot 1,026 \cdot 1,6 = 135,35 \text{ руб}$$

$$\text{ЗПЛ осн. проект} = 60,29 \cdot 0,362 \cdot 1,6 = 34,92 \text{ руб.}$$

#### 5.4.4.2. Дополнительная заработная плата учитывает коэффициент $k_{\text{д}}$ доплат:

$$\text{ЗПЛ доп} = \frac{k_{\text{д}} \cdot \text{ЗПЛ осн.}}{100} \quad (5.22)$$

$$\text{ЗПЛ доп баз} = \frac{12 \cdot 135,35}{100} = 16,24 \text{ руб.}$$

$$\text{ЗПЛ доп проект} = \frac{12 \cdot 34,92}{100} = 4,2 \text{ руб.}$$

5.4.4.3. Отчисления на социальные нужды рассчитываются по формуле:

$$\text{Ос.н.} = \frac{36 \cdot (\text{ЗПЛ}_{\text{осн.}} + \text{ЗПЛ}_{\text{доп.}})}{100} \quad (5.23)$$

$$\text{Ос.н. баз} = \frac{36 \cdot (135,35 + 16,24)}{100} = 54,57 \text{ руб.}$$

$$\text{Ос.н. проект} = \frac{36 \cdot (34,92 + 4,2)}{100} = 14,08 \text{ руб.}$$

6.4.5 Технологическая себестоимость изделия:

$$C_{\text{тех}} = \text{ЗМ} + \text{З}_{\text{к.н.}} + \text{З}_{\text{п.ф.}} + \text{З}_{\text{эл. эн}} + \text{З}_{\text{об.}} + \text{З}_{\text{присп.}} + \text{З}_{\text{инстр.}} + \text{З}_{\text{плоч.}} + \text{ФЗТ} + \text{О}_{\text{с.н.}}; \quad (5.24)$$

$$C_{\text{тех баз}} = 623,9 + 21,94 + 26,5 + 0,123 + 0,12 + 0,003 + 151,6 + 54,57 = 878,75 \text{ руб.}$$

$$C_{\text{тех проект}} = 1341,8 + 3,78 + 96,9 + 0,021 + 0,01 + 0,001 + 39,11 + 14,08 = 1495,7 \text{ руб.}$$

5.4.6 Цеховая себестоимость наплавки лопатки:

$$C_{\text{цех}} = C_{\text{тех.}} + P_{\text{цех.}}, \quad (5.25)$$

$$C_{\text{цех баз}} = 878,75 + 270,7 = 1149,47 \text{ руб}$$

$$C_{\text{цех проект}} = 1495,7 + 69,84 = 1565,54 \text{ руб.}$$

где:  $P_{\text{цех}}$  - сумма общецеховых расходов.

$$P_{\text{цех}} = \text{ЗПЛ}_{\text{осн.}} \cdot k_{\text{цех.}} \quad (5.26)$$

$$P_{\text{цех баз}} = 135,35 \cdot 2,0 = 270,7 \text{ руб.}$$

$$P_{\text{цех проект}} = 34,92 \cdot 2 = 69,84 \text{ руб.}$$

где:  $k_{\text{цех.}}$  - коэффициент цеховых расходов,  $k_{\text{цех.}} = 2,0$ .

5.4.7. Заводская себестоимость наплавки лопатки по каждому варианту:

$$C_{\text{зав.}} = C_{\text{цех.}} + P_{\text{зав.}} \quad (5.27)$$

$$C_{\text{зав. баз}} = 1149,47 + 216,56 = 1366,03 \text{ руб.}$$

$$C_{\text{зав. проект}} = 1565,54 + 55,87 = 1621,41 \text{ руб.}$$

где:  $P_{\text{зав.}}$  - сумма общезаводских расходов.

$$P_{\text{зав.}} = 3\text{ПЛ}_{\text{осн.}} * k_{\text{зав.}} \quad (5.28)$$

$$P_{\text{зав. баз}} = 135,35 * 1,6 = 216,56 \text{ руб}$$

$$P_{\text{зав. проект}} = 34,92 * 1,6 = 55,87 \text{ руб.}$$

где:  $k_{\text{зав.}}$  - коэффициент заводских расходов,  $k_{\text{зав.}} = 1,6$ .

#### 5.4.8. Полная себестоимость изделия

$$C_{\text{полн.}} = C_{\text{зав.}} + P_{\text{вн.}} \quad (5.29)$$

$$C_{\text{полн. баз}} = 1366,03 + 68,3 = 1434,3 \text{ руб.}$$

$$C_{\text{полн проект}} = 1621,41 + 81 = 1702,48 \text{ руб.}$$

где:  $P_{\text{вн}}$  - сумма внепроизводственных расходов.

$$P_{\text{вн.}} = C_{\text{зав.}} * k_{\text{вн.}} \quad (5.30)$$

$$P_{\text{вн баз}} = 1366,03 * 0,05 = 68,3 \text{ руб.}$$

$$P_{\text{вн проект}} = 1621,41 * 0,05 = 81 \text{ руб.}$$

где:  $k_{\text{вн}}$  - коэффициент внепроизводственных расходов,  $k_{\text{вн.}} = 0,05$

Таблица 5.8- Калькуляция себестоимости наплавки лопатки

Статьи затрат	Базовый вариант	Проектный вариант
1. Материалы основные	227	227
2. Материалы вспомогательные	396,98	1114,88
4. Электроэнергия	21,94	3,78
5. Затраты на содержание и эксплуатацию оборудования	26,5	96,9
6. Затраты на содержание приспособлений и инструмента	0,243	0,022
7. Затраты на содержание занимаемой под оборудование площади	0,003	0,001
8. Основная заработная плата	135,35	34,92
9. Дополнительная заработная плата	16,24	4,2

10. Отчисления на социальное страхование	54,57	14,08
Технологическая себестоимость	878,75	1495,7
Цеховая себестоимость	1149,47	1565,54
Заводская себестоимость	1366,03	1621,41
Внепроизводственные расходы	68,3	81
Полная себестоимость	1434,3	1702,48

### 5.5 Расчёт экономической эффективности разрабатываемого проекта [19]

Прибыль ожидаемая за счет повышения долговечности лопатки.

Поскольку автоматическая наплавка порошком обеспечивает более высокое качество наплавленного слоя и увеличивается срок службы лопатки:

$$\text{Приб. ож.} = (C_{\text{полн. баз.}} * \frac{D_2}{D_1} - C_{\text{полн. проектн.}}) * N_{\text{пр.}} \quad (5.32)$$

$$\frac{D_2}{D_1} = \frac{800}{650} = 1,23$$

$$\text{Э у.г.} = \text{Приб. ож.} = (1434,3 * 1,23 - 1702,48) * 10000 = 617 090 \text{руб.}$$

где  $D_1$  и  $D_2$  – срок службы (долговечность) изделий соответственно по базовому и проектному вариантам.

$D_2$ - назначенный ресурс лопатки, наплавленного порошковой проволокой ПН-АН34 составляет 800 часов.

$D_1$ - назначенный ресурс лопатки, наплавленного электродами ОЗЛ-6, составляет 650 часов.

5.5.1 Годовой экономический эффект от внедрения предлагаемого оборудования (капитальных вложений) в производство.

$$\text{ЭГ} = [(C_{\text{завод. баз.}} + E_n * K_{\text{уд. баз.}}) * \frac{D_2}{D_1} - (C_{\text{завод. проект.}} + E_n * K_{\text{уд. проект.}})] * N_{\text{пр.}} \quad (5.33)$$

$$\text{ЭГ} = [(1366,03 + 0,33 * 21,8) * 1,23 - (1621,41 + 0,33 * 104,1)] * 10000 = 333000 \text{ руб.}$$

где:  $E_n$  – нормативный коэффициент сравнительной экономической эффективности, в сварочном производстве равен 0,33.

### 5.5.2 Срок окупаемости капитальных вложений в оборудование

$$T_{ок} = \frac{K_{общ}^{пр.}}{Приб.ож.} \quad (5.34)$$

$$T_{ок} = \frac{1041300}{617090} = 1,7 \text{ (года)}.$$

5.5.3 Коэффициент сравнительной экономической эффективности определяем по формуле:

$$E_{ср} = \frac{1}{T_{ок.}} \quad (5.35)$$

$$E_{ср} = \frac{1}{1,7} = 0,58$$

где:  $T_{ок}$  - срок окупаемости капитальных вложений оказался более 0.33, следовательно, техническое предложение целесообразно.

## 5.6 Расчет повышения производительности труда

### 5.6.1 Снижение трудоёмкости наплавки лопатки

Рассчитываем по формуле:

$$\Delta t_{шт.} = \frac{t_{шт.}^{баз.} - t_{шт.}^{проектн.}}{t_{шт.}^{баз.}} \cdot 100\% \quad (5.36)$$

$$\Delta t_{шт.} = \frac{1,026 - 0,362}{1,026} \cdot 100 = 64,7\%$$

Можно сделать вывод, что понижение трудоёмкости произойдет за счет увеличения наплавляемого за единицу времени металла и за счет снижения металла теряемого на разбрызгивание. А также происходит увеличение скорости наплавки.

### 5.6.2 Расчет производительности труда

Исходя из значения величины снижения трудоемкости изготовления изделия рассчитываем повышение производительности труда  $\Delta\Pi_T$ :

$$\Delta\Pi_T = \frac{100 * \Delta t_{шт.}}{100 - \Delta t_{шт.}} (\%) \quad (5.37)$$

$$\Delta\Pi_T = \frac{100 * 64,7}{100 - 64,7} = 183,3 (\%)$$

Таблица 5.9- Техничко-экономические показатели

Показатель	Условные обозначения	Единица измерения	Величина
Снижение трудоёмкости	$\Delta t_{шт}$	%	64,7
Повышение производительности труда	$\Delta\Pi_T$	%	183,3
Капитальные вложения	$K_{общ.}$	Руб	1041300
Повышение долговечности изделия	$\frac{D_2}{D_1}$	-	1,23
Ожидаемая прибыль	Приб.ож.	Руб	617090
Годовой экономический эффект от внедрения предлагаемого оборудования	Эг	руб	333000
Срок окупаемости вложений	$T_{ок}$	год	1,7

Вывод по экономическому разделу

1. Снижаются потери от разбрызгивания. Увеличивается количество наплавляемого металла в единицу времени.
2. Повышается качество наплавленного слоя т.к. в порошке добавлены компоненты, способствующие защите от окисления и образования не нужных примесей.
3. Уменьшается деформация лопатки, т.к. при наплавке порошком уменьшается зона теплового воздействия.
4. Наплавленный слой образуется ровнее, чем от электрода, поэтому снижаются затраты на механическую обработку.
5. Удаление сварщика на значительное расстояние улучшает условия его работы, что благоприятно воздействует на сохранение здоровья.
6. Автоматическая наплавка по сравнению с ручной снижает трудоёмкость и повышает ресурс работы лопатки.

## Заключение

Вывод: Таким образом, предложенный технологический процесс наплавки лопаток компрессора с применением автоматической плазменно-дуговой наплавки с применением порошка, улучшит условия работы сварщика и снизит трудоёмкость наплавки лопаток и повысит срок службы лопаток, что и являлось целью работы.

## Список использованных источников

1. Калекин В.С., Михайлец С.Н. Гидравлика и теплотехника: учебное пособие – ОмГТУ, 2007. — 320 с.
2. Бухарин Н. Н. Моделирование характеристик центробежных компрессоров.— Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1983.— 214с.
3. Холодильные компрессоры/ Быков А.В., и др. А.В. Быкова. – М.: Колос, 1992. -304с.
4. Шлипченко З. С. Насосы, компрессоры и вентиляторы. - Киев: «Техніка», 1976. - 368 с.
5. Сварка и резка металла. Под редакцией Казакова Ю.В. и др. Академия. М: 2000. 400с.
6. Сидоров А.И. Восстановление деталей машин напылением и наплавкой. – М.: Машиностроение, 1987. – 192 с.
7. Вайнерман А.Е. и др. Плазменная наплавка. – Л.: Машиностроение, 1969. -196с.
8. Потапьевский А.Г. Сварка в защитных газах плавящихся электродом. Учебное пособие. М.: Машиностроение. 1974 – 237 с.
9. Шехтер С.Я. и др. наплавка металлов. – М.:Машиностроение, 1982. – 71с.
10. Пантелеенко Ф.И., Леякин В.П., Иванов В.П., Константинов В.М. Восстановление деталей машин. Справочник под редакцией Иванова В.П. М.: Машиностроение.2003 – 672 с.
11. Козулин М.Г. Методические указания к курсовому проектированию. ТГУ, 2008, 96 с.
12. weldwire.narod.ru.
13. Фролов, К.В. Расчёт и конструирование машин. Оборудование для сварки. Т. IV-6 [Текст]/ Энциклопедия в сорока томах / К.В. Фролов, П.Н. Беянин, К.С. Колесников и др.; под общ. ред. Б.Е Патона. - Изд. 2-е, испр.- М.: Машиностроение, 2002.465с.; Уч.-изд.л.58,16.-1000 экз.- 5003.

14. Малышев, Б.Д. Сварка и резка в промышленном строительстве / Б. Д. Малышев, А. И. Акулов, Е. К. Алексеев и др.; под ред. Б.Д. Малышева. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Стройиздат, 1980. - 784 с.: ил. - (Справочник монтажника). - Библиогр.: с. 766-769. - Предм. указ.: 770-777.
15. Акулов, А.И. Сварка в машиностроении: справочник: в 4 т. Т. 2 / под ред. А.И. Акулова. - М.: Машиностроение, 1978. - 462 с. - Библиогр. в конце гл. - Предм. указ.: с. 454-462.
16. Выборнов Б.И. Ультразвуковая дефектоскопия. М.: Металлургия, 1985. с.256.
17. Троицкий, В.А. Неразрушающий контроль качества сварных конструкций [Текст] / В.А. Троицкий, В.П. Радько, В.Г. Демидко, В.Т. Бобров. Киев: Техніка, 1986. с.159.
18. Л.Н. Горина Безопасность и экологичность объекта дипломного проекта : учеб.-метод. Пособие по выполнению дипломного проекта/ сост. Л.Н. Горина [и др.]. – Тольятти : ТГУ, 2016. – 51с.
19. Краснопевцева, И.В. Методическое пособие по выполнению экономической части дипломного проекта производственно-технологического характера [Текст] / И.В. Краснопевцева.–Тольятти.: ТГУ. 2012. – с.2-17.
20. Егоров, А.Г. Правила оформления выпускных квалификационных работ для бакалавриата и специалитета: учебно-методич пособие по выполнению дипломного проекта [Текст] /А.Г. Егоров, Г.Н. Уполовникова, И.А. Живоглядова.- Тольятти.: ТГУ, 2011.- с.8-87.
21. Ю.В. Казаков. Сварка и резка материалов: Учебное пособие / М.Д. Банов, Ю.В. Казаков, М.Г. Козулин и др.; – М.: Издательский центр “Академия”, 2000 – 400 с. ISBN 5-7695-0695-4.
22. Ю.В.Казаков Преддипломная практика – Тольятти: ТГУ, 2007-13 с. Библиогр.: 2 назв.