

Министерство науки и высшего образования РФ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Курганский государственный университет»

На правах рукописи



Овсянников Виктор Евгеньевич

ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ
СТРОИТЕЛЬНО-ДОРОЖНЫХ МАШИН

Специальность

05.05.04 - Дорожные, строительные и подъемно- транспортные машины
05.02.07 - Технология и оборудование механической и физико-технической
обработки

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени
доктора технических наук

НАУЧНЫЙ КОНСУЛЬТАНТ:

доктор технических наук,
профессор Корчагин П.А.

Омск – 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ	16
1.1 Проблема обеспечения долговечности и надежности строитель- тельно-дорожных машин и их рабочего оборудования	16
1.2 Оценка долговечности рабочего оборудования строитель- но-дорожных машин	24
1.3 Обеспечение и повышение долговечности быстроизнаши- вающихся частей рабочего оборудования строитель-но-дорожных машин	29
1.4 Обеспечение и повышение долговечности силовых приводов и шарниров рабочего оборудования строитель-но-дорожных ма- шин	41
1.5 Выводы, цель, задачи и общая схема исследования	46
2 КОНЦЕПЦИЯ. МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ И ОБЩИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ	48
2.1 Концепция повышения надежности рабочего оборудования строительно-дорожных машин	48
2.2 Методологические основы повышения долговечности дета- лей рабочего оборудования строитель-но-дорожных машин	50
2.2.1 Комплексный технико-экономический анализ существующих методов повышения долговечности	50
2.2.2 Теоретическое обоснование метода повышения долговечно- сти	56
2.3 Комплексный технико-экономический анализ существующих методов ремонта и восстановления деталей рабочего оборудова- ния строитель-но-дорожных машин	61
2.4 Общие теоретические исследования текстуры профиля шероховатости поверхностей деталей с упрочненным слоем	65

2.5 Выводы по главе 2	75
3 РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ДОЛГОВЕЧНОСТИ РАБОЧИХ ОРГАНОВ СТРОИТЕЛЬНО-ДОРОЖНЫХ МАШИН	77
3.1 Анализ факторов, влияющих на долговечность рабочих органов строительно-дорожных машин	77
3.2 Разработка модели прогнозирования долговечности рабочих органов строительно-дорожных машин	99
3.3 Выводы по главе 3	102
4 РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПОВЕРХНОСТНОГО УПРОЧНЕНИЯ	103
4.1 Теоретические исследования по определению условий термической обработки деталей с диффузионным слоем	103
4.1.1 Рабочая гипотеза при определении условий термической обработки после термодиффузионного легирования деталей из серого чугуна	103
4.1.2 Выбор среды нагрева для закалки деталей	105
4.1.3 Определение времени нагрева под закалку	109
4.2 Экспериментальные исследования свойств упрочненного слоя деталей строительно-дорожных машин	114
4.2.1 Методика экспериментальных исследований	114
4.2.2 Материалы, оборудование и методы исследования	115
4.2.3 Результаты экспериментальных исследований и их анализ	119
4.3 Экспериментальные исследования закономерностей влияния технологических режимов на толщину упрочненного и дефектного слоев на поверхности деталей	124
4.3.1 Методика экспериментальных исследований	124
4.3.2 Экспериментальные исследования зависимости толщины упрочненного слоя от технологических режимов	125
4.3.3 Экспериментальные исследования зависимости толщины дефектного слоя от режимов упрочнения	129

4.3.4 Экспериментальные исследования прочности материала детали после упрочнения	131
4.4 Экспериментальное исследование долговечности рабочих органов строительно-дорожных машин с упрочненным слоем	137
4.5 Выводы по главе 4	139
5 ПРИКЛАДНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ РАБОЧИХ ОРГАНОВ СТРОИТЕЛЬНО-ДОРОЖНЫХ МАШИН С УПРОЧНЕННЫМ СЛОЕМ	140
5.1 Методика расчетного определения долговечности рабочих органов строительно-дорожных машин с упрочненным слоем	140
5.1.1 Рабочая гипотеза при определении долговечности быстроизнашивающихся частей строительно-дорожных машин	140
5.1.2 Расчетное определение долговечности рабочих органов строительно-дорожных машин, содержащих элементы с упрочненным слоем	141
5.2 Выводы по главе 5	147
6 ПРИКЛАДНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОВЫШЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ШАРНИРОВ РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ	149
6.1 Расчетное определение долговечности шарниров рабочего оборудования	149
6.2 Исследования по разработке решений в области контроля износа режущего инструмента при обработке деталей с упрочненным слоем	151
6.2.1 Методика исследований	151
6.2.2 Используемое оборудование и программное обеспечение	151
6.2.3 Исследование зависимости параметров вибросигнала от износа инструмента	154
6.2.4 Экспериментальные исследования по выбору параметров для оценки износа инструмента	158

6.2.5 Разработка устройства для контроля износа инструмента	161
6.3 Методика проектирования операций изготовления и ремонта деталей строительно-дорожных машин	164
6.3.1 Рабочая гипотеза при проектировании операций изготовления и ремонта деталей рабочего оборудования строительно-дорожных машин	165
6.3.2 Расчетное определение наработки до отказа	165
6.3.3 Разработка методики проектирования операций изготовления и ремонта деталей строительно-дорожных машин	168
6.4 Выводы по главе 6	170
7 ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ	172
7.1 Испытания накладок на рабочие органы строительно-дорожных машин после упрочнения	172
7.2 Оценка рисков выхода из строя рабочих органов строительно-дорожных машин	180
7.3 Экономическая оценка полученных результатов	186
ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	191
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	194
ПРИЛОЖЕНИЯ	210

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Эффективность эксплуатации строительно-дорожных машин определяется, в первую очередь, уровнем их надежности, который закладывается при проектировании изделия, обеспечивается при изготовлении, проявляется и поддерживается в эксплуатации. Общепринято понимать надежность как свойство изделия сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, ремонта, хранения и транспортировки. При этом параметры качества исполнительных поверхностей деталей наравне с конструкцией машин, качеством их сборки, режимом эксплуатации, другими аспектами оказывают существенное влияние на многие показатели эффективности работы машин, механизмов и технологического оборудования. Большинство машин (85-90%) выходит из строя по причине износа деталей. Расходы на ремонт машин в нашей стране составляют десятки миллиардов рублей в год.

Процесс разработки грунта строительно-дорожными машинами характеризуется неблагоприятными условиями для элементов рабочих органов, которые непосредственно взаимодействуют с рабочей средой. При разработке техногенных грунтов (в частности, отвалов металлургических комбинатов) возникла проблема повышенного абразивного износа рабочих органов, которая не проявлялась в случае разработки природных грунтов. Таким образом, традиционные теории копания не в полной мере учитывают фактор абразивного действия грунта, в частности, при прогнозировании надежности рабочего оборудования строительно-дорожных машин.

При затуплении режущей кромки происходит увеличение усилий, которое может достигать 180-200%. В известных теориях Ю.А. Ветрова, К.А. Артемьева и др. влияние износа на величину силы копания учитывается за

счет соответствующих поправочных коэффициентов (коэффициент затупления, относительное притупление лезвия и т.д.). Определены предельные значения площадки износа и радиуса, при достижении которых процесс разработки грунта становится нецелесообразным. Однако данные теории не учитывают влияния физико-механических свойств материала режущих органов и не позволяют учесть динамику изнашивания режущей кромки, а следовательно, и прогнозировать наработку, которая соответствует наступлению указанного выше предельного состояния, что снижает эффективность планирования ремонтных мероприятий.

В практике применяются различные методы ремонта и восстановления шарниров рабочего оборудования. Реальный уровень восстановления потребительских качеств (оцениваемый в том числе и показателями надежности), составляет всего 40-50% (вместо нормативного значения в 80% согласно ГОСТ 22581-77). Сравнительно малая доля восстанавливаемых деталей объясняется тем, что используемые в ремонтном производстве технологии и оборудование не обеспечивают требуемых параметров качества поверхностного слоя (микротвердости, толщины упрочненного слоя, шероховатости и т.д.). Помимо этого традиционные методы упрочнения формируют слой, в котором микротвердость по толщине снижается. Такая ситуация порождает не совсем благоприятный характер изменения интенсивности отказов: удлинение периода приработки и сокращение периода нормальной работы узла.

Таким образом, объективно существует важная народнохозяйственная проблема повышения послеремонтной надежности рабочего оборудования строительного-дорожного машин.

Большой вклад в развитие вопросов обеспечения надежности машин на стадиях их жизненного цикла внесли разработки отечественных и зарубежных ученых К.П. Чудакова, А.С. Денисова, Д.П. Великанова, Ю.К. Беляева, Г.В. Крамаренко, Ф.Н. Авдонькина, Н.Я. Говорущенко, А.Д. Соловьева, Я.Б. Шора, Е.С. Кузнецова, И.Г. Крагельского, Я.Х. Закина, Я.И. Несвитского, Дж. Хунтера, В. Радановича, С.В. Репина, Ю.И. Густова, R. Barlou,

F. Proschan, D. Khan, U. Mikker и др [1,2,5,9-11,13,16-18,20-22,24,31,122,124,125-130,132-134]. Исследованиями научных коллективов Рыбинского государственного авиационного технического университета им. П.А. Соловьева и Брянского государственного технического университета, а также отечественных и зарубежных ученых В.Ф. Безъязычного, Ю.Р. Виттенберга, П.Е. Дьяченко, И.В. Крагельского, А.А. Маталина, Э.А. Сателя, А.Г. Суслова, Ю.Г. Кабалдина, Ю.Г. Шнейдера, W. Rau, E. Scherf, J.Z. Zhang, J.C. Chen и др. [10,16,35,45-47] установлено, что на эксплуатационные свойства машин и узлов решающее влияние оказывают параметры качества рабочих поверхностей деталей.

Вопросами совершенствования конструкций и эксплуатации строительно-дорожных машин занимались научные школы Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ), Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета (СИБАДИ), Санкт-Петербургского строительного архитектурного университета и т.д. Решению проблем в данном направлении посвящены работы С.В. Репина, Ю.И. Густова, В.А. Зорина, Н.Г. Гринчара, В.И. Баловнева, В.Н. Кузнецовой, И.А. Недорезова, А.К. Рейша, В.В. Савинкина, В.С. Щербакова, и многих других [9,17,31,32,52,53,94,95,97,98,132].

Вопросам восстановления изношенных деталей посвящены работы Е.В. Агеева, А.Н. Батищева, Ф.Х. Бурумкулова, И.Г. Голубева, В.А. Денисова, С.А. Зайдеса, Л.В. Дехтеринского, И.Е. Дюмина, В.И. Иванова, В.И. Казарцева, В.И. Карагодина, В.И. Колмыкова, А.В. Коломейченко, Р.И. Ли, В.П. Лялякина, Р.А. Латыпова, Н.В. Молодыка, А.Н. Новикова, П.В. Сенина, В.И. Серебровского, Д.Б. Слинко, В.А. Шадричева, В.И. Червоиванова, И.Е. Ульмана и др. [2,11,22,24,34,36,40,41,57,60,63,67,109,122,127,129].

Цель диссертационного исследования. Повышение долговечности рабочего оборудования строительно-дорожных машин на основе разработанных научных положений, новых методик прогнозирования предельного со-

стояния и способов обеспечения, требуемых параметров качества поверхностного слоя технологическими методами.

Объект исследования. Рабочее оборудование строительно-дорожных машин и их приводы, рассматриваемые с точки зрения взаимосвязи свойств среды, параметров режимов, действующих усилий и параметров качества поверхностного слоя с долговечностью при их изготовлении и в ходе ремонтных воздействий.

Предмет исследования. Закономерности, характеризующие долговечность рабочего оборудования строительно-дорожных машин при взаимодействии с рабочей средой в процессе эксплуатации, а также в ходе технологических воздействий, получаемые на основе разработки новых методов, средств и технологий.

Рабочая гипотеза состоит в том, что использование метода поверхностного упрочнения, исследования параметров шероховатости и их обеспечения позволит повысить долговечность рабочих органов строительно-дорожных машин.

Научную новизну исследования представляют:

- предложенная концепция решения проблемы повышения долговечности рабочего оборудования строительно-дорожных машин посредством применения нового технологического метода, позволяющего в управляемом режиме получать поверхностные слои контактирующих деталей с параметрами качества поверхностного слоя, обеспечивающими оптимальные эксплуатационные свойства;

- полученная модель динамики затупления режущих элементов рабочих органов, дополняющая известные теории математического моделирования процесса разработки грунтов и дающая возможность прогнозировать наступление предельного состояния рабочих органов строительно-дорожных машин. Использование модели дает возможность до 1.5 раз точнее определять значения гамма-процентного ресурса для износостойких элементов рабочих органов с поверхностным упрочнением в зависимости от вида разраба-

тываемого грунта, физико-механических свойств материала рабочих органов и режимов разработки грунта;

- доказанная возможность повышения долговечности до 40% при использовании шарниров рабочего оборудования СДМ с упрочненным слоем, имеющим обратное распределение твердости за счет сокращения приработки и увеличения периода нормального износа;

- термины, характеризующие процесс взаимодействия рабочих органов строительно-дорожных машин с грунтом, имеющим абразивные свойства, в частности, техногенным. Это позволяет учитывать влияние абразивных свойств грунта на надежность рабочих органов строительно-дорожных машин по сравнению с традиционными характеристиками грунта по ГОСТ 12536-2014. Введены термины: «коэффициент числа частиц грунта, взаимодействующих с поверхностью режущего элемента», «коэффициент глубины внедрения абразивных частиц грунта в поверхность режущего элемента» и «коэффициент числа рабочих циклов процесса копания циклов, приводящих к разрушению материала»;

- разработанный новый метод поверхностного упрочнения, который позволяет получать упрочненный слой толщиной до 3 мм с обратным распределением микротвердости, что дает возможность повысить долговечность рабочих органов строительно-дорожных машин;

- результаты исследований текстуры профиля шероховатости поверхностей шарниров рабочего оборудования строительно-дорожных машин с упрочненным слоем, а также разработанная структурная схема и программно-аппаратный комплекс, реализующий устройство контроля износа инструмента при обработке резанием.

Теоретическая и практическая значимость исследования. Полученные новые научные результаты, реализованные в виде комплекса теоретических и методологических положений, включая предложенную концепцию повышения долговечности рабочего оборудования строительно-дорожных машин, математические модели, алгоритмы и программное обеспечение по

определению показателей долговечности и влияния характера распределения микротвердости, разработанный метод упрочнения вносят значительный вклад в решение проблемы обеспечения долговечности рабочих органов строительного-дорожного машин.

Применение разработанной технологии изготовления износостойких элементов из серого чугуна дает возможность повысить долговечность быстроизнашивающихся частей строительного-дорожного машин с одновременным снижением затрат на 20-30%.

Повышается эффективность процесса изготовления и ремонта шарниров рабочего оборудования строительного-дорожного машин за счет того, что в упрочненном слое наблюдается обратный характер распределения микротвердости, что дает возможность отказаться от повторного упрочнения после обработки детали в ремонтный размер. Результаты исследования могут быть использованы при изготовлении и ремонте быстроизнашивающихся частей рабочих органов строительного-дорожного машин и соединительных элементов рабочего оборудования.

Методология и методы исследования. Общая концепция исследований построена на комплексе теоретических и экспериментальных методов, включающих математическое, компьютерное, имитационное моделирование, и теории обеспечения долговечности строительного-дорожного машин, оценке сходимости результатов теоретических и экспериментальных исследований, а также методологии исследования, включающей методы математической статистики, методы расчета на износ и определения наработки на отказ, метода конечных элементов, матричное построение факторов эксперимента, натурные эксперименты, оценку экономической эффективности.

Положения, выносимые на защиту:

1. Математическая модель, позволяющая прогнозировать динамику затупления режущей кромки рабочих органов строительного-дорожного машин как для природных, так и техногенных грунтов и дискретных материалов,

дополняющая известные теории математического моделирования процесса разработки грунта.

2. Результаты экспериментальных исследований, подтверждающих возможность повышения долговечности рабочих органов строительно-дорожных машин на 15-20% за счет использования износостойких элементов с упрочненным слоем.

3. Математическая модель, позволяющая прогнозировать вероятность безотказной работы шарниров рабочего оборудования строительно-дорожных машин, содержащих упрочненный слой, в том числе после обработки в ремонтный размер при различных сочетаниях конструктивных, технологических и эксплуатационных факторов.

4. Результаты теоретического обоснования и экспериментального подтверждения возможности реализации повышения долговечности рабочего оборудования строительно-дорожных машин на основе нового метода упрочнения, который позволяет получать слои с обратным распределением микротвердости толщиной до 3 мм.

5. Алгоритм, структурная схема и программно-аппаратный комплекс, реализующий устройство контроля износа инструмента, использование которого дает возможность производить автоматический контроль состояния режущего инструмента, выполнять своевременную замену изношенного инструмента и обеспечить требуемые параметры шероховатости поверхности шарниров рабочего оборудования строительно-дорожных машин.

Степень достоверности обеспечивается применением общепринятых методов и методик выполнения теоретических и экспериментальных исследований, корректным использованием методик измерения и последующего анализа результатов, применением сертифицированных средств измерения, обеспечивающих надлежащую точность, и согласованностью полученных результатов теоретических исследований и эксперимента.

Апробация результатов работы. Основные результаты работы докладывались на: Международной научно-технической конференции «Инноваци-

онные технологии в автоматизированном машиностроении и арматуростроении» (Курган, 2010), III Международной научно-технической конференции «Теплофизические и технологические аспекты повышения эффективности машиностроительного производства (Тольятти, 2011), Международной научно-практической конференции, посвященной 85-летию транспортного образования в Зауралье и 55-летию УрГУПС «Актуальные проблемы современной науки и практики» (Курган, 2011), II Международной научно-практической конференции «Инновационные технологии и экономика в машиностроении» (Юрга, 2011), Международной научно-технической конференции «Инновационные технологии в машиностроении: проблемы, задачи, решения» (Орск, 2012), Первой международной научно-технической конференции «Инновации и исследования в транспортном комплексе» (Курган, 2013), Международной научно-практической конференции «Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе» (Пермь, 2019), Международной конференции «IOP Conference Series: Materials Science and Engineering», 2019, Международной конференции «Transport of Siberia», 2019, Международной научно-технической конференции «Транспортные и транспортно-технологические системы» (Тюмень, 2020), IV Региональной научно-практической конференции «Образование. Транспорт. Инновации. Строительство» (Омск, 2021).

Реализация результатов работы. Результаты работы приняты к внедрению на АО «Курганский завод дорожных машин», ООО «Спецтехсервис», разработки прошли апробацию в ООО «Региональная транспортная компания» и АО «Тюменское областное дорожно-эксплуатационное предприятие ДРСУ-4», ООО «Зауральский инструментальный завод». Результаты используются в учебном процессе Курганского государственного университета и Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета.

Личный вклад автора состоит в постановке и решении крупной научной проблемы за счет анализа, обобщения и дополнения теории обеспечения надежности строительного-дорожных машин. В разработке математических

моделей, которые дополняют известные теории копания тем, что дают возможность прогнозирования динамики износа режущей кромки рабочего органа и прогнозирования предельного состояния. В обосновании метода и разработке технологии упрочнения, позволяющей получать слой толщиной до 3 мм с обратным распределением твердости. В разработанной концепции, моделях, алгоритмах, программном обеспечении и устройствах, а также методе изготовления и ремонта, использование которых позволяет повысить долговечность строительно-дорожных машин.

Соискателем получены новые научные результаты, направленные на достижение показателей, которые определены «Стратегией развития строительной отрасли Российской Федерации до 2030 года».

Соответствие паспорту специальностей. Содержание диссертационной работы соответствует требованиям паспортов научных специальностей 05.05.04 (п. 5 «Методы повышения долговечности, надежности и безопасности эксплуатации машин, машинных комплектов и систем») и 05.02.07 (п. 2 «Теоретические основы, моделирование и методы экспериментального исследования процессов механической и физико-технической обработки, включая процессы комбинированной обработки с наложением различных физических и химических воздействий» и п. 3 «Исследование механических и физико-технических процессов в целях определения параметров оборудования, агрегатов, механизмов и других комплектующих, обеспечивающих выполнение заданных технологических операций и повышение производительности, качества, экологичности и экономичности обработки»).

Публикации. Основные результаты диссертационной работы отражены в 56 публикациях, в том числе в 22 работах, входящих в список ВАК РФ, 7 публикациях в журналах Scopus и Web of science, 2 монографиях. Получены 7 патентов на изобретения и полезные модели и 5 свидетельств о регистрации программ для ЭВМ.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, семи глав, общих выводов и приложений. Работа изложена на 210

страницах машинописного текста, содержит 136 рисунков, 63 таблицы, список литературы из 152 наименований.

1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 Проблема обеспечения долговечности и надежности строительно-дорожных машин и их рабочего оборудования

Одним из основных требований, которые предъявляются к машинам, является надежность. Проблема обеспечения надежности достаточно остро стоит во многих отраслях экономики. Например, по оценкам ГОСНИТИ, половина тракторов отечественного производства имеет крайне низкий ресурс наработки на отказ [20,21]. Это приводит к тому, что 20-30% времени техника простаивает по техническим причинам. Перспективной задачей является повышение наработки на отказ до ремонта до 8-10 тыс. мото-ч для тракторов и оборудования, средней наработки на сложный отказ до значений минимум 500-600 мото-ч.

Требуемый уровень надежности закладывается при проектировании изделия, обеспечивается при изготовлении, проявляется и поддерживается в эксплуатации. Большой вклад в развитие вопросов обеспечения надежности машин на стадиях их жизненного цикла внесли разработки отечественных и зарубежных ученых К.П. Чудакова, А.С.Денисова, Д.П. Великанова, Ю.К. Беляева, Г.В. Крамаренко, Ф.Н. Авдонькина, Н.Я. Говорущенко, А.Д. Соловьева, Я.Б. Шора, Е.С. Кузнецова, Я.Х. Закина, Я.И. Несвитского, Р. Барлоу, Дж. Хунтера, Ф. Прошана, В. Радановича, С.В. Репина, Ю.И. Гусова, В.А. Зорина и др. [1,2,5,9-11,13,16-18,20-22,24,31,122,124,125-130,132-134]. Ученые сходятся во мнении, что в процессе эксплуатации машин техническое состояние их элементов изменяется, что в конечном итоге приводит к отказам. В таблице 1.1 приведены некоторые данные по причинам отказов [21,22].

Таблица 1.1– Некоторые данные по причинам отказов машин

Причины отказов в процентах	По данным разных исследований			
Изнашивание	40	50	49.4	46.0
Пластическая деформация	26	35	17.5	1.1
Усталостное разрушение	18	35	15.5	13.4
Тепловое разрушение	12	15	14.1	13.5
Коррозия	-	15	0.3	3.8
Прочее	4	-	3.2	23.2

Из таблицы 1.1 видно, что основной причиной отказов является изнашивание. Причем исследователи отмечают, что изнашивание является причиной закономерных отказов, тогда как пластическая деформация или усталостное разрушение чаще всего связаны либо с конструкторскими недоработками, либо с нарушением условий эксплуатации машины.

Указное выше обстоятельство требует проведения мероприятий по поддержанию работоспособности машины. В таблице 1.2 приведены данные по соотношению затрат на поддержание работоспособности к стоимости машины [21].

Таблица 1.2 - Отношение затрат на поддержание работоспособности и стоимости машин за срок службы

Машины	Отношение, %
Автомобили	600-800
Тракторы	500-650
Металлорежущие станки	800-1500
Самолеты	500-600
Строительные и дорожные машины	700-850

Как видно из таблицы 1.2, указанное соотношение для строительно-дорожных машин весьма существенное. Проблема также усугубляется тем, что наблюдается общее старение парка техники [117]. На рисунках 1.1-1.3 приведены некоторые статистические данные.

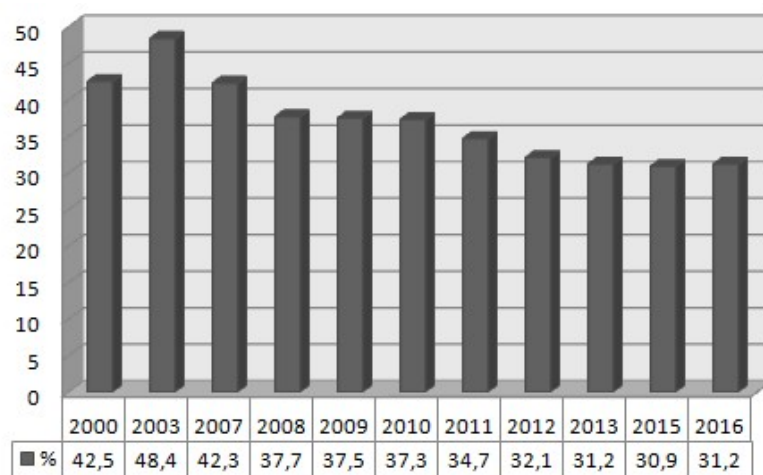


Рисунок 1.1 – Доля экскаваторов одноковшовых с истекшим сроком эксплуатации

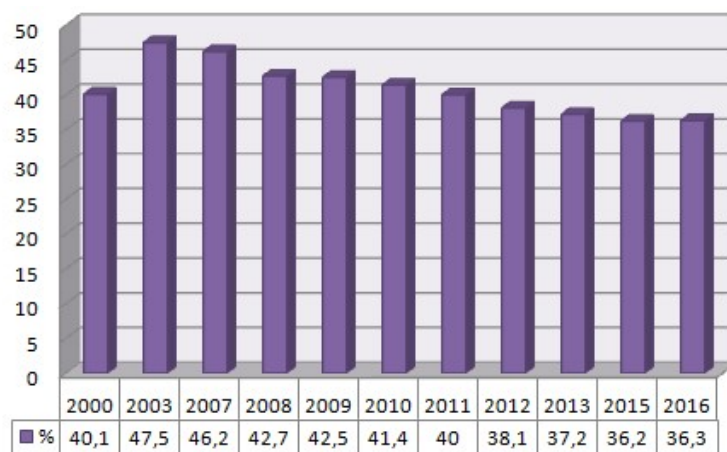


Рисунок 1.2 – Доля бульдозеров на тракторах с истекшим сроком эксплуатации

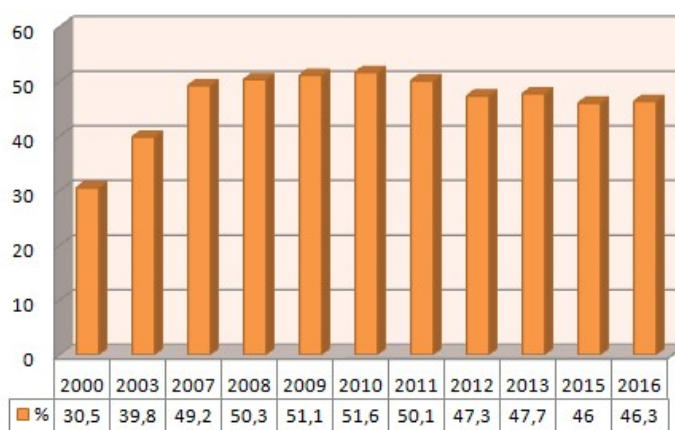


Рисунок 1.3 – Доля автогрейдеров с истекшим сроком эксплуатации

Анализируя приведенные выше данные, можно сделать вывод о том, что наблюдается небольшое снижение доли машин с истекшим сроком экс-

плуатации, однако основной причиной этого является не обновление парка техники, а сокращение количества единиц. На рисунках 1.4-1.6 приведены данные по количеству строительно-дорожных машин, находящихся в эксплуатации [117].

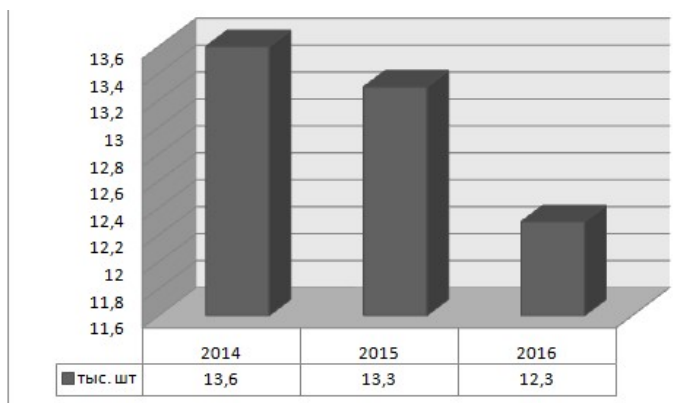


Рисунок 1.4 – Количество экскаваторов одноковшовых, находящихся в эксплуатации

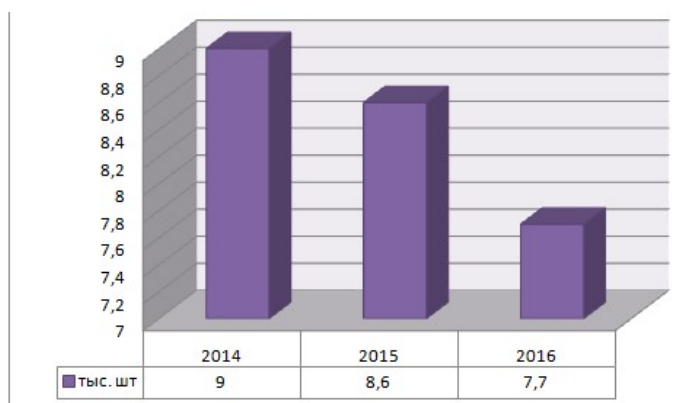


Рисунок 1.5 – Количество бульдозеров на тракторах, находящихся в эксплуатации

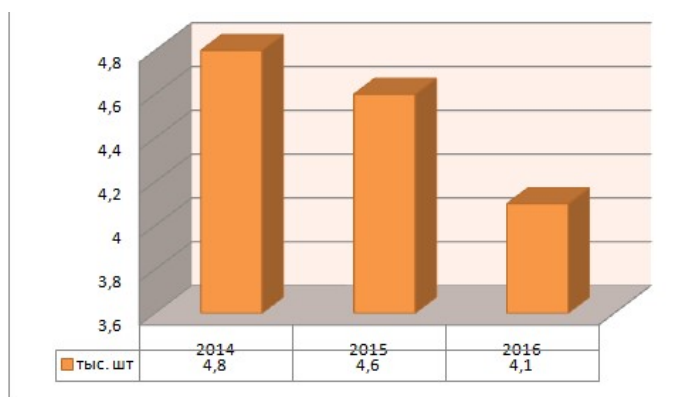


Рисунок 1.6 – Количество автогрейдеров, находящихся в эксплуатации

Среди основных причин снижения количества техники, находящейся в эксплуатации можно выделить снижение объемов производства машин, резкий рост их стоимости и увеличение доли изношенной техники.

В целом, степень обновления парка машин составляет всего 1.5-2%, при нормативных ее значениях в 8-9%.

Помимо этого, наблюдается непрерывный рост количества техники иностранного производства, который только за последние 5 лет составил около 25% [117]. Учитывая девальвацию рубля, такая доля иностранной техники оказывает существенное влияние на экономическую эффективность предприятий отрасли.

Надежность является комплексным свойством, и ее обеспечение требует учета большого количества факторов на всех стадиях жизненного цикла машины. Причем среди комплекса факторов, которые влияют на формирование и поддержание надежности, можно отметить не, только конструктивные, но и технологические, эксплуатационные аспекты. Отдельно стоит выделить влияние человеческого фактора, т.к. оно практически всегда непрогнозируемое. На рисунке 1.7 приведена декомпозиция факторов [43].

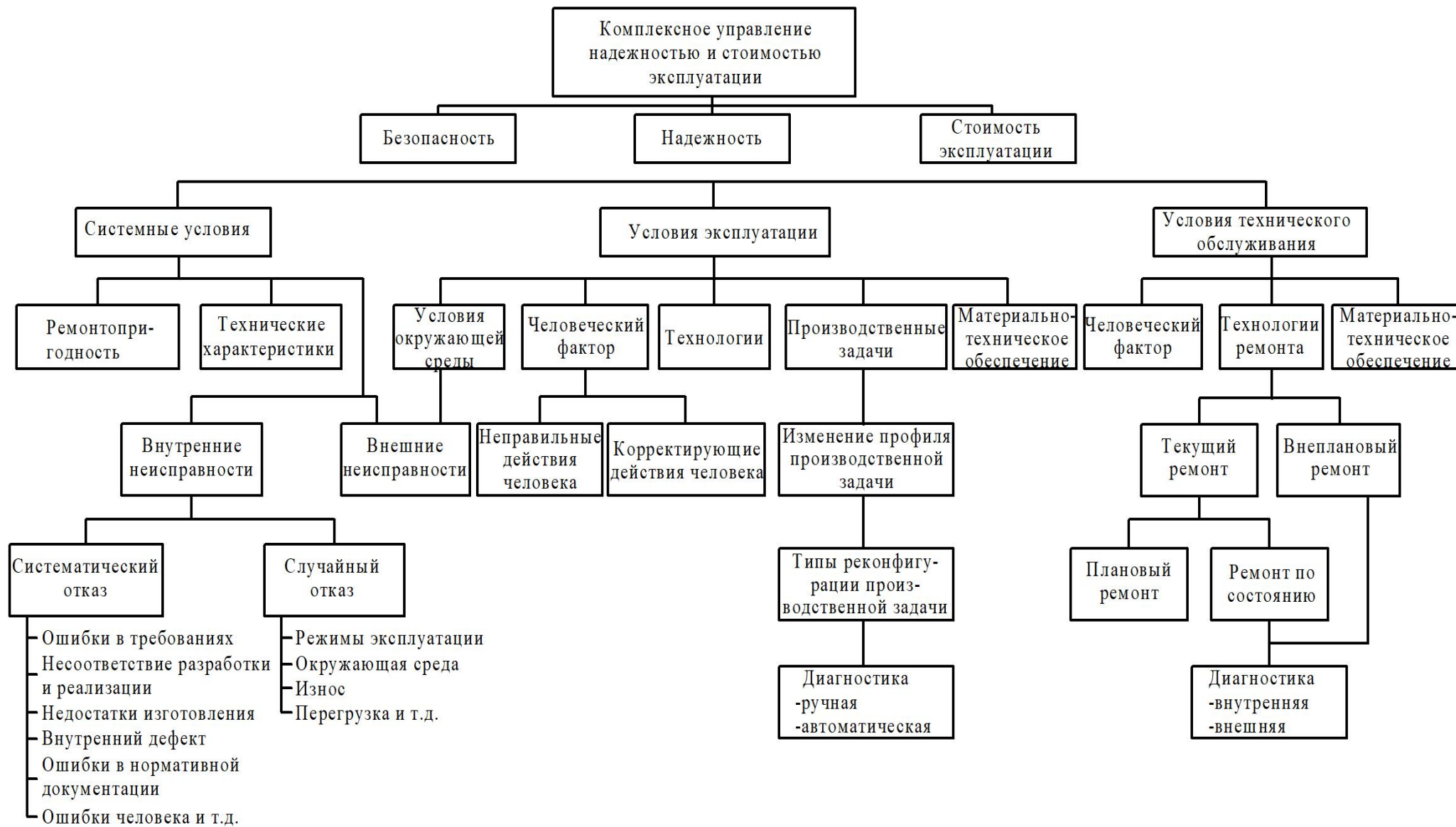


Рисунок 1.7 – Схема комплексного управления надежностью и стоимостью строительно-дорожных машин

Вопросам восстановления изношенных деталей посвящены работы Агеева, А.Н. Батищева, Ф.Х. Бурумкулова, И.Г. Голубева, В.А. Денисова, С.А. Зайдеса, Л.В. Дехтеринского, И.Е. Дюмина, В.И. Иванова, В.И. Казарцева, В.И. Карагодина, В.И. Колмыкова, А.В. Коломейченко, Р.И. Ли, В.П. Лялкина, Р.А. Латыпова, Н.В. Молодыка, А.Н. Новикова, П.В. Сенина, В.И. Серебровского, Д.Б. Слинко, В.А. Шадричева, В.И. Червоиванова, И.Е. Ульямана и многих других [2,11,22,24,34,36,40,41,57,60,63,67,109,122,127,129].

Следует отметить, что изготовление новых деталей и восстановление изношенных требуют существенных затрат (по разным оценкам до 50% от общих затрат на ремонт). Поэтому задача совершенствования методов ремонта и восстановления деталей является важной.

Восстановление деталей в условиях ремонта дает возможность снизить простой машин и оказывает положительное влияние на надежность их узлов и агрегатов [8].

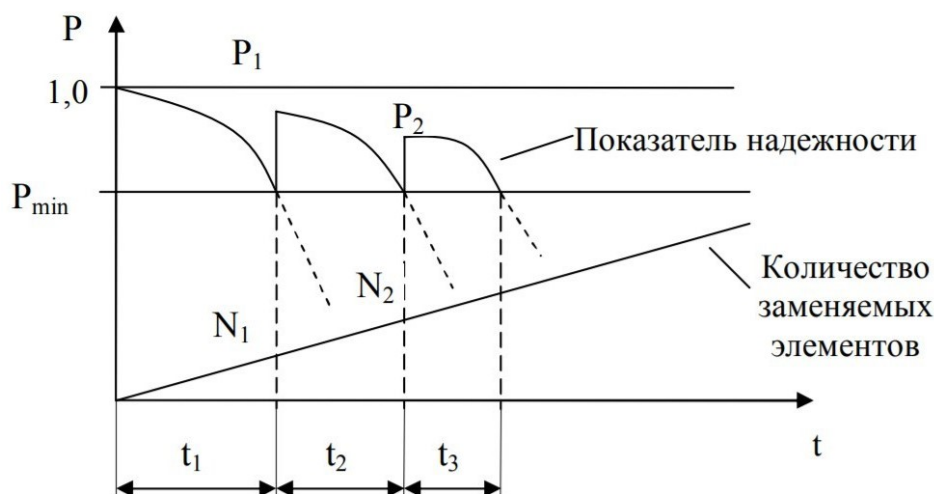


Рисунок 1.8 – Зависимость вероятности безотказной работы от наработки.
 P – вероятность безотказной работы; P_{min} – минимально допустимый уровень надежности;
 N – число заменяемых (восстанавливаемых объектов)

Установлено, что около 85% деталей теряют работоспособность при величине износа не более 0.2...0.3 мм. Таким образом, имеются широкие возможности для использования методов ремонта и восстановления. В условиях плановой экономики велась целенаправленная работа по увеличению

доли восстановленных деталей. В таблице 1.3 приведены данные по количеству восстановленных деталей на ремонтных предприятиях.

Таблица 1.3 – Количество восстановленных деталей на ремонтных предприятиях [117]

Показатель	Годы						
	1985	1986	1987	1988	1989	1990	2018
Экономия металла, млн. т	1100	1120	1110	1110	890	890	560
Содержание восстановленных деталей, %	17.9	19.0	18.0	17.5	15.6	16.0	8.9

Из таблицы 1.3 видно, что на сегодняшний день, доля восстановленных деталей и узлов существенно снизилась (более чем в 2 раза). При этом в Европе, США и Японии доля восстановленных деталей может достигать до 30-40% [21,22]. Надежность восстановленных деталей за рубежом может достигать 80% от уровня детали, изготовленной в условиях заводского производства. Для отечественной практики данный показатель зачастую не доходит до 60%. Высокая эффективность ремонта и восстановления в зарубежной практике объясняется тем, что производители машин и оборудования создают дочерние организации, специализирующиеся в области восстановления, таким образом сами участвуют в организации данного процесса.

Использование восстановления и ремонта дает возможность получить существенную экономию ресурсов. По данным ВНИИТУВИД «Ремдеталь», восстановление 1 т металлических изделий дает возможность сэкономить 180 кВтч электроэнергии, около 0.8 т угля и известняка, 175 м³ природного газа. Также трудоемкость процесса восстановления существенно ниже, чем изготовления новых деталей из-за меньшего количества технологических операций. Согласно исследованиям ВНИИТУВИД «Ремдеталь», перспективной задачей развития рассматриваемой области является увеличение доли восстановленных деталей до 35-40%, достижение ресурса 80-85% от ресурса но-

вой детали, достижения ресурса восстановленных деталей с применением упрочняющих технологий – 120-150%.

Таким образом, объективно существует важная народнохозяйственная проблема повышения надежности строительно-дорожных машин за счет совершенствования ремонта и восстановления изношенных деталей и узлов.

1.2 Оценка долговечности рабочего оборудования строительно-дорожных машин

Для восстанавливаемых систем целесообразно использовать оценку надежности через долговечность. **Ресурс** – это суммарная наработка изделия в течение срока службы. Ресурсом оценивают фактическую наработку (например, в часах) без учета перерывов в работе по любым причинам.

Средний ресурс определяется выражением:

$$\bar{t}_p = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_{pi}, \quad (1.1)$$

где t_{pi} – ресурс i -го до капитального ремонта; N – число наблюдаемых изделий.

Гамма-процентный ресурс, это ресурс, который предполагает, что предельное состояние не наступит с вероятностью γ :

$$P(t_\gamma) = 1 - \int_0^{t_p} f(t) dt = \frac{\gamma}{100} \quad (1.2)$$

Анализируя приведенные выше выражения, следует отметить, что для определения величины ресурса необходимо знать закон распределения вероятности отказа. Рабочие органы строительно-дорожных машин в большинстве своем выходят из строя при постепенном накоплении повреждения, соответственно справедлив нормальный закон распределения:

$$P(t) = \int_t^{\infty} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-m_t)^2}{2\sigma^2}} dt, \quad (1.3)$$

где m_t – математическое ожидание времени безотказной работы изделия; σ – среднее квадратическое отклонение времени безотказной работы изделия.

Согласно ГОСТ 27.003 ресурс в качестве показателя долговечности используется для изделий, в которых основным процессом, определяющим переход в предельное состояние, является изнашивание. К показателям, которые используются для оценки изнашивания, относят линейный износ U , мкм, скорость изнашивания V_u , мкм/ч и интенсивность изнашивания I , м.

Скорость изнашивания и линейный износ взаимосвязаны с интенсивностью износа:

$$V_u = 10^6 \cdot I \cdot V \quad (1.4)$$

$$U = 10^6 \cdot I \cdot V \cdot t, \quad (1.5)$$

где V – скорость относительного перемещения, м/ч; t – время, в течение которого происходит изнашивание, ч.

Величина предельного износа задается таким образом, чтобы в периоде между ремонтами был обеспечен требуемый уровень безопасности. Выделяют три разновидности критериев для оценки величины предельного износа:

- наступление интенсивного выхода из строя, сопровождающееся ударами, вибрациями, ростом температуры в зоне контакта и т.д.;
- возникновение опасных условий для человека из-за износа. Например, заклинивание механизмов, самовольное отключение машины или механическое разрушение элементов;
- возникновение условий для параметрических отказов (повышенных вибраций, резонанса и т.д.).

В случае использования деталей с поверхностным упрочнением износ не должен превышать толщины упрочненного слоя.

Установив величину предельного износа $U_{пред}$ и зная скорость изнашивания, можно определить технический ресурс изделия:

$$t_{PI} = \frac{U_{пред}}{V_{II}} \quad (1.6)$$

Если принять допущение о линейной зависимости износа от наработки, то оценку вероятности безотказной работы можно производить с использованием функции Лапласа.

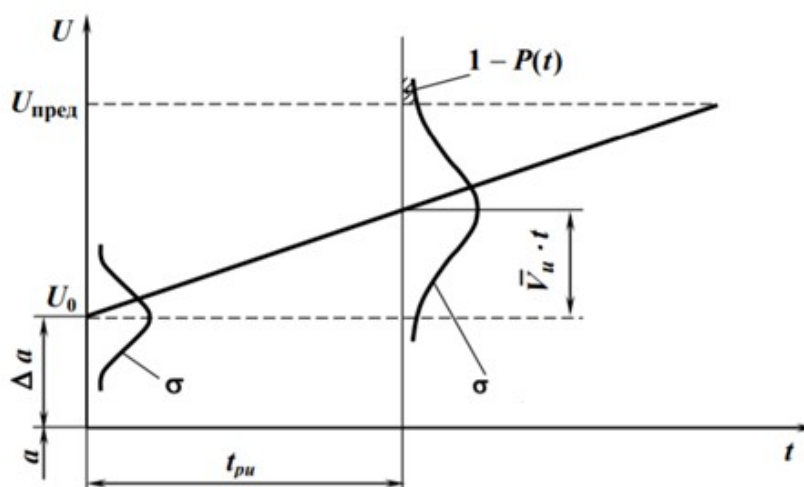


Рисунок 1.9 – Оценка долговечности при линейном законе изнашивания

При этом возрастание величины износа U приводит к изменению размера детали (сопряжения) a .

Имеется возможность определить значение наработки при помощи квантилей:

$$t_{\gamma} = t_{PI} + u_p \sigma, \quad (1.7)$$

где u_p – значение наработки, при котором достигается заданное значение вероятности отказа.

Если допускается использование системы предупредительных ремонтов, то устанавливают допустимую величину износа $U_{доп}$, при достижении которой производится ремонт.

$$U_{доп} = U_{пред} - V_{ук} \cdot t_k, \quad (1.8)$$

где $V_{ик}$ – средняя скорость изнашивания между ремонтами; t_k – наработка между ремонтами.

На рисунке 1.10 приведены данные по отказам, приходящимся на агрегаты машины с гидравлическими силовыми приводами [98].



Рисунок 1.10 – Распределение неисправностей

Как можно видеть из рисунка 1.10, наибольший вес имеют неисправности гидропривода и рабочих органов. На рисунке 1.11 приведены данные по количеству отказов элементов гидравлической системы [98].

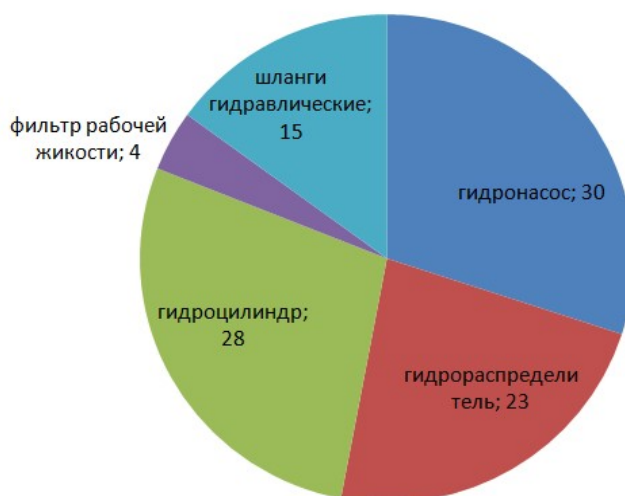


Рисунок 1.11 – Статистика отказов элементов гидравлической системы

Гидропривод является покупным изделием, соответственно для дальнейшего рассмотрения целесообразно отобразить отказы рабочих органов машин.

В качестве быстроизнашивающихся частей для дальнейшего рассмотрения целесообразно выбрать детали рабочих органов, которые контактируют с рабочей средой. Данные элементы подвержены наиболее интенсивному износу, кроме того, износ режущей части вызывает рост усилий сопротивления копанию (резанию), что негативно влияет на работу силовых приводов.

Характер зависимости интенсивности отказов для деталей рабочих органов приведен на рисунке 1.12 (кривая 2).

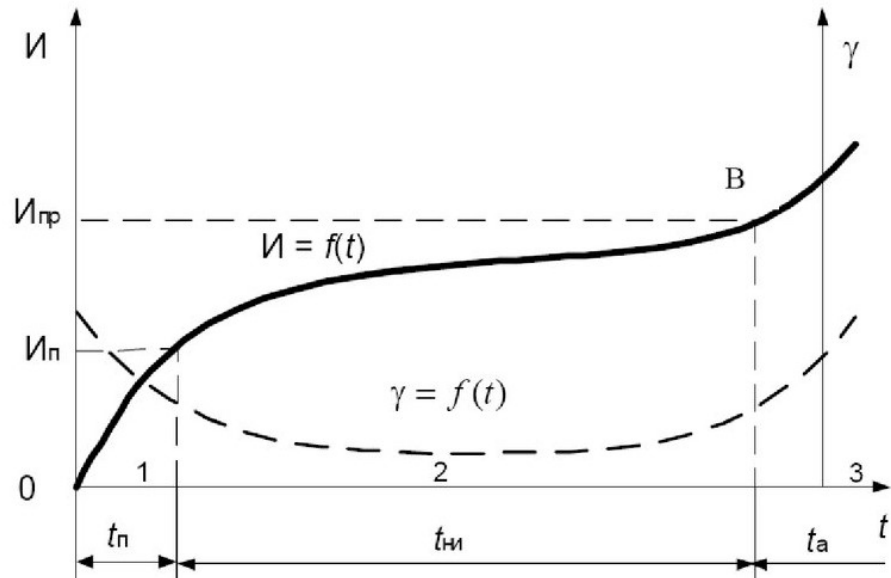


Рисунок 1.12 – Зависимость интенсивности отказов от наработки

На рисунке 1.12 кривая 1 показывает изменение размеров от наработки, а кривая 2 – интенсивность отказов. Выделяют 3 характерные зоны (приработки, нормального износа и катастрофического износа).

Для случая контакта двух деталей рассматривается не сама величина размера, а зазор между деталями (см. рисунок 1.13).

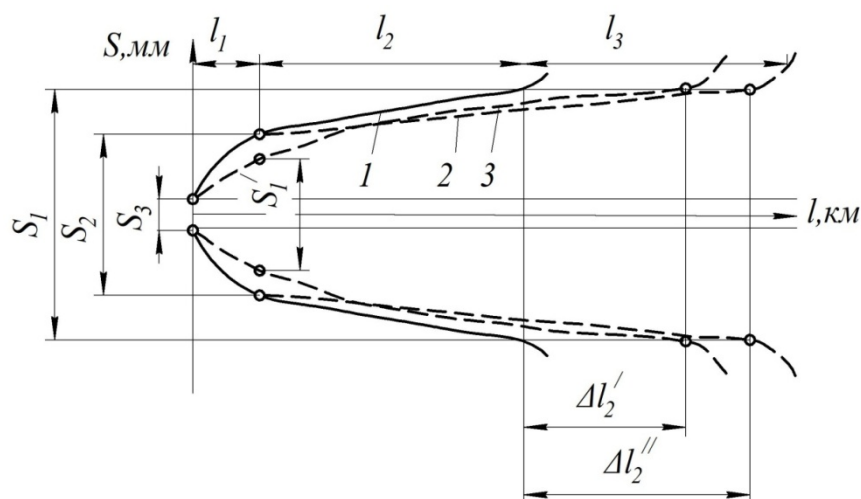


Рисунок 1.13 – Изменение зазора между деталями

В данном случае также выделяется три зоны: 1 – при установившейся скорости износа; 2 – при снижении скорости износа; 3 – уменьшение величины зазора в конце приработки.

Традиционные методы повышения надежности основаны на методах поверхностного упрочнения, где твердость по толщине слоя снижается. Это приводит к увеличению периода приработки. Решить данную проблему можно, если сформировать упрочненный слой с обратным распределением твердости. Однако исследований в этом направлении проводится недостаточно.

Использование упрочнения с обратным распределением твердости позволяет сократить период приработки и увеличить период нормального износа.

1.3 Обеспечение и повышение долговечности быстроизнашивающихся частей рабочего оборудования строительно-дорожных машин

К быстроизнашивающимся частям строительно-дорожных машин относятся части рабочих органов, тормоза, канаты, валы и фрикционы, подшипники скольжения и т.д. Среди перечисленного выше следует выделить детали, работающие в условиях абразивного износа и сухого трения.

Для абразивного износа характерно участие в процессе трения частиц высокой твердости, которые имеют различную форму, размеры, структуру, механические свойства, а также могут обладать незначительно адгезией. При исследованиях процессов изнашивания, в том числе и абразивного, были получены зависимости между износостойкостью и другими механическими свойствами материалов.

В таблице 1.4 приведены данные по влиянию твердости на износостойкость материалов [52,126].

Таблица 1.4 – Твердость и относительная износостойкость по абразивному полотну различных материалов

Материал	Твердость, МПа	Относительная износостойкость, %
Твердый сплав ВК8	19500	80.2
Твердый сплав ВК15	11100	61.8
Сталь 10Х18П9ТЛ	2200	29.2
Чугун СЧ21	1940	20.1
Бронза	1400	13.8

Установлено, что в случае абразивного изнашивания необходимо обеспечить оптимальное соотношение между твердостью изнашиваемого материала и абразивной среды. Также важным фактором является структура материала и вид термической обработки. В таблице 1.5 приведены данные по влиянию термической обработки на сопротивляемость износу.

Таблица 1.5 – Твердость и относительная износостойкость металлов по абразивному полотну в зависимости от термообработки

Материал	Состояние материала (твердость HRC)	Относительная износостойкость
Сталь 65Г	Нормализация	1.1
Сталь 65Г	Закалка + отпуск (35...44)	1.2...1.5
Сталь 65Г	Закалка + отпуск (48...55)	1.7...2.1

Окончание таблицы 1.5

Сталь 110Г13Л	220...260НВ	1.5...2.0
Чугун белый	Отливка	2.5...3.5
Сормайт	Наплавочный материал	5.5...6.5

Как видно из данных в таблице 1.5, помимо непосредственно твердости на сопротивление изнашиванию оказывают влияние другие факторы, например:

- наличие элементов, которые могут образовывать твердые карбиды, особенно в поверхностных слоях;
- способность мягких фаз удерживать твердые кристаллические структуры;
- способность материала упрочняться при воздействии деформаций в процессе трения.

Традиционные методы упрочнения (закалка, комбинированная обработка, лучевая обработка и т.д. [19,86,118]) не позволяют в полной мере обеспечить указанные выше свойства. Использование обратного характера распределения твердости позволит получить сочетание высокой твердости и способности упрочняться под воздействием внешних усилий.

Также на износостойкость влияют характер нагрузки и условия работы узла. В таблице 1.6 приведены некоторые данные по ресурсу работы режущих элементов землеройных машин в зависимости от условий работы [124].

Таблица 1.6 – Некоторые данные по ресурсу работы режущих элементов землеройных машин

Наименование детали и марка машины	Материалы режущих элементов	Условия работы	Срок службы (в моточасах)
Зубья ковшей экскаваторов ЭО-4111	-	-	200...300
Ножи бульдозеров на тракторах Т-100М и Т-100МГП	-	-	200...300

Окончание таблицы 1.6

Ножи автогрейдера ДЗ-99-1	Сталь 70Г2 зака- ленная до 35...40 HRC	Содержание дорог в зимних условиях	70...80
Ножи автогрейдера ДЗ-99-1	Сталь 70Г2	Смешивание щебе- ночных материалов с вяжущими	100...450
Ножи бульдозера	Ст. 5, наплавлен- ная чугунным электродом	Работа с разрых- ленным песком	600...2400
Ножи бульдозера	-	Средние грунтовые условия	200...600
Ножи бульдозера ДЗ-54, ДЗ- 18	-	Эксплуатация в ус- ловиях строитель- ных организаций	500...1900
Ножи бульдозера ДЗ-18Б	Ст. 5, наплавлен- ная чугунным электродом	Разработка скаль- ного грунта	88
Зубья кирковщика	Наплавка стали- нитом	-	7...20
Коронки зубьев рыхлителей	-	Разработка мерзло- го грунта	4...60
Коронки зубьев рыхлителей	Сталь 27ХГСНД	Разработка скаль- ных и мерзлых грунтов	1.6...3.3

Анализируя данные в таблице 1.6, можно прийти к выводу, что ресурс режущих элементов в разы меньше, чем ресурс элементов базовой машины. Помимо прочего, износ режущих элементов вызывает рост усилий резания, увеличение нагрузок на силовые приводы строительно-дорожных машин, снижение производительности, рост расхода топлива и увеличение затрат на разработку грунта.

В конструкциях как базовых машин, так и рабочих органов строительной-дорожной техники достаточно широкое применение получил чугун. Данный материал обеспечивает довольно высокое сопротивление именно абразивному изнашиванию. Ниже приведены некоторые примеры использования чугуна в строительной-дорожных машинах.

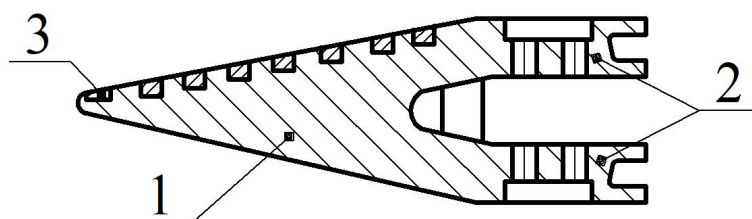


Рисунок 1.14 – Зуб ковша экскаватора.
1 – Корпус; 2 – Хвостовик; 3 –Износостойкие вставки

Представленный на рисунке 1.14 зуб ковша экскаватора [90] имеет корпус 1 и хвостовик 2. При этом на передней поверхности зуба имеются чугунные износостойкие накладки 3. Использование данных решений позволяет повысить износостойкость при работе в условиях абразивного износа и добиться эффекта самозатачивания.

Широко применяются футерирующие элементы из чугуна для защиты ковшей экскаваторов при работе в тяжелых условиях (см. рисунок 1.15).

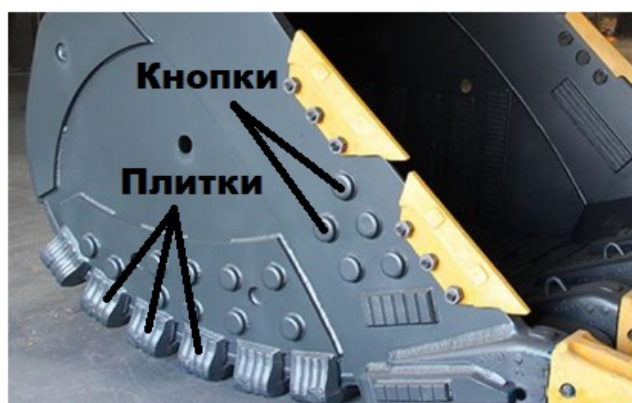


Рисунок 1.15 – Защита ковша экскаватора

Защитные элементы выполнены в виде плиток и кнопок, которые изготовлены из двух составных частей – стального основания и чугунной рабочей

части. Чугун на сталь наносится наплавкой, стальное основание приваривается на рабочий орган.

Также чугун используется для изготовления накладок на отвалы, рабочих тел шаровых и стержневых мельниц и т.д. Многочисленными исследованиями установлено, что физико-механические свойства серого чугуна в основном определяются его микроструктурой. Использование данного материала оправдано в том числе и потому, что достаточно большой процент выхода из строя деталей рассматриваемого вида приходится на абразивный износ. Например, для экскаваторов процент выхода из строя деталей навесного оборудования из-за абразивного износа достигает 80-100% [124].

Традиционно для изготовления рассматриваемых деталей используется дорогостоящие марки износостойких и высокопрочных чугунов. Однако учитывая, что выход из строя зачастую происходит при сравнительно небольшой величине объемного износа, возможно использование поверхностного упрочнения.

Основные методы упрочнения деталей строительно-дорожных машин из серого чугуна приведены на рисунке 1.16.



Рисунок 1.16 – Методы упрочнения деталей из серого чугуна

Закалка серого чугуна применяется для повышения твердости. Закалка серого чугуна осуществляется при температуре 850-900°C с последующим охлаждением в воде. В результате получаемая твердость составляет примерно HB 450-500. Достоинством закалки является простота процесса и большая толщина упрочненного слоя. Однако твердость, получаемая после закалки, сравнительно невысокая и для серых чугунов практически не используется.

Отпуск производится с целью снятия остаточных напряжений при закалке. Для чугуна отпуск производят при температурах 200-250°C для низкого отпуска и 500-600°C для высокого. Следует отметить, что снижение твердости в результате отпуска чугунов ниже, чем сталей.

Индукционная закалка для серого чугуна практически не применяется в силу того, что это существенно повышает время нагрева. Таким образом, отливки из серых чугунов СЧ00-СЧ20 чаще всего закалке не подвергают.

Одной из вариаций термической обработки чугуна является криогенная обработка [118]. Данный вид термической обработки применяется преимущественно для повышения механических и эксплуатационных характеристик изделий.

В результате криогенного воздействия изменяется структурно-фазовый состав материала (см. рисунок 1.17) [118]. Исследования, проведенные в работе [118], показали, что при использовании криогенной технологии можно повысить его твердость в среднем на 10%.

Исследования износостойкости материала после процесса упрочнения показали, что она возрастает в среднем на 40%. Однако применимость данного метода упрочнения в условиях ремонтного производства достаточно ограничена ввиду того, что требуется использование специализированного оборудования, а также имеются специфические требования к обеспечению безопасных условий труда.

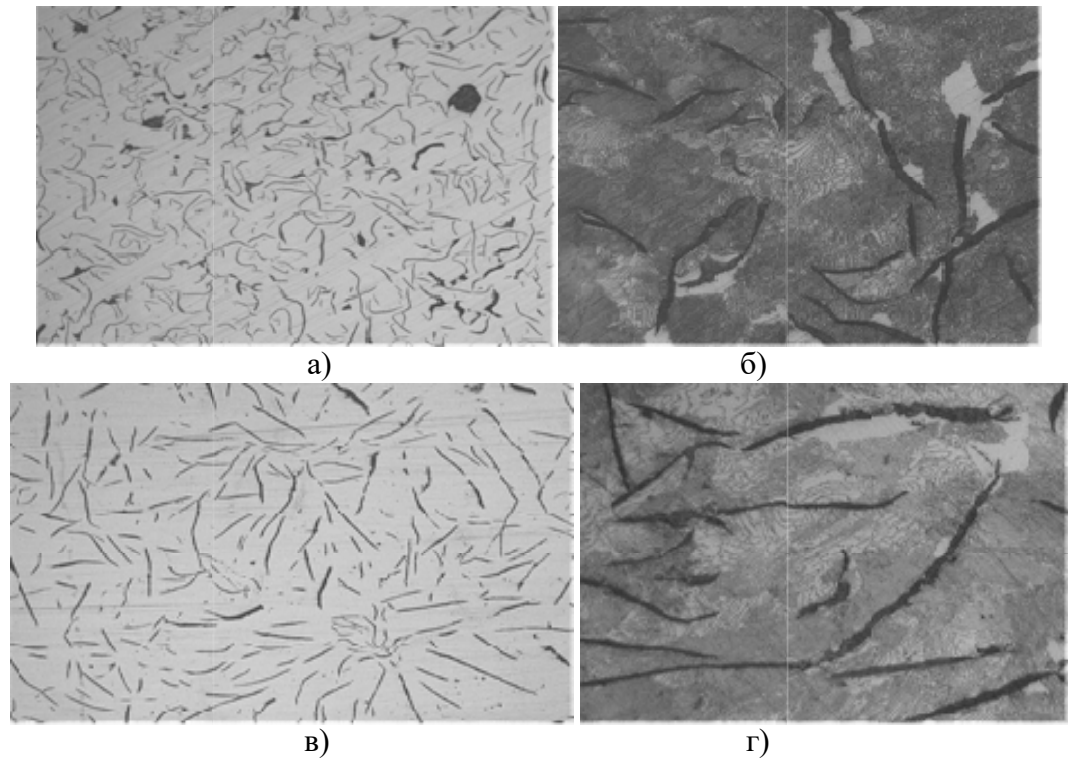


Рисунок 1.17– Микроструктура серого чугуна: до (а, б) и после (в, г) криогенной обработки при увеличении $\times 100$ (а, в) и $\times 500$ (б, г)

В результате лазерной обработки на поверхности деталей из серого чугуна появляется закаленный слой, структура которого соответствует белому чугуну [19,86].

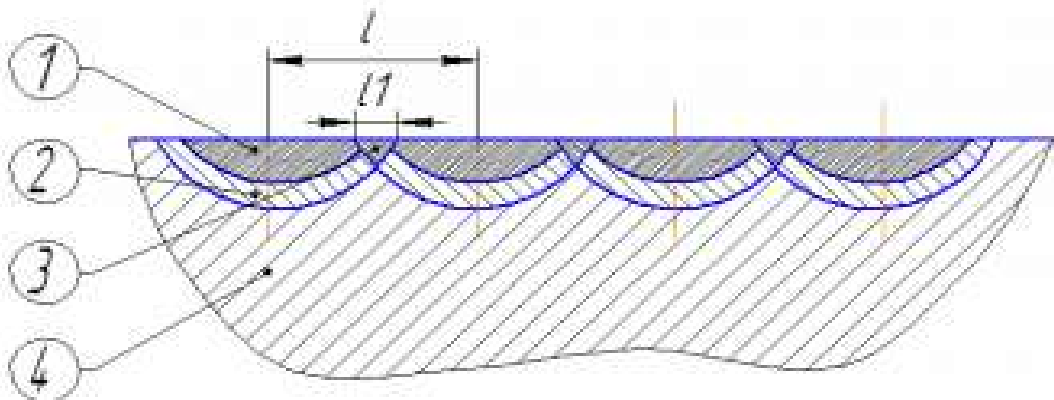


Рисунок 1.18 – Схема лазерного упрочнения с перекрытием.
 1 – Зона оплавления; 2 – Зона термического влияния;
 3 – Зона перекрытия; 4 – Основной материал

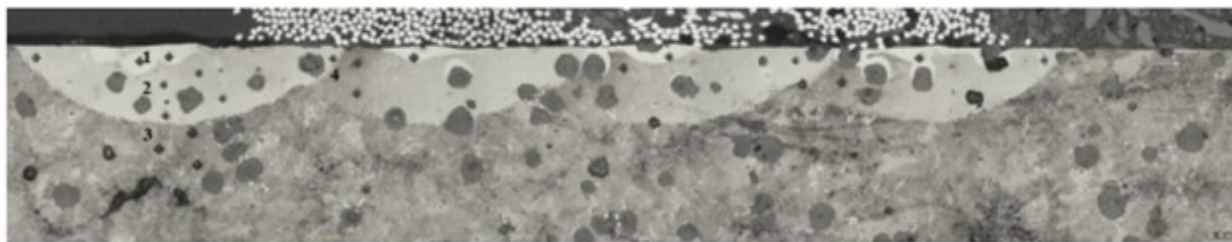


Рисунок 1.19 – Поперечное сечение зоны лазерной обработки чугуна СЧ-21.
1 – Зона оплавления; 2 – Зона термического влияния;
3 – Основная структура; 4 – Переходная зона

Исследования, проведенные в работе [19], показали, что микротвердость зоны оплавления составляет 460-540 НV, а зоны термического влияния – 930НV.

В целом анализ работ в области применения лазерной закалки показывает, что возможно получать толщину упрочненного слоя до 0.6 мм. Помимо этого лазерная обработка позволяет производить поверхностное легирование, которое заключается в том, что в расплавленный лучом лазера материал вводятся легирующие элементы в виде порошков. В процессе смешивания образуется новый сплав. Лазерное легирование позволяет существенно увеличить износостойкость деталей из чугуна.

Также получили распространение комбинированные методы лазерного упрочнения. Одним из примеров таких технологий является комбинация лазерной и ультразвуковой обработки [19]. Суть заключается в том, что поверхность предварительно обрабатывается ультразвуковыми методами поверхностного пластического деформирования. В результате предварительной обработки формируется благоприятный микрорельеф поверхности, который способствует формированию более равномерной структуры упрочненного слоя [19] и возможности отказа от использования технологии, основанной на оплавлении поверхностного слоя (процесс реализуется при температуре 1140°С).

Помимо указанных выше преимуществ лазерного упрочнения, можно выделить следующие недостатки [19,87]:

- обработке подвергаются поверхности деталей только из ковких и высокопрочных чугунов;
- упрочненный слой на поверхности детали образуется неравномерно (в форме дорожек);
- неравномерность покрытия может привести к появлению пористости, кратеров и других нарушений сплошности;
- требуется дорогое оборудование и достаточно сложное его обслуживание.

Электроконтактная технология поверхностного упрочнения чугуна [125] основана на воздействии электродов с приложением контактного давления и электрического нагрева. В результате происходит формирование слоя белого чугуна на поверхности. Толщина упрочненного слоя при этом составляет от 1 до 4 мм. Недостатки данного метода в целом аналогичны рассмотренным выше минусам лазерной закалки.

Электроискровое легирование предполагает перенос материала на легируемую поверхность при помощи искрового электрического разряда. Суть процесса заключается в том, что между двумя электродами (один из которых является деталью) возникает импульсный электрический разряд в виде искры. При этом каждый импульс вызывает выброс частицы материала анода, которая оседает на катоде.

При перемещении анода вдоль поверхности детали в среде защитных газов происходит формирование покрытия. К неоспоримым преимуществам метода электроискрового легирования можно отнести высокую сцепляемость покрытия с основным материалом.

В работах [11,27] рассмотрены вопросы использования электроискрового легирования для упрочнения деталей из феррито-перлитного серого чугуна. Однако отмечается, что гетерогенная структура чугуна, получаемого при этом, нарушает стабильность процесса образования искры и снижает управляемость процессом. Исследования [27] показали, что упрочненный

слой состоит из двух частей: верхняя из белого чугуна твердостью до 930HV и зона термического влияния твердостью 460-490HV.

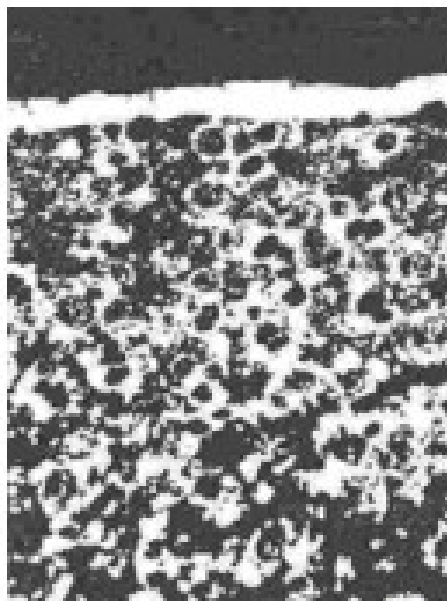


Рисунок 1.20 – Микроструктура упрочненного слоя после электроискрового легирования; x100

Таким образом, значения твердости и толщины упрочненного слоя сопоставимы с лазерным упрочнением, однако технология достаточно сложная, необходим подбор режимов под каждый конкретный случай, и данным методом затруднительно обрабатывать детали сложной формы.

Химико-термическая обработка чугуна основана на термодиффузионном насыщении поверхности. К ней относятся такие виды, как азотирование, борирование, силицирование и т.д. Также может применяться комплексное насыщение поверхности несколькими легирующими элементами [14].

Азотирование сплавов производится при температурах 500-1200° С. Упрочненный слой имеет высокую твердость, которая сохраняется при нагреве до температур 400-450° С, высокую коррозионную стойкость и предел выносливости.

Азотирование применяется для упрочнения деталей строительно-дорожных машин, работающих в условиях циклических нагрузок, трения и абразивного износа. Однако диффузионные слои при упрочнении чугунных изделий достаточно часто получаются хрупкими из-за гетерогенной структу-

ры сплава. Несмотря на то, что возможно получение толщины упрочненного слоя до 1 мм, этот процесс занимает очень продолжительное время (до 72 часов).

Насыщение поверхности чугуна алюминием (алитирование) используют с целью повышения коррозионной стойкости при повышенных температурах.

Исследованиями [14] установлено, что при алитировании происходит формирование насыщенной углеродом зоны под диффузионным слоем, из-за того, что алюминий вытесняет туда углерод. Аналогичным образом в данном случае происходит вытеснение и других легирующих элементов. При этом концентрация алюминия в диффузионном слое может превышать 50% по массе [14]. Недостатком диффузионных покрытий данного класса является их плохая сопротивляемость абразивному износу. В работе [14] предлагается комбинированный способ насыщения чугуна ванадием и алюминием с целью преодоления данных недостатков.

Диффузионное насыщение бором выполняется с целью повышения твердости и износостойкости. Однако данные типы покрытий имеют плохую сопротивляемость к воздействию динамических и усталостных нагрузок. При борировании наблюдается четко выраженная граница раздела с основным металлом.

Силицирование серого чугуна выполняют в газовой среде при температуре 960° С. Время выдержки составляет 2 часа. При этом сопротивляемость абразивному износу возрастает в 2.5 раза. Однако диффузионным слоям присуща повышенная хрупкость и пористость. Толщина слоя не превышает 0.5 мм.

Следует отметить, что к серым чугунам практически не применяются процессы насыщения титаном, хромом, молибденом и т.д. Проблема здесь в том что, при использовании традиционной технологии легирования с использованием газовых сред [14,28] после проникновения легирующих элементов внутрь чугуна образуются карбиды, что препятствует дальнейшему процессу

легирования. Вследствие этого толщина диффузионного слоя не превышает 0.1 мм. Кроме того, в данном случае используются дорогостоящие материалы.

Таким образом, существующие методы поверхностного упрочнения не позволяют эффективно упрочнять детали из серого чугуна, обратный характер распределения твердости также не формируется.

1.4 Обеспечение и повышение долговечности силовых приводов и шарниров рабочего оборудования строительного-дорожных машин

Существенной причиной выхода из строя строительного-дорожных машин являются неисправности силовых приводов и шарниров рабочего оборудования.

На рисунке 1.21 представлена классификация методов по виду технологического воздействия.

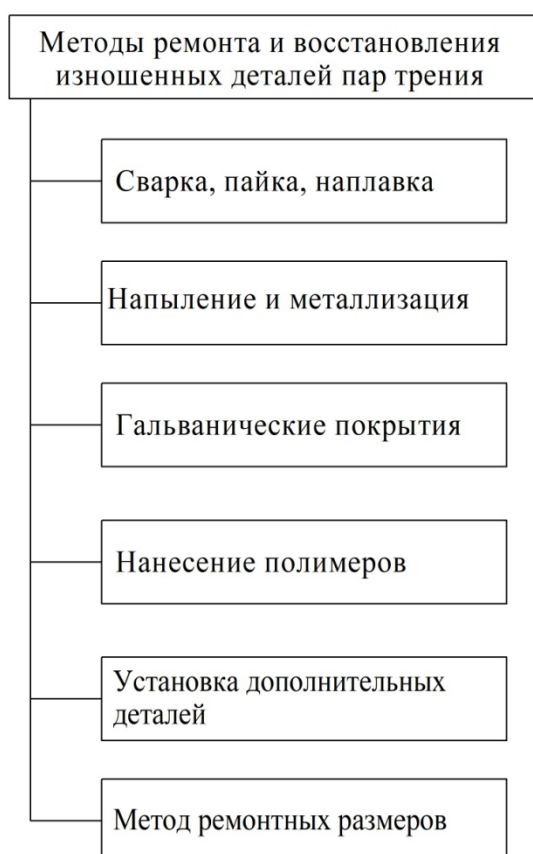


Рисунок 1.21 – Методы ремонта и восстановления

Под **наплавкой** понимается нанесение слоя расплавленного материала на поверхность изделия. По используемому источнику нагрева выделяют термические, термомеханические и механические виды наплавки. Толщина наплавляемого слоя может изменяться в весьма широких пределах (от доли до десятков миллиметров).

Особенности физико-химических свойств и структуры чугуна приводят к определенным трудностям при восстановлении изношенных деталей посредством наплавки. Из-за охлаждения с высокой скоростью и выгорания кремния происходит процесс отбеливания чугуна, что затрудняет последующую обработку резанием. При неравномерном нагреве из-за низкой пластичности чугуна в нем могут образоваться трещины в шве и околошовной зоне. Серый чугун характеризуется низкой температурой плавления и быстрым переходом из твердого состояния в жидкое, что ухудшает удаление газов из шва и приводит к его пористости.

Сварка при ремонте деталей строительно-дорожных машин из чугуна может применяться для устранения трещин, раковин от коррозии и других повреждений. Влияние процесса сварки на структуру и свойства поверхностного слоя в целом схожи с наплавкой.

Под **пайкой** понимают процесс соединения деталей в твердом состоянии металлическим расплавом, образующимся из присадочного материала (припоя) непосредственно в месте пайки. Данным методом устраняют сколы и трещины в деталях. Для чугуна используются как низкотемпературная, так и высокотемпературная пайка.

Напыление и металлизация предполагает нанесение расплавленного металла на поверхность, при этом наносимый материал распыляется на мельчайшие частицы. Используется проволоочная, порошковая, газопламенная, детонационная и другие технологии напыления. Образующийся слой обладает пористостью, однако преимуществом данных процессов является то, что перегрева основного материала не наблюдается.

Восстановление деталей строительно-дорожных машин **гальваническими покрытиями** основано на явлении электролиза. Данным методом возможно нанесение хрома, цинка и других материалов и получение слоев различной толщины вплоть до нескольких миллиметров. В качестве механической обработки чаще применяется шлифование.

При ремонте и восстановлении используются следующие **полимерные материалы**: поликапроамид (капрон), полиэтилен, полистирол, полиамид, волокнит, эпоксидные смолы, синтетические клеи, герметики, анаэробные полимерные материалы и др. К достоинствам использования метода нанесения полимеров можно отнести хорошие антифрикционные свойства, химическую стойкость, простоту технологии восстановления и т.д. К недостаткам метода относят изменение их свойств в зависимости от срока службы (старение), сравнительно низкую твердость, усталостную прочность и теплостойкость.

Установка дополнительной ремонтной детали используется для компенсации износа поверхностей трения или при замене поврежденной части детали. Данный метод применяется преимущественно для восстановления внутренних поверхностей, в зависимости от формы поверхности применяют различные виды ремонтных деталей строительно-дорожных машин: гильзы, кольца, шайбы, пластины, резьбовые втулки и т.д. К достоинствам метода можно отнести простоту оборудования и технологии, а к недостаткам – снижение прочности восстанавливаемой детали.

Метод ремонтных размеров предполагает, что одна из изношенных деталей сопряжения, обычно более дорогостоящая и ответственная, подвергается механической обработке до заранее установленного ремонтного размера, а другую деталь заменяют новой или заранее отремонтированной до этого же ремонтного размера. К достоинствам данного метода можно отнести возможность максимального восстановления параметров точности и качества поверхности деталей строительно-дорожных машин, сравнительную простоту и дешевизну технологии. Среди основных недостатков можно вы-

делить невозможность изготовления сопряженной детали, пока не отремонтирована основная, и нарушение взаимозаменяемости.

В таблице 1.7 приведены данные по технологии ремонта и восстановления для основных частей приводов и шарниров рабочего оборудования.

Таблица 1.7 – Технологии ремонта и восстановления для основных частей приводов и шарниров рабочего оборудования

Наименование детали	Материал детали	Изнашивающиеся конструктивные элементы	Требования по точности и качеству поверхностей	Применяемые ремонтные воздействия	Упрочнение поверхности
Шток гидроцилиндра	Сталь	Износ наружной поверхности; срыв резьбы; износ отверстий вилки под палец; прогиб	IT 8-10, Ra 0.32-0.63	Шлифовка, правка, при сильном износе наплавка	Хромирование
Гильза (корпус) гидроцилиндра	Сталь или чугун	Износ центрального отверстия	IT 8-10, Ra 0.32-0.63	Растачивание и хонингование, изготовление гильзы	Хромирование
Поршень гидроцилиндра	Алюминиевый сплав или чугун	Износ наружных поверхностей	IT 8-10, Ra 0.32-0.63	Изготовление нового поршня под размер гильзы	-
Крышка	Чугун	Износ отверстия под шток	IT 8-10, Ra 1.6-3.2	Растачивание и установка ремонтных втулок из чугуна	-

Окончание таблицы 1.7

Втулки шарниров рабочего оборудования	Сталь, Чугун	Износ отверстия	IT 8-10, Ra 1.6-3.2	Растачивание и повторное упрочнение	Преимущественно поверхностная закалка
Поршень гидромотора	Сталь ШХ-15 или Чугун	Износ наружной поверхности	IT6-8, Ra 0.08-0.16	Шлифовка, правка, притирка или изготовление новой детали	HRC 57-62
Блок цилиндров (аксиально-поршневые насосы)	Сталь, бронза, чугун	Износ торца, сферической части и поверхностей гильз	IT6-8, Ra 0.02-0.08	Расточка, шлифовка или изготовление новой детали	HRC 60-64
Втулка	Бронза, Чугун	Износ контактных поверхностей	IT6-8, Ra 0.08-0.16	Шлифовка, правка, притирка или изготовление новой детали	Твердость соответствует исходному материалу

Анализируя данные таблицы 1.7, следует отметить, что повышения послеремонтной надежности требуют втулки шарниров рабочего оборудования, т.к. после обработки в ремонтный размер требуется повторное упрочнение, чтобы его произвести, необходимо демонтировать втулку.

1.5 Выводы, цель, задачи и общая схема исследования

На основании проведенного анализа состояния вопроса можно сделать следующие выводы:

- наиболее частой причиной отказов строительно-дорожных машин и их рабочего оборудования является изнашивание, приводящее к тому, что довольно продолжительный период времени машины простаивают по техническим причинам. Выход из данной ситуации видится в повышении надежности строительно-дорожных машин и их агрегатов на всех этапах жизненного цикла;

- ресурс быстроизнашивающихся частей рабочего оборудования строительно-дорожных машин существенно меньше срока службы машины. Изменение их состояния приводит к росту нагрузок на силовые приводы строительно-дорожных машин и снижению производительности. Для повышения долговечности быстроизнашивающихся частей, особенно в условиях абразивного износа, целесообразно использовать композиционные материалы и поверхностное упрочнение;

- состояние парка строительно-дорожных машин в Российской Федерации характеризуется высокой долей техники со сроком эксплуатации более 15-20 лет (по некоторым типам она достигает 70%), при этом обновление идет достаточно медленно. Из этого следует, что все большую актуальность приобретают вопросы ремонта и восстановления;

- исследования отечественных и зарубежных ученых показывают, что в среднем только 15-20% изношенных деталей строительно-дорожных машин подвергаются восстановлению. Таким образом, совершенствование ремонта и восстановления элементов строительно-дорожных машин является эффективным способом повышения надежности машин;

- при использовании традиционных методов поверхностного упрочнения наблюдается уменьшение твердости по толщине слоя. Данная ситуация порождает не совсем благоприятный характер изменения интенсивности от-

казов: удлинение периода приработки и сокращение периода нормальной работы узла. Формирование обратного распределения твердости дает возможность преодолеть данную проблему.

На основании проведенного анализа состояния вопроса были определены следующие **задачи**:

1. Уточнить понятийный аппарат для разработки теоретических и практических основ обеспечения долговечности рабочего оборудования строительного-дорожных машин на базе использования упрочнения на основе систематизации накопленного научного знания;

2. Разработать математическую модель для прогнозирования динамики изнашивания и долговечности элементов рабочего оборудования строительного-дорожных машин, имеющих упрочненный слой;

3. Теоретически и экспериментально обосновать новый метод повышения долговечности рабочего оборудования строительного-дорожных машин с использованием поверхностного упрочнения;

4. Сформировать технологические рекомендации по обеспечению требуемых параметров качества поверхностного слоя деталей при поверхностном упрочнении на основе разработанного метода;

5. Исследовать особенности формирования шероховатости поверхностей при механической обработке шарниров рабочего оборудования с упрочненным слоем, разработать структурную схему и программно-аппаратный комплекс, реализующий устройство контроля износа инструмента;

6. Провести апробацию полученных результатов в реальных условиях эксплуатации.

2 КОНЦЕПЦИЯ. МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ И ОБЩИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Концепция повышения надежности рабочего оборудования строительно-дорожных машин

Полученные в результате анализа состояния проблемы выводы, а также результаты ранее выполненных автором исследований были положены в основу концепции решения проблемы повышения надежности рабочего оборудования строительно-дорожных машин.

Концепция заключается в предложенной возможности повышения надежности рабочего оборудования строительно-дорожных машин посредством совершенствования организационных аспектов в области ремонта и применения нового технологического метода восстановления, позволяющего в управляемом режиме получать упрочненные слои контактирующих деталей с параметрами качества поверхностного слоя, обеспечивающими оптимальные эксплуатационные свойства на основе:

- разработки решений в области прогнозирования надежности рабочих органов и шарниров рабочего оборудования;
- разработки и реализации нового метода поверхностного упрочнения, который позволяет повысить долговечность рабочих органов, в том числе для случаев взаимодействия с абразивной средой;
- совершенствования подходов к восстановлению шарниров рабочего оборудования на основе применения материалов с обратным распределением твердости по толщине слоя.

Как видно из формулировки концепции, ее особенность заключается:

- в том, что применение разработанного метода упрочнения деталей позволяет в условиях ремонтного производства получать упрочненный слой

толщиной до 3 мм без использования специализированного технологического оборудования;

– в том, что микротвердость по толщине упрочненного слоя возрастает, поэтому с учетом достаточно высокой толщины слоя, имеется возможность несколько раз производить удаление припуска под ремонтный размер без необходимости повторного упрочнения;

– в принципиальной позиции, заключающейся в возможности формировать на деталях упрочненный слой с требуемыми механическими свойствами в условиях ремонтного производства.

Классификация групп отказов для рабочего оборудования – на рисунке 2.1. Можно выделить 4 основные типа отказов (см. рисунок 2.1). При прогнозировании послеремонтной надежности рабочего оборудования принимается меньшее значение по рассмотренным выше типам отказов. Учитывая данные на рисунках 1.10 и 1.11, для дальнейшего рассмотрения целесообразно оставить рабочие органы и соединительные элементы (шарниры рабочего оборудования).

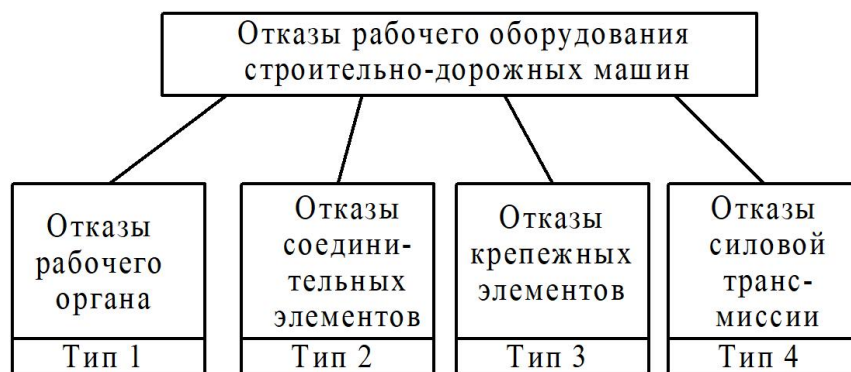


Рисунок 2.1 – Классификация отказов рабочего оборудования

Методологическая схема исследования приведена на рисунке 2.2.



Рисунок 2.2 – Логико-структурная схема исследования

2.2 Методологические основы повышения долговечности деталей рабочего оборудования строительно-дорожных машин

2.2.1 Комплексный технико-экономический анализ существующих методов повышения долговечности

Сравнение технических и экономических возможностей производим на основе метода анализа иерархий [96]. В данном случае предполагается реше-

ние задачи для двух уровней иерархии по выбору из пяти альтернатив по пяти критериям.

Перечень альтернативных вариантов приведен на рисунке 1.17, а в качестве критериев можно выделить следующие:

1. Толщина упрочненного слоя (K1);
2. Управляемость процессом (K2) (комплексный показатель, характеризующий требования к квалификации рабочего, простоту методики назначения режимов и сложность технологического процесса);
3. Обрабатываемость упрочненного слоя резанием (K3);
4. Твердость (K4);
5. Экономичность способа (K5).

Полная доминантная иерархия приведена на рисунке 2.3.



Рисунок 2.3 – Полная доминантная иерархия

Матрицы парных сравнений для уровня целей и критериев приведены в таблицах 2.1 – 2.6.

Таблица 2.1 – Матрица парных сравнений для уровня целей

	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅
K ₁	1	1/3	3	1/5	1/3
K ₂	3	1	3	4	2
K ₃	1/3	1/3	1	1/5	1/2
K ₄	5	1/4	5	1	3
K ₅	3	1/2	2	1/3	1

Таблица 2.2 – Матрица парных сравнений для уровня критериев «Толщина упрочненного слоя»

K ₁	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅
B ₁	1	8	8	8	8
B ₂	1/8	1	1/6	4	1/5
B ₃	1/8	6	1	4	1/5
B ₄	1/8	1/4	1/4	1	1/8
B ₅	1/8	5	5	8	1

Таблица 2.3 – Матрица парных сравнений для уровня критериев «Управляемость процессом»

K ₂	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅
B ₁	1	7	5	6	1
B ₂	1/7	1	3	4	1/7
B ₃	1/5	1/3	1	3	1/7
B ₄	1/6	1/4	1/3	1	1/7
B ₅	1	7	7	7	1

Таблица 2.4 – Матрица парных сравнений для уровня критериев «Обрабатываемость слоя резанием»

K ₃	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅
B ₁	1	8	8	8	1/5
B ₂	1/8	1	1/5	5	1/7
B ₃	1/8	5	1	6	1/7
B ₄	1/8	1/5	1/6	1	1/7
B ₅	5	7	7	7	1

Таблица 2.5 – Матрица парных сравнений для уровня критериев «Твердость»

K ₄	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅
B ₁	1	1/9	1/5	1/5	1/9
B ₂	9	1	4	1/7	6
B ₃	9	1/4	1	1/5	6
B ₄	9	7	5	1	7
B ₅	9	1/6	1/6	1/7	1

Таблица 2.6 – Матрица парных сравнений для критериев «Экономичность способа»

K ₅	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅
B ₁	1	4	1/5	3	2
B ₂	1/4	1	1/5	1/3	1/7
B ₃	5	5	1	4	1/4
B ₄	1/3	3	1/4	1	1/3
B ₅	1/2	7	4	3	1

На рисунке 2.4 приведены результаты комплексного технико-экономического анализа методов повышения долговечности деталей из серого чугуна:

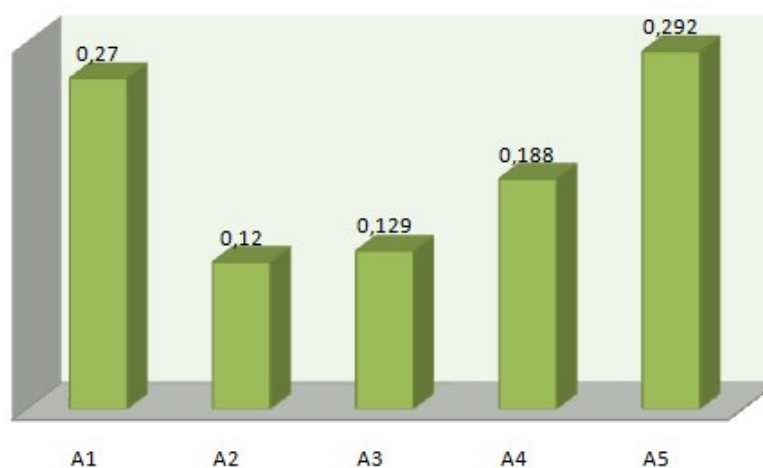


Рисунок 2.4 – Результаты комплексного технико-экономического анализа методов повышения долговечности деталей строительно-дорожных машин

Из рисунка 2.4 следует, что наилучшим сочетанием критериев обладает альтернатива А5 (химико-термическая обработка).

Если рассматривать традиционные методы поверхностного упрочнения, то по мере износа величина его интенсивности будет нарастать. При этом период приработки будет удлиняться, а период нормального износа – сокращен.

Учитывая сказанное выше, методика проектирования быстроизнашивающихся частей рабочего оборудования строительного-дорожного машин имеет вид:

1. Ввод данных по режиму работы узла (срок службы L , коэффициенты $K_{сут}$, $K_{год}$);
2. Определение требуемой долговечности узла $[L] = L \cdot K_{сут} \cdot K_{год}$ и ввод требуемого значения периода приработки $[L_{прир}]$;
3. Ввод данных для определения действующих нагрузок;
4. Определение нагрузок на узел;
5. Предварительный выбор легирующего элемента, толщины упрочненного слоя h и толщины ферритной каймы $[h_{ДС}]$;
6. Ввод данных по физико-механическим свойствам материала;
7. Определение величины достигаемой долговечности $L_{достиг}$;
8. Оценка величины периода приработки $L_{прир}$;
9. Проверка условий $L_{достиг} \geq [L]$ и $L_{прир} \leq [L_{прир}]$.
10. Корректировка данных из пункта 5 в случае невыполнения условий в пункте 9.

Графически методику можно представить в виде алгоритма (см. рисунок 2.5).

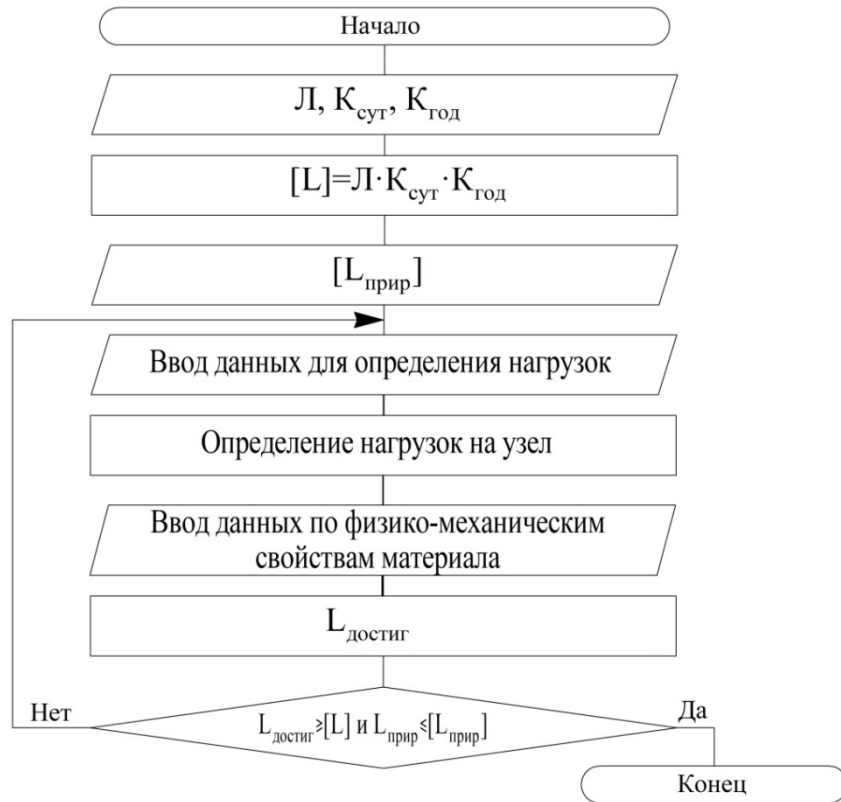


Рисунок 2.5 – Алгоритм проектирования

Рассмотрим особенности определения интенсивности изнашивания для деталей рабочих органов и силовых приводов строительно-дорожных машин с учетом предполагаемого характера распределения твердости в упрочненном слое.

Учитывая предполагаемый переменный характер твердости, типичная зависимость I_h от толщины слоя будет иметь вид, представленный на рисунке 2.6.

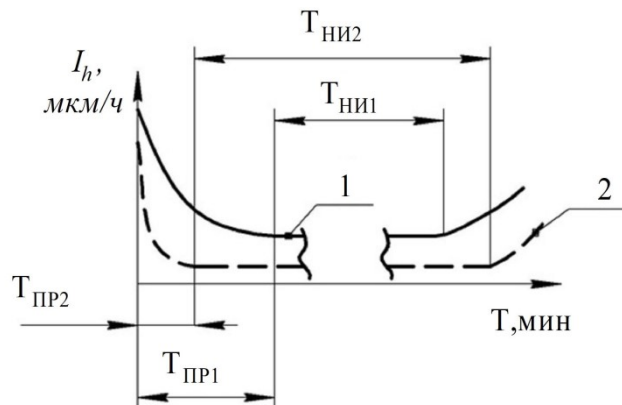


Рисунок 2.6 – Интенсивности изнашивания: $T_{ПР1}$, $T_{НИ1}$ – период приработки и нормального износа для традиционного упрочнения (кривая 1); $T_{ПР2}$, $T_{НИ2}$ – период приработки и нормального износа для упрочнения с обратным распределением твердости (кривая 2)

2.2.2 Теоретическое обоснование метода повышения долговечности

В ходе исследований была выдвинута гипотеза о том, что *поверхностная энергия железа способствует диссоциации оксидов легирующих элементов*, при этом имеется возможность реализации метода термодиффузионного поверхностного легирования чугуна без необходимости использования вспомогательных сред, содержащих хлориды и фториды.

Суммарная величина энергии в межфазном слое определялось по зависимости вида:

$$\Delta G_{T,S} = \Delta G_S + \Delta G_T, \quad (2.1)$$

где $\Delta G_{T,S}$ – общая энергия Гиббса в межфазном слое, ΔG_T – термодиффузионная составляющая энергии Гиббса, ΔG_S – поверхностная энергия.

Расчеты проводились для реакций взаимодействия углерода основы чугуна с оксидами титана, ванадия и хрома, которые описываются следующими уравнениями:



Значения ΔG_T определялись с использованием уравнений констант равновесия и закона Гесса. В таблице 2.7 приведены результаты расчетов величины $\Delta G_{T,S}$ при взаимодействии чугуна с оксидами титана, ванадия и хрома.

Таблица 2.7 – Результаты расчетов величины $\Delta G_{T,S}$

Температура, К	1273	1373
Оксид TiO_2		
$(\Delta G_S + \Delta G_T)$	$-0,86 \cdot 10^5$	$-1,2 \cdot 10^5$
Оксид V_2O_3		
$(\Delta G_S + \Delta G_T)$	$-9,9 \cdot 10^4$	$-1,46 \cdot 10^5$
Оксид Cr_2O_3		
$(\Delta G_S + \Delta G_T)$	$-2,19 \cdot 10^5$	$-2,65 \cdot 10^5$

Как следует из данных, приведенных в таблице 2.7, величина $\Delta G_{T,S}$ во всех случаях имеет отрицательные значения. Таким образом, потенциальная возможность реализации метода термодиффузионного поверхностного легирования без использования сред фторидов и хлоридов существует.

Сущность рабочей гипотезы при исследовании химического состава слоя состоит в том, что *при реализации процесса термодиффузионного легирования феррито-перлитного серого чугуна происходит окисление кремния и марганца основы, что дает возможность получения перлитной структуры.*

В ходе расчетов производилось определение констант равновесия и энергии Гиббса реакций в системах вида $[Fe - Si - Me]_{\delta Fe - Me_n O_{mT}} - SiO_{2T}$ и $[Fe - Mn - Me]_{\delta Fe - Me_n O_{mT}} - MnO_T$. Результаты расчета приведены в таблицах 2.8 и 2.9.

Таблица 2.8 – Значения констант равновесия и энергии Гиббса реакций окисления кремния основы чугуна

Оксид	Температура, К	lgK	ΔG , Дж
FeO	1173	14.52	$-3.25 \cdot 10^5$
	1273	13.202	$-3.21 \cdot 10^5$
	1373	12.1	$-3.17 \cdot 10^5$
Cr ₂ O ₃	1173	19.697	$-4.42 \cdot 10^5$
	1273	18.15	$-4.41 \cdot 10^5$
	1373	16.83	$-4.41 \cdot 10^5$
MoO ₂	1173	14.133	$-3.167 \cdot 10^5$
	1273	13.022	$-3.168 \cdot 10^5$
	1373	12.072	$-3.168 \cdot 10^5$
V ₂ O ₃	1173	17.105	$-3.835 \cdot 10^5$
	1273	15.061	$-3.665 \cdot 10^5$
	1373	13.306	$-3.494 \cdot 10^5$
TiO ₂	1173	-1.402	$3.144 \cdot 10^4$
	1273	-1.272	$3.096 \cdot 10^4$
	1373	-1.161	$3.047 \cdot 10^4$

Таблица 2.9 – Значения констант равновесия и энергии Гиббса реакций окисления марганца основы чугуна

Оксид	Температура, К	lgK	ΔG , Дж
FeO	1173	4.934	$-1.106 \cdot 10^5$
	1273	4.507	$-1.097 \cdot 10^5$
	1373	4.143	$-1.087 \cdot 10^5$
Cr ₂ O ₃	1173	2.808	$-6.295 \cdot 10^4$
	1273	2.733	$-6.649 \cdot 10^4$
	1373	2.669	$-7.003 \cdot 10^4$
MoO ₂	1173	9.484	$-2.126 \cdot 10^5$
	1273	8.834	$-2.149 \cdot 10^5$
	1373	8.279	$-2.173 \cdot 10^5$
V ₂ O ₃	1173	-2.4	$5.381 \cdot 10^4$
	1273	-2.316	$5.197 \cdot 10^4$
	1373	-1.91	$5.013 \cdot 10^4$
TiO ₂	1173	-9.9	$2.22 \cdot 10^5$
	1273	-9.308	$2.265 \cdot 10^5$
	1373	-8.803	$2.31 \cdot 10^5$

Из приведенных данных следует, что кремний основы чугуна могут окислять оксиды железа, хрома, молибдена и ванадия, а марганец – только железа, хрома и молибдена.

Результаты расчетов равновесных концентраций кремния и марганца при окислении оксидами FeO, Cr₂O₃ и MoO₂ приведены в таблицах 2.10-2.16.

Таблица 2.10 – Параметры равновесия в системе $[Fe - Si]_T - FeO_T - SiO_{2T}$

T, К	lgK _{3,1}	K _{3,1}	a _{Si}	X _{Si}
1173	14.52	$10^{14.52}$	$10^{-14.52}$	$10^{-8.52}$
1273	13,202	$10^{13.202}$	$10^{-13.202}$	$10^{-9.202}$
1373	12,1	$10^{12.1}$	$10^{-12.1}$	$10^{-8.1}$

Таблица 2.11 – Параметры равновесия в системе $[Fe - Si - Cr]_{6Fe - Cr_2O_{3T} - SiO_{2T}}$

T, K	$\lg K_{3.7}$	$K_{3.7}$	$\lg a_{Cr}$	$\lg a_{Si}$	x_{Cr}	$x_{Si} \cdot 10^3$
1173	19.967	$10^{19.697}$	-1.407	-8.442	0.0850	0.091
			-1.364	-8.384	0.0870	0.103
			-1.324	-8.331	0.0866	0.117
			-1.278	-8.270	0.0840	0.133
			-1.252	-8.235	0.0820	0.146
1273	18.15	$10^{18.15}$	-1.368	-7.636	0.0970	0.231
			-1.326	-7.579	0.1010	0.264
			-1.283	-7.522	0.1050	0.301
			-1.240	-7.465	0.1070	0.343
			-1.279	-7.437	0.1080	0.366
1373	16.83	$10^{16.83}$	-1.334	-7.378	0.1050	0.418
			-1.291	-7.320	0.1130	0.479
			-1.248	-7.263	0.1200	0.546
			-1.205	-7.206	0.1280	0.622
			-1.185	-7.180	0.1310	0.660

Таблица 2.12 – Параметры равновесия в системе $[Fe - Mo - Cr]_{6Fe - MoO_{2T} - SiO_{2T}}$

T, K	$\lg K_{3.11}$	$K_{3.11}$	$\lg a_{Mo}$	$\lg a_{Si}$	x_{Mo}	$x_{Si} \cdot 10^{10}$
1173	14.133	$10^{14.133}$	-2.024	-16.158	0.0820	0.174
			-2.009	-16.143	0.0840	0.179
			-2.002	-16.136	0.0850	0.183
			-1.991	-16.124	0.0866	0.188
			-1.988	-16.122	0.0870	0.189
1273	13.022	$10^{13.022}$	-1.849	-14.871	0.0970	0.340
			-1.824	-14.846	0.1010	0.360
			-1.800	-14.822	0.1050	0.380
			-1.788	-14.81	0.1070	0.390
			-1.782	-14.805	0.1080	0.393
1373	12.072	$10^{12.072}$	-1.74	-13.813	0.1050	0.385
			-1.695	-13.767	0.1130	0.427
			-1.657	-13.73	0.1200	0.466
			-1.616	-13.688	0.1280	0.513
			-1.600	-13.673	0.1310	0.531

Таблица 2.13 – Параметры равновесия в системе $[Fe - V - Cr]_{\text{г Fe}} - V_2O_{3T} - SiO_{2T}$

T, K	$\lg K_{3.15}$	$K_{3.15}$	$\lg a_V$	$\lg a_{Si}$	X_V	$x_{Si} \cdot 10^3$
1173	17.105	$10^{17.105}$	-2.461	-6.33	0.0820	0.117
			-2.444	-6.308	0.0840	0.123
			-2.436	-6.297	0.0850	0.126
			-2.423	-6.28	0.0866	0.132
			-2.42	-6.276	0.0870	0.133
1273	15.061	$10^{15.061}$	-2.239	-5.749	0.0970	0.446
			-2.21	-5.711	0.1010	0.487
			-2.183	-5.674	0.1050	0.529
			-2.169	-5.656	0.1070	0.543
			-2.162	-5.647	0.1080	0.568
1373	13.306	$10^{13.306}$	-2.095	-5.313	0.1050	1.200
			-2.043	-5.244	0.1130	1.400
			-2.000	-5.186	0.1200	1.600
			-1.952	-5.123	0.1280	1.900
			-1.935	-5.100	0.1310	2.000

Таблица 2.14 - Параметры равновесия системы $[Fe - Mn]_T - FeO_T - MnO_T$

T, K	x_{Mn}	x_{Fe}	a_{MnO}	a_{FeO}	x_{MnO}	x_{FeO}
1173	0,0100	0,9900	0,9994	0,0025	0,9990	0,0010
	0,1000	0,9000	0,9999	0,0002	0,9999	0,0001
1273	0,0100	0,9900	0,9990	0,0029	0,9990	0,0010
	0,1000	0,9000	0,9999	0,0003	0,9999	0,0001
1373	0,0100	0,9900	0,9970	0,0080	0,9970	0,0030
	0,1000	0,9000	0,9998	0,0005	0,9998	0,0002

Таблица 2.15 – Параметры равновесия системы $[Fe-Mn-Cr]_T - Cr_2O_{3T} - MnO_T$

T, K	x_{Mn}	x_{Mn}^3	a_{Cr}	x_{Cr}
1173	10^{-2}	10^{-6}	0.062	$0,35 \times 10^{-3}$
	10^{-3}	10^{-9}	0.068	$0,46 \times 10^{-4}$
1273	10^{-2}	10^{-6}	0,065	$0,40 \times 10^{-3}$
	10^{-3}	10^{-9}	0,007	$0,44 \times 10^{-4}$
1373	10^{-2}	10^{-6}	0,060	$0,72 \times 10^{-3}$
	10^{-3}	10^{-9}	0,006	$0,70 \times 10^{-4}$

Таблица 2.16 – Параметры равновесия системы $[Fe-Mn-Mo]_T - MoO_{2T} - MnO_T$

T, K	x_{Mn}	a_{Mo}	x_{Mo}
1173	1.2×10^{-6}	$4,5 \times 10^{-3}$	$0,35 \times 10^{-3}$
	4.4×10^{-7}	$5,9 \times 10^{-4}$	$0,46 \times 10^{-4}$
1273	2.4×10^{-6}	$4,2 \times 10^{-3}$	$0,40 \times 10^{-3}$
	8.2×10^{-7}	$4,6 \times 10^{-4}$	$0,44 \times 10^{-4}$
1373	5.8×10^{-6}	$6,4 \times 10^{-3}$	$0,72 \times 10^{-3}$
	1.8×10^{-6}	$6,2 \times 10^{-4}$	$0,70 \times 10^{-4}$

Расчеты равновесных концентраций кремния и марганца при окислении оксидами FeO, Cr₂O₃ и MoO₂ показали, что на поверхности чугуна можно получить диффузионный слой с последующей возможностью закалки.

2.3 Комплексный технико-экономический анализ существующих методов ремонта и восстановления деталей рабочего оборудования строительного-дорожных машин

Сравнение методов ремонта будем выполнять на основе метода анализа иерархий. Перечень альтернативных вариантов приведен на рисунке 1.22, а в качестве критериев можно выделить следующие:

1. Отсутствие резкого перепада свойств восстановленного слоя и основы (К1);
2. Сцепляемость восстановленного слоя и основы материала (К2) (количественно оценивается коэффициентом сцепляемости);
3. Обрабатываемость восстановленного слоя резанием (К3) (количественно оценивается коэффициентом обрабатываемости);
4. Экономичность способа (К4);
5. Экологичность способа (К5).

Первые три критерия оказывают непосредственное влияние на после-ремонтную надежность, а критерии 4 и 5 являются дополнительными с точки

зрения затрат и влияния на экологию и здоровье рабочих. Полная доминантная иерархия приведена на рисунке 2.7.

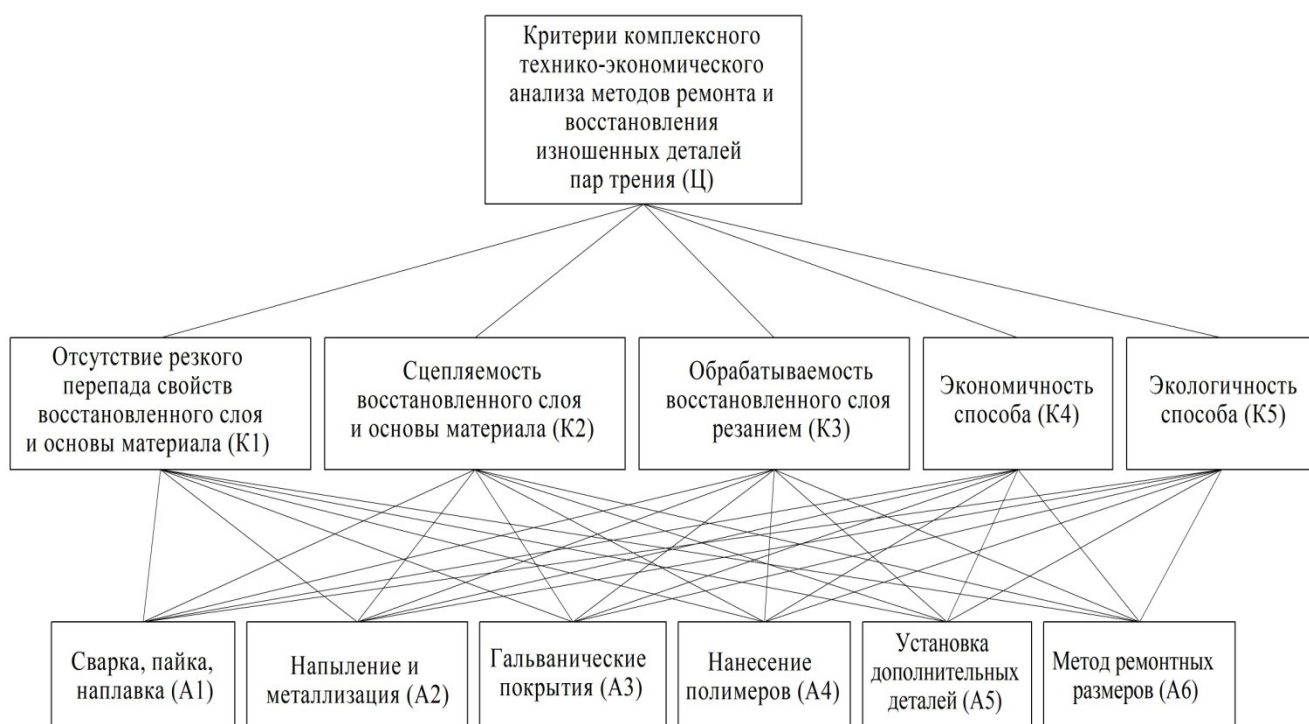


Рисунок 2.7 – Полная доминантная иерархия

Матрицы парных сравнений для уровня целей и критериев приведены в таблицах 2.17 – 2.22.

Таблица 2.17 - Матрица парных сравнений для уровня целей

	К ₁	К ₂	К ₃	К ₄	К ₅
К ₁	1	5	3	5	5
К ₂	1/5	1	6	6	6
К ₃	1/3	1/6	1	¼	4
К ₄	1/5	1/6	4	1	3
К ₅	1/5	1/6	1/4	1/3	1

Таблица 2.18 - Матрица парных сравнений для уровня критериев «Отсутствие резкого перепада свойств слоя и основы материала»

К ₁	В ₁	В ₂	В ₃	В ₄	В ₅	В ₆
В ₁	1	1/3	1/3	4	1/6	1/8
В ₂	3	1	3	5	1/6	1/8

Окончание таблицы 2.18

B_3	3	1/3	1	4	1/6	1/8
B_4	1/4	1/5	1/4	1	1/6	1/8
B_5	6	6	6	6	1	1/6
B_6	8	8	8	8	6	1

Таблица 2.19 - Матрица парных сравнений для уровня критериев «Сцепляемость восстановленного слоя и основы материала»

K_2	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5	B_6
B_1	1	3	3	3	1/5	1/8
B_2	1/3	1	4	4	1/6	1/8
B_3	1/3	1/4	1	4	1/6	1/8
B_4	1/3	1/4	1/4	1	1/6	1/8
B_5	5	6	6	6	1	1/5
B_6	8	8	8	8	5	1

Таблица 2.20 - Матрица парных сравнений для уровня критериев «Обрабатываемость восстановленного слоя резанием»

K_3	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5	B_6
B_1	1	5	8	8	1/6	1/8
B_2	1/5	1	1	1	1/7	1/8
B_3	1/8	1	1	1	1/7	1/8
B_4	1/8	1	1	1	1/7	1/8
B_5	6	7	7	7	1	1/8
B_6	8	8	8	8	8	1

Таблица 2.21 - Матрица парных сравнений для уровня критериев «Экономичность способа»

K_4	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5	B_6
B_1	1	3	3	1/5	1/3	1/5
B_2	1/3	1	1/3	1/5	1/5	1/7
B_3	1/3	3	1	1/5	1/5	1/7
B_4	5	5	5	1	1/3	1/5
B_5	3	5	5	3	1	1/4
B_6	5	7	7	5	4	1

Таблица 2.22 - Матрица парных сравнений для уровня критериев «Экологичность способа»

K_5	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5	B_6
B_1	1	1	4	1/6	1/7	1/7
B_2	1	1	4	1/4	1/7	1/7
B_3	1/4	1/4	1	1/4	1/7	1/7
B_4	6	4	4	1	1/3	1/3
B_5	7	7	7	3	1	1/2
B_6	7	7	7	3	2	1

На рисунке 2.8 приведены результаты комплексного технико-экономического анализа:

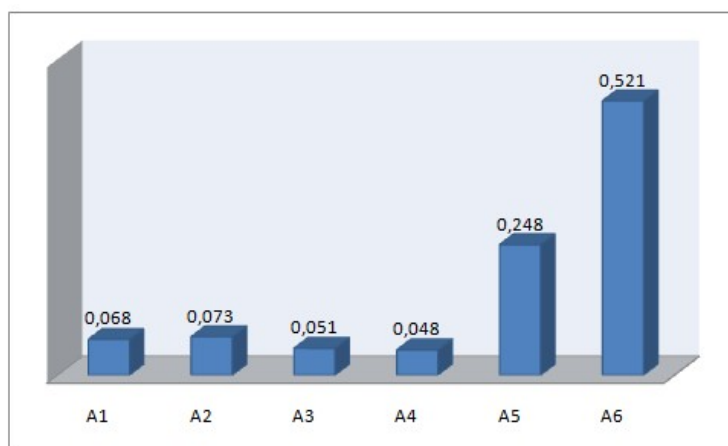


Рисунок 2.8 - Результаты комплексного технико-экономического анализа методов ремонта и восстановления строительного-дорожных машин

Из рисунка 2.8 следует, что наилучшим сочетанием критериев обладает альтернатива A_6 (метод ремонтных размеров). Однако одним из существенных обстоятельств, которое препятствует более широкому внедрению данного метода в практику, является проблема с восстановлением физико-механических свойств поверхностного слоя, т.к. большинство методов упрочнения серого чугуна малоприменимо в условиях ремонтного производства. Предлагаемый способ упрочнения с обратным распределением твердости по толщине слоя позволяет преодолеть данный недостаток.

2.3 Общие теоретические исследования текстуры профиля шероховатости поверхностей деталей с упрочненным слоем

Текстура профиля шероховатости поверхности, которая формируется в ходе механической обработки, может рассматриваться как суммарный результат реализации многих процессов, например, упругих и пластических деформаций, кинематики процесса обработки, вибраций и т.д.

При решении большинства задач технологического обеспечения точности и качества обработанных поверхностей, в частности, при токарной обработке, глубина и усилия резания условно принимаются постоянными. На самом деле, данные величины таковыми не являются, а функция зависимости их значений от времени носит случайный характер. В частности, существенным фактором, который влияет на изменение сил резания, является процесс образования стружки. В работах [72,73] установлено, что на колебание сил резания существенное влияние оказывает скорость резания.

Случайный характер изменения сил резания во времени, в свою очередь, порождает случайный характер зависимости упругих деформаций в процессе обработки. Случайные же смещения можно рассматривать как причину возникновения соответствующей составляющей в текстуре профиля шероховатости обработанной поверхности.

Таким образом, полученный профиль обработанной поверхности, можно рассматривать как сумму двух составных частей: систематической (которая порождается кинематикой процесса обработки и геометрией инструмента) и случайной, которая вызвана, прежде всего, вибрациями элементов технологической системы, а также процессами образования нароста, сколами режущей части инструмента и т.д.

Причем если вклад первой составляющей достаточно легко учитывается при помощи известных зависимостей [66,191-194], то для случайной составляющей необходимо подробное изучение ее доли в общей текстуре профиля и влияние условий обработки.

Блок-схема образования микронеровностей при токарной обработке имеет вид, приведенный на рисунке 2.9 [127].



Рисунок 2.9 - Блок-схема образования микронеровностей при токарной обработке

В качестве входа системы можно рассмотреть идеальный профиль шероховатости поверхности, который состоит на 100% из систематической составляющей.

Однако в реальности на данный профиль накладываются возмущения (случайная составляющая). Выходом является реальный профиль шероховатости обработанной детали (рисунок 2.9) [127,208].

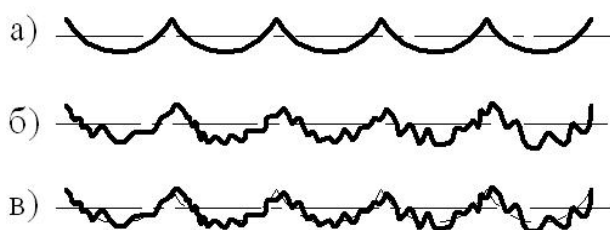


Рисунок 2.10 - Составляющие реального профиля:
а) – систематическая составляющая (идеальный профиль),
б) – случайная составляющая (возмущающие воздействия),
в) – реальный профиль

Эффективным инструментом для анализа текстуры профиля шероховатости поверхности в рассматриваемом случае является теория случайных функций [127,208]. При этом текстура профиля шероховатости поверхности описывается стационарной случайной функцией вида [127,208]:

$$x(t) = x_{\beta}(t) + x_{\gamma}(t), \quad (2.5)$$

где $x_{\beta}(t)$ – детерминированная составляющая,
 $x_{\gamma}(t)$ – случайная составляющая, т.е. стационарная нормальная функция с математическим ожиданием $M = 0$ и дисперсией σ^2 .

Свойство стационарности профилей шероховатости поверхности заключается в том, что при стабильных режимах и других условиях обработки реализация профиля имеет вид колебаний. При этом их статистические характеристики не имеют существенных расхождений с изменениями аргумента. Данное свойство реализуется посредством обеспечения стабильности условий выполнения технологической операции.

В теории случайных функций для описания нормальных стационарных процессов используется корреляционные функции, которые определяются из расчетных зависимостей вида [127,208]:

$$K_{xx}(\tau) = \frac{1}{T} \int_0^T x(t+\tau)x(t) dt, \quad (2.6)$$

Учитывая, что в нашем случае функция профиля является дискретной, необходимо произвести замену интеграла в выражении (2.6) на знак суммы [127,208]:

$$K_{xx}(\tau) = \frac{1}{l-\tau} \sum_{i=0}^{l-\tau} x(i)x(i+\tau), \quad (2.7)$$

где τ – переменная разность между абсциссами двух сечений профилограммы (шаг корреляции), $\tau = 0,1,2,\dots,\tau_{\max}$;

l – длина профилограммы;

$x(i)$ – ординаты профилограммы.

Теория случайных процессов позволяет определять количественное соотношение систематической и случайной составляющих профиля. Уровень случайной компоненты определяется следующим образом [127,208]:

$$\gamma = \frac{D_{\gamma}}{R_q^2}, \quad (2.8)$$

где D_{γ} – дисперсия случайной составляющей, R_q – среднеквадратическое отклонение профиля.

Дисперсия случайной составляющей профиля определяется следующим образом [127,208]:

$$D\gamma = Rq^2 - 0.5A^2, \quad (2.9)$$

где $A = \frac{S^2}{8r}$ - амплитуда систематической составляющей профиля.

Зависимость между корреляционной функцией и среднеквадратическим отклонением профиля имеет вид [127,208]:

$$R_q = K_{xx}(0), \quad (2.10)$$

где K_{xx} - автокорреляционная функция профиля.

Доля систематической β составляющей обратно пропорциональна случайной [127,208]:

$$\beta = 1 - \gamma \quad (2.11)$$

Методы фрактальной геометрии позволяют эффективно анализировать особенности текстуры сложных объектов [17,19,20,83,101,111,148,203,217,221,227,230-232,236,241,242]. Важным аспектом фрактальных структур является то, что малые части объекта подобны большому. Для случайных фракталов наблюдается свойство статистического самоподобия, т.е. подобие представляется только статистическими характеристиками, которые можно оценить следующим выражением [101,203]:

$$x(t + \Delta t) - x(t) = \frac{1}{r^H} \times (x(t + r \times \Delta t) - x(t)), \quad (2.12)$$

где r - коэффициент подобия.

Однако существуют фрактальные объекты, которые не являются самоподобными. Дело в том, что самоподобие основывается на равном масштабном преобразовании во всех направлениях, т.е. полной масштабной инвариантности, однако у многих объектов для получения подобия необходимо применить неодинаковое масштабное увеличение разных направлений. Такие объекты называют самоафинными. Примером самоафинного фрактального объекта является в том числе профиль шероховатости поверхности, обработанной точением [132]:



Рисунок 2.11 – Самоафинность профиля шероховатости поверхности

Как можно видеть из рисунка 2.11, фрагментом профиля, выделенным окружностями, для получения подобия требуется неодинаковое масштабное увеличение. Степень самоафинности объекта также можно оценить количественно при помощи выражения (2.13), если оно выполняется менее чем для половины точек анализируемого объекта [132].

Помимо самоподобия характеристикой фрактальных структур является размерность. Фрактальная размерность (размерность Хаусдорфа-Безиковича) характеризует то, насколько плотно фигура заполняет координатную плоскость. Фрактальную размерность для классических фракталов определяют посредством покрытия объекта, размерность которого оценивается некими заранее обусловленными геометрическими метриками размера ε [101,203].

Пусть $N(\varepsilon)$ - минимальное число квадратов размера ε , которые в совокупности полностью покрывают анализируемый фрактал, тогда фрактальная размерность определяется следующим образом [101,203]:

$$D = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \left(\frac{\ln(N(\varepsilon))}{\ln(1/\varepsilon)} \right) \quad (2.13)$$

Учитывая, что профиль шероховатости поверхности отображается в виде плоской кривой линии, чем ближе значение D будет к 1.5, тем выше уровень случайной компоненты в текстуре профиля.

Таким образом, использование методологического аппарата теории случайных процессов и фрактальной геометрии дает возможность провести количественную оценку текстуры профиля шероховатости поверхностей деталей строительно-дорожных машин. Зная соотношение уровня случайной и систематической компоненты в текстуре профиля, имеется возможность оценки технологических факторов, которые оказывают доминирующее влия-

ние на его формирование, а, следовательно, выбрать оптимальное управляющее воздействие.

Алгоритм анализа коррелограмм приведен на рисунке 2.12.

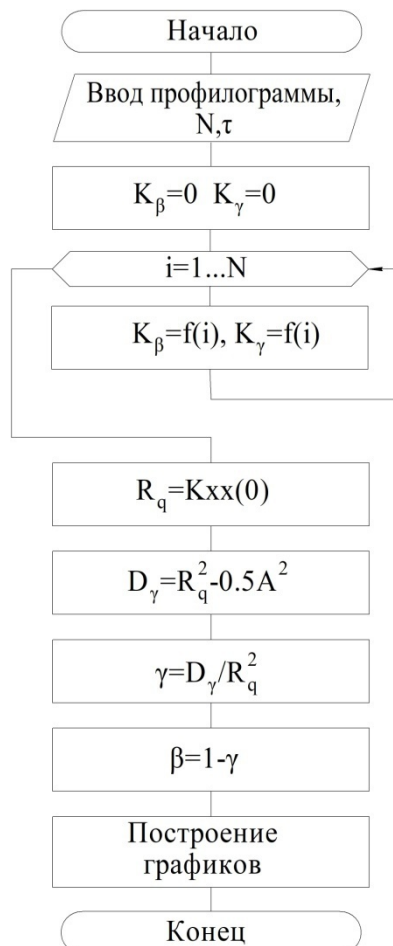


Рисунок 2.12 – Алгоритм анализа коррелограмм

В качестве исходных данных для анализа использовались профилограммы шероховатости поверхностей, обработанных чистовым точением.

Преобразованная в текстовый формат профилограмма использовалась в качестве исходных данных для построения коррелограмм. Для автоматизации процесса обработки профилограмм была в среде Delphi разработана программа «Анализ коррелограмм v1.0», интерфейс которой представлен на рисунке 2.13.

Программа «Анализ коррелограмм v1.0» позволяет определять значения уровня случайной компоненты профиля, среднеарифметическое отклонение систематической и случайной компонент Ra_β и Ra_γ , среднеквадратиче-

ское отклонение систематической и случайной компонент Rq_β и Rq_γ , а также шаг по средней линии T_γ для случайной составляющей.

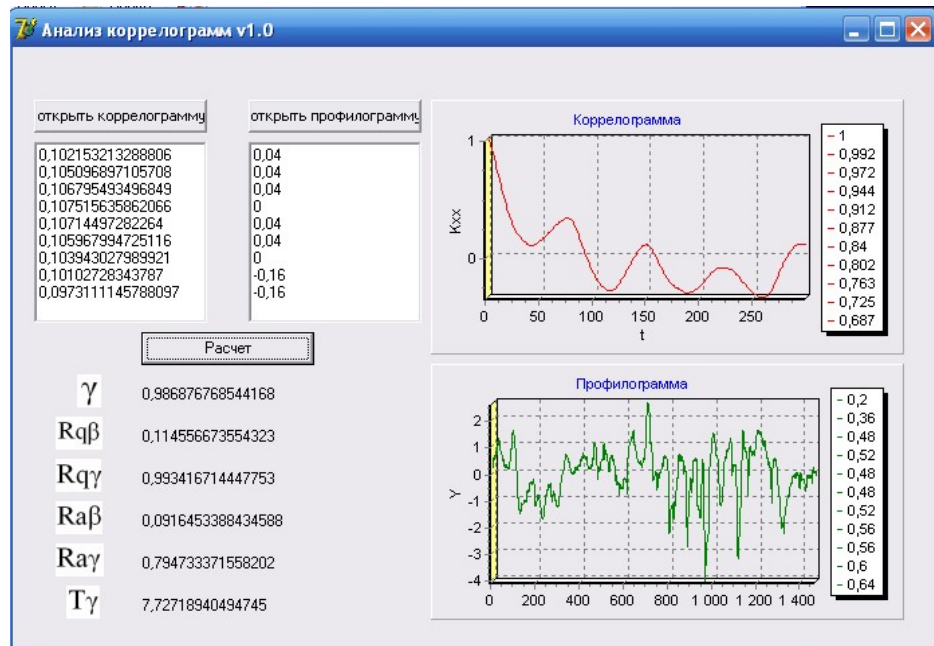


Рисунок 2.13 – Интерфейс программы по анализу коррелограмм

При исследовании влияния подачи на уровень случайной компоненты профиля было установлено, что значение γ монотонно убывает. В ходе математической обработки результатов эксперимента была установлена эмпирическая зависимость между данными факторами:

$$\gamma = 526.3153 \cdot S^3 - 200.3638 \cdot S^2 + 19.0101 \cdot S + 0.3997$$

Однако более информативным будет представление зависимости между величиной уровня случайной компоненты и среднеарифметическим отклонением профиля Ra , т.к. в данном случае будет видно, какие процессы доминируют при формировании той или иной текстуры профиля. Указанная зависимость представлена ниже.

$$\gamma = 969.315 \cdot Ra^3 - 388.029 \cdot Ra^2 + 43.734 \cdot Ra - 0.582$$

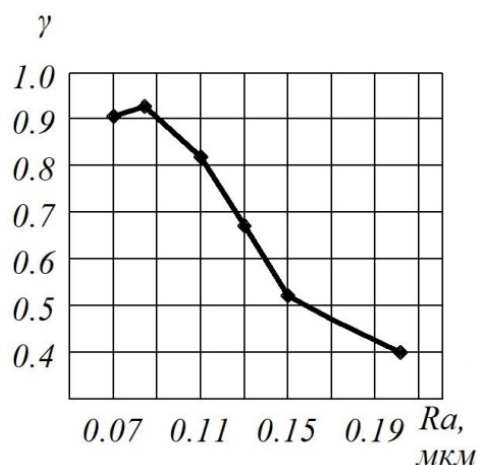


Рисунок 2.14 - Зависимость между уровнем случайной составляющей профиля γ и среднеарифметическим отклонением профиля Ra

Анализируя полученные результаты, можно сделать ряд выводов:

- уровень случайной компоненты профиля шероховатости поверхности уменьшается по мере роста подачи с 96 до 42 %, таким образом, при увеличении подачи степень влияния геометрических параметров инструмента и кинематики процесса резания растет;

- известно, что при росте подачи значение Ra также увеличивается. Если сопоставить данный факт с зависимостью уровня случайной компоненты от подачи, то можно сделать вывод о том, что для поверхностей с жесткими требованиями по шероховатости случайная составляющая профиля является преобладающей. Таким образом, для надежного обеспечения требований по качеству обработки необходимо выбирать такие условия, которые обеспечивают минимум влияния данных факторов, прежде всего, вибраций.

Определение фрактальной размерности случайных фракталов (к которым относятся профили шероховатости, обработанные точением) с помощью выражения (2.13) дает большую погрешность. В данной работе вычисление показателя Херста производилось стандартным методом нормированного размаха [132], т.к. в работах [132,133] было доказано, что именно данный метод позволяет получать оптимальную точность. Суть его состоит в следующем:

1. Вычисляются отклонения от среднего значения:

$$X_{i,N} = \sum_{u=1}^t (x_u - M_N), \quad (2.14)$$

где u – длина периода, которая варьируется от 3 до N ; N – длина временного ряда; t – переменная, меняющая свое значение от 1 до $N-1$; x_u – конкретный элемент временного ряда; M_N – среднее значение N элементов временного ряда.

2. На каждой итерации получается $N-1$ значений $X_{i,N}$, которые используются для определения размаха:

$$R_t = \text{Max}(X_{t,N}) - \text{Min}(X_{t,N}) \quad (2.15)$$

3. Производится нормирование размаха посредством деления его на стандартное отклонение N значений временного ряда:

$$H_t = R_t / S \quad (2.16)$$

Стандартное отклонение вычисляется по N значениям временного ряда:

$$S = \frac{1}{N} \times \sum_{i=1}^N (x_i - M_N)^2 \quad (2.17)$$

4. Логарифмируются значения R/S и N и строится график функции:

$$\log\left(\frac{R}{S}\right) = f(\log(N)) \quad (2.18)$$

5. По графику функции определяется угол наклона путем линейной аппроксимации методом наименьших квадратов [21]. Тангенс этого угла и является показателем Херста.

Графически алгоритм определения показателя Херста представлен на рисунке 2.15:

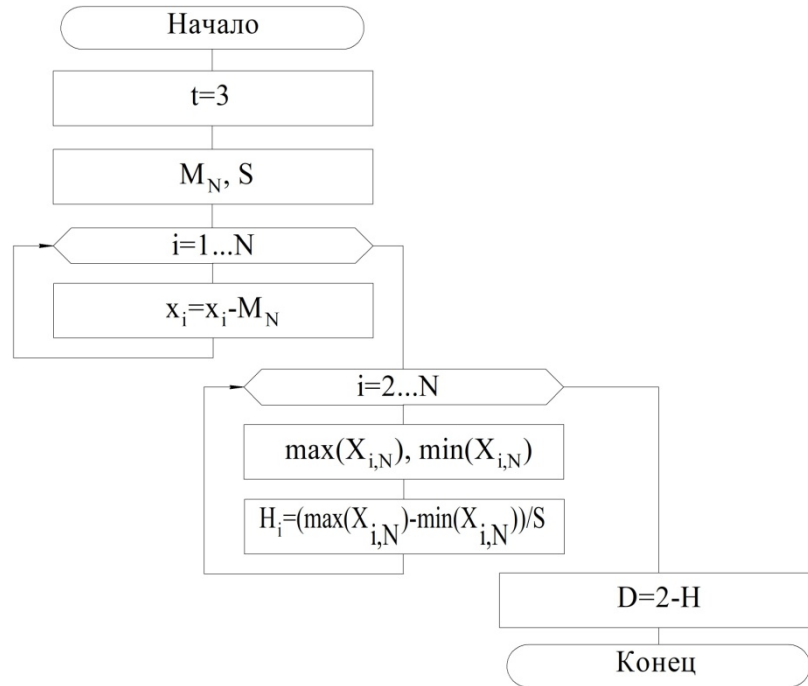


Рисунок 2.15 – Алгоритм определения показателя Херста

Данный алгоритм был реализован в программной среде Borland Delphi 7.0, в которой была написана компьютерная программа «Определение фрактальной размерности временного ряда при помощи показателя Херста v1.0» [158].

Результат вычисления фрактальной размерности представлен на рисунке 2.16.



Рисунок 2.16 – Определение фрактальной размерности при помощи показателя Херста

Была установлена зависимость значений показателя Херста от величины среднеарифметического отклонения профиля, которая приведена на рисунке 2.17.

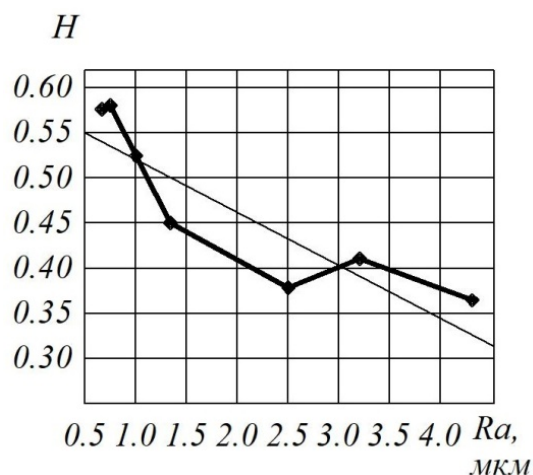


Рисунок 2.17 – Зависимость $H = f(R_a)$

Уравнение регрессии для рассматриваемой зависимости имеет вид:

$$H = -0.0583523 \times R_a + 0.579541 \quad (2.19)$$

Анализируя полученную зависимость, следует отметить, что при повышении требований к шероховатости, значения показателя Херста колеблются около значения 0.5, что соответствует случайному временному ряду [132], таким образом, результаты, полученные посредством использования теории случайных процессов подтверждаются.

2.5 Выводы по главе 2

1. Разработана концепция решения проблемы повышения долговечности рабочего оборудования строительного-дорожного машин на основе формирования на деталях поверхностного слоя с оптимальными параметрами качества.

2. По результатам комплексного технико-экономического анализа можно сказать, что наиболее применимым методом упрочнения при восстановлении деталей является химико-термическая обработка (ХТО).

3. Традиционные методы ХТО, основанные на применении газовых сред, не позволяют получать толщину упрочненного слоя более 0.2 мм и производить последующую закалку с получением максимальной твердости.

4. Проведено теоретическое обоснование возможности реализации нового метода повышения долговечности деталей рабочего оборудования строительного-дорожных машин.

5. Исследования текстуры профиля шероховатости деталей строительного-дорожных машин, которые имеют упрочненный слой с использованием теории случайных процессов и фрактальной геометрии показали, что чем меньше величина среднеарифметического отклонения профиля, тем влияние случайных процессов выше. На основе модернизации классического метода случайных сложений была разработана фрактальная модель шероховатости поверхности.

3 РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ РАБОЧИХ ОРГАНОВ СТРОИТЕЛЬНО-ДОРОЖНЫХ МАШИН

3.1. Анализ факторов, влияющих на долговечность рабочих органов строительного-дорожных машин

При разработке модели необходимо рассматривать совокупность объектов, включающих машину, среду и рабочий процесс. Рассмотрим эти аспекты применительно к экскаватору. Процесс выполнения работ одноковшовым экскаватором представляет собой цикл, включающий в себя действия по разработке и перемещению грунта, а также передвижение машины. При передвижении машины рабочий процесс не выполняется. Рабочий орган представляет собой совокупность соединенных между собой звеньев, положение которых задается в соответствующих системах координат. На рисунке 3.1 представлены звенья экскаватора с обратной лопатой.

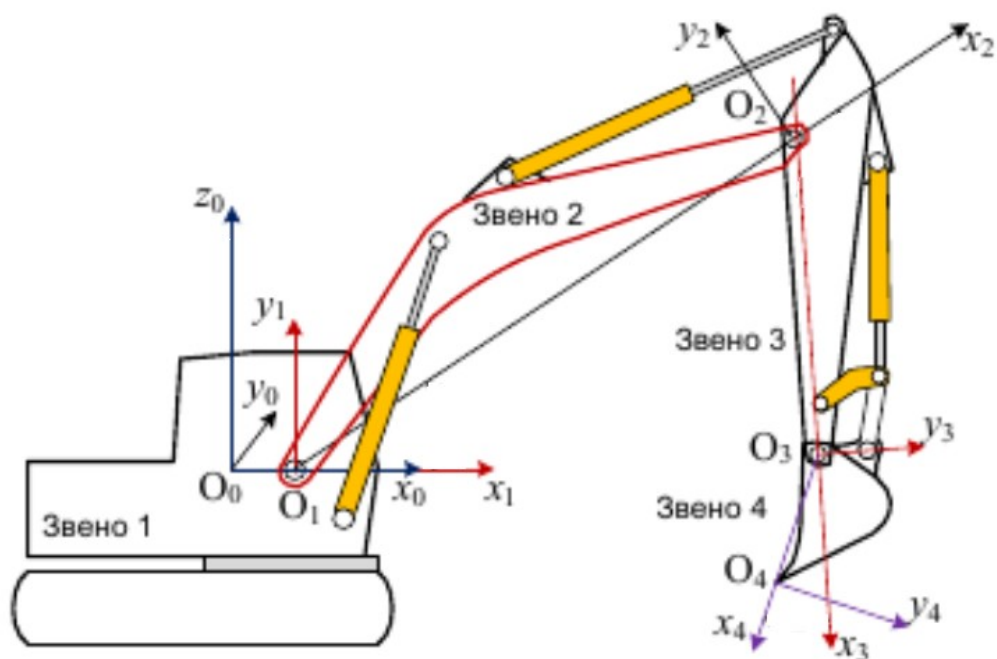


Рисунок 3.1 – Звенья экскаватора с обратной лопатой

Угол между СК и осью Х можно определить следующим образом [42]:

$$\beta_{СК} = \arctg \frac{y_K - y_C}{x_K - x_C} \quad (3.1)$$

Угол наклона касательной составляющей ψ определяется согласно выражению вида [42]:

$$\psi = \beta_{СК} - \frac{\pi}{2} \quad (3.2)$$

Нормальная и касательная составляющие усилия копания связаны между собой посредством коэффициента пропорциональности [42]:

$$P_{02} = K \times P_{01} \quad (3.3)$$

Выражения для определения проекций усилий копания на оси координат имеют вид [42]:

$$P_x = -P_{01} \cos \psi + P_{02} \sin \psi \quad (3.4)$$

$$P_y = -P_{01} \sin \psi - P_{02} \cos \psi \quad (3.5)$$

Тогда усилие на штоке гидроцилиндра стрелы можно определить следующим образом [42]:

$$F_{ЦС} = \frac{1}{L_{AE} \sin(\varphi_C - \alpha - \alpha_2)} \times (G_C(x_{ЦТС} - x_A) + G_P(x_{ЦТП} - x_A) + G_K(x_{ЦТК} - x_A) + G_{ЦС}(0.5(x_T - x_E) - x_A) + G_{ЦП}(0.5(x_F - x_P) - x_A) + G_{ЦК}(0.5(x_R - x_L) - x_A) + G_{Т2}(x_{ЦТ} - x_A) + G_{Т1}(0.5(x_M - x_D) - x_A) - P_y(x_K - x_F) + P_x(y_K - y_A)) \quad (3.6)$$

где x, y – горизонтальные и вертикальные координаты элементов рабочего оборудования; L_{AE} – расстояние между шарнирами А и Е.

Усилие в тяге MD [42]:

$$F_{MD} = \frac{P_x(y_C - y_K) + P_y(x_K - x_X) - G_K(x_{ЦТ} - x_C) - 0.5G_{Т1}(x_D - x_C)}{L_{CD} \sin(\angle MDx - \angle DCx)} \quad (3.7)$$

Реакция в шарнире С [42]:

$$R_{Cx} = F_{MD} \cos \Theta - P_x \quad (3.8)$$

$$R_{Cy} = F_{MD} \sin \Theta + G_K - P_y \quad (3.9)$$

Усилие на штоке гидроцилиндра ковша [42]:

$$F_{ЦК} = \frac{F_{MD} \cdot SM \cdot \sin(\Theta - \tau - \tau_L) - 0.5G_{ЦК}(x_L - x_S) - G_{Т2}(x_{ЦТ} - x_S) - 0.5G_{Т1}(x_M - x_S)}{SL \cdot \sin(\tau - \varphi_k)} \quad (3.10)$$

Усилие в шарнире S [42]:

$$R_{Sx} = -F_{\text{ЦК}} \cos \varphi_k - F_{\text{MD}} \cos \Theta \quad (3.11)$$

$$R_{Sy} = 0.5G_{\text{ЦК}} - F_{\text{ЦК}} \sin \varphi_k - F_{\text{MD}} \sin \Theta + 0.5G_{T1} + G_{T2} \quad (3.12)$$

Усилие на штоке гидроцилиндра рукояти [42]:

$$F_{\text{ЦП}} = \frac{1}{L_{\text{БР}} \cdot \sin \angle \text{FPB}} \cdot (P_y(x_K - x_B) + P_x(y_b - y_k) - G_p(x_{\text{ЦТР}} - x_B) - \\ - G_K(x_{\text{ЦТК}} - x_B) - G_{\text{ЦК}}(0.5(x_R - x_D) - x_B) + 0.5G_{\text{ЦП}}(x_B - x_P) - \\ - G_{\text{ЦС}}(0.5(x_R - x_L) - x_B) - G_{T2}(x_{\text{ЦТ}} - x_B) - G_{T1}(0.5(x_M - x_D) - x_B)) \quad , \quad (3.13)$$

где $\angle \text{FPB}$ – угол между отрезками FРи РВ.

Реакции в шарнире А [42]:

$$R_{Ax} = -P_x - F_{\text{ЦС}} \cos \varphi_c \quad (3.14)$$

$$R_{Ay} = G_{\text{РО}} - P_y - F_{\text{ЦС}} \sin \varphi_c, \quad (3.15)$$

где $G_{\text{РО}}$ – суммарная сила тяжести рабочего оборудования.

Реакция в шарнире В [42]:

$$R_{Bx} = -F_{\text{ЦС}} \cos \varphi_c + F_{\text{ЦП}} \cos \varphi_p - R_{Ax} \quad (3.16)$$

$$R_{By} = -F_{\text{ЦС}} \sin \varphi_c + F_{\text{ЦП}} \sin \varphi_p - R_{Ay} + G_C + G_{\text{ЦС}} \quad (3.17)$$

Как можно увидеть из приведенных выше зависимостей, сила копания оказывает воздействие на все звенья экскаватора, в том числе и на гидропривод. Установлено, что в среднем 74% от силы копания экскаватором составляет сила резания. Процесс резания грунта реализуется в виде стадий, которые образуют цикл. В первоначальный момент режущая кромка зуба внедряется в грунт и образуется центр уплотнения. При последующем росте усилия резания происходит скол крупного фрагмента грунта. При отделении фрагмента грунта происходит резкое освобождение режущей кромки от усилия. Таким образом, характер нагружения при процессе копания достаточно сложный.

При внедрении ковша в грунт достаточно большая часть энергии тратится на преодоление сил сопротивления. Существенный вклад вносит сила

трения днища ковша и боковых стенок. Также на сопротивление влияют свойства грунта.

Машины при разработке грунта работают с режущими кромками, которые затуплены до некоторого значения. Доминирующей причиной изменения формы и размеров режущих элементов является абразивное изнашивание. При этом на зубе образуется площадка износа, которая может превышать 15 мм.

Увеличение площадки износа вызывает рост сил сопротивления копания, а следовательно, и нагрузки на силовые приводы машины. Износ поверхности режущих элементов проявляется в виде вырывов и царапин. Долговечность режущих элементов экскаватора составляет в среднем от 200 до 715 часов. Также наблюдается резкий рост усилия резания при увеличении площадки износа.

Ранее установлено, что возникающие сопротивления при наиболее энергоемких операциях приходятся на рукоять и ковш экскаватора. В своих научных исследованиях К.А. Артемьев, Ю.А. Ветров, А.И. Демиденко, Н.Г. Домбровский, А.М. Завьялов, В.Н. Кузнецова, А.М. Лукин, А.К. Муравский, И.А. Недорезов, Ю.Е. Пономаренко, В.Н. Тарасов, В.В. Савинкин и др. доказали, что величина значений сопротивлений зависит не только от реологических свойств грунта, но и от геометрии ковша [7,15,52,64,97].

В исследовании В.В. Савинкина [97] была представлена зависимость для определения работы при копании рукоятью A_p :

$$A_p = k_l \cdot \eta_{общ} \cdot \int_0^{S_{ш.у.}} q \left(1 - \frac{dS_{ш.у.}(1 - \cos \tau)}{H_p} \right), \quad (3.18)$$

где k_l – удельное сопротивление грунта копанию; $\eta_{общ}$ – КПД гидропривода при работе ковшом при максимальном сопротивлении грунта; q – вместимость ковша; H_p – глубина копания; $S_{ш.у.}$ – максимально затрачиваемая мощность на преодоление сопротивления грунта резанию; τ – угол наклона откоса безопасности стоянки экскаватора.

Также отмечается, что в случае динамического нагружения сила тяжести от наполненного ковша и гидроцилиндров оказывает значимое влияние на преодоление сил сопротивления движению. Данная составляющая учитывается через величину A_G [97].

Изменение усилий резания вызывает изменение картины распределения напряжений в силовых приводах. Выражение для определения напряжений на внутренней поверхности гильзы цилиндра имеет вид:

$$\sigma = P_M \frac{d_k}{D_H \cdot d_k}, \quad (3.19)$$

где P_M – максимальное давление на штоке гидроцилиндра рукояти; d_k – внутренний диаметр гидроцилиндра; D_H – наружный диаметр гидроцилиндра.

Напряжение изгиба штока гидроцилиндра:

$$\sigma = \frac{P_{\max}}{f \cdot \varphi}, \quad (3.20)$$

где P_{\max} – максимальная сила в гидроцилиндре рукояти; f – площадь сечения штока, см²; φ – коэффициент снижения допускаемого напряжения.

Выражение для определения напряжения в основном сечении штока имеет вид:

$$\sigma = \frac{4P_{\max}}{\pi \cdot d_T^2} \quad (3.21)$$

Таким образом, усилия резания и их изменение вследствие изнашивания режущих элементов ковша экскаватора оказывают существенное воздействие на элементы силового привода машины и опорные элементы рабочего оборудования.

По классификации, которая была предложена А.Н. Зелениным [30], грунты подразделяются на категории, которые упорядочены по плотности и удельному сопротивлению резанию. От I категории грунта, которая содержит песок и мягкий суглинок без включений, до VIII категории, которая состоит из взорванных фрагментов скальных пород. Как было отмечено выше, характеристики грунта оказывают существенное влияние на долговечность рабочих органов строительно-дорожных машин.

Вопросам взаимодействия материалов с абразивными средами были посвящены работы ряда отечественных и зарубежных исследователей [23,30,37,134 и др.]. Был высказан ряд гипотез о том, как происходит данный процесс. В частности, В.Н. Кащеев и В.М. Глазков[37] считали, что процесс изнашивания представляет собой массовое нанесение микроскопических царапин. Однако в дальнейшем было установлено, что процесс изменения формы и размеров тел в контакте с абразивом реализуется по более сложной схеме.

В частности, И.В. Крагельский [45-47] выделял три варианта данного механизма: упругий контакт, пластическое отеснение и микрорезание. В первом и втором случаях при контакте материала с грунтом происходит его усталостное разрушение. Возникновение микрорезания возможно при достаточно глубоком проникновении абразивной частицы вглубь материала рабочего органа землеройной машины (0.2-0.3 радиуса выступа). По мнению И.В. Крагельского, на практике данный случай встречается довольно редко.

Однако исследования, выполненные М.М. Тененбаумом [119], показали, что возникновение микрорезания возможно при сравнительно небольшом содержании в грунте абразивных частиц (от 0.7 до 7%). А если микрорезание отсутствует, то доминирующей причиной износа является разупрочнение поверхностного слоя.

М.М. Хрущов и М.А. Бабичев считали, что процесс изнашивания происходит вследствие царапания, причем царапины бывают двух видов: пластически выдавленные канавки (большая часть) и следы от получения микроскопических стружек (в случае, если поверхность абразивного зерна ориентирована благоприятным образом).

П.Н. Львов [59] высказывал гипотезу о преобладании роли пластических деформаций в механизме изнашивания. При этом предполагалось, что на краях царапин образуются валики из выдавленного материала, которые в дальнейшем переходят в хрупкое состояние и удаляются с поверхности.

В.Н. Ткачев [121] выделял, помимо микрорезания и многократного пластического деформирования, еще и коррозионно-механический износ. Б.И. Костецкий, С.Д. Лехман [44] отмечали, что в случае сравнительно небольшой разницы твердостей абразивных частиц грунта и материала рабочего органа землеройной машины могут образовываться оксидные пленки при взаимодействии материала рабочих органов землеройных машин с активными компонентами среды.

Как можно видеть из приведенных выше сведений, механизм изменения размеров рабочих органов землеройных машин при взаимодействии с абразивными средами весьма сложный. Рассмотрим основные факторы, которые оказывают влияние на срок службы рабочих органов землеройных машин.

А.А. Батулин изучал влияние состава грунта на изнашивающую способность. Он пришел к выводу, что наличие фракций частиц 0.01...0.25 мм существенно увеличивает интенсивность износа рабочих органов машин. В работах М.М. Северцева было установлено, что на изнашивающую способность грунта влияет его влажность.

В результате исследований М.М. Тененбаума, Д.П. Волкова, М.М. Северцева и других [119] были выявлены следующие факторы, влияющие на изнашивающую способность грунтов:

- размеры и форма абразивных частиц;
- твердость и плотность абразивной массы;
- степень закрепления абразивных частиц;
- соотношение твердостей материала рабочих органов машины и абразива;
- скорость движения абразивных частиц;
- давление на абразив.

Исследователями были построены модели, которые позволяют оценить долговечность в условиях абразивного износа. В работах М.М. Хрущева

[126] была получена зависимость, которая связывает свойства материалов с сопротивляемостью абразивному износу:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 + \alpha(HB - HB_0), \quad (3.21)$$

где ε_0 – относительная износостойкость стали в отожженном состоянии; α – коэффициент пропорциональности; HB_0 – твердость стали в отожженном состоянии.

При этом М.М. Хрущов получил диаграмму, которая показывает соотношение твердостей материала рабочего органа землеройной машины (H_M) и абразивной среды (H_A).

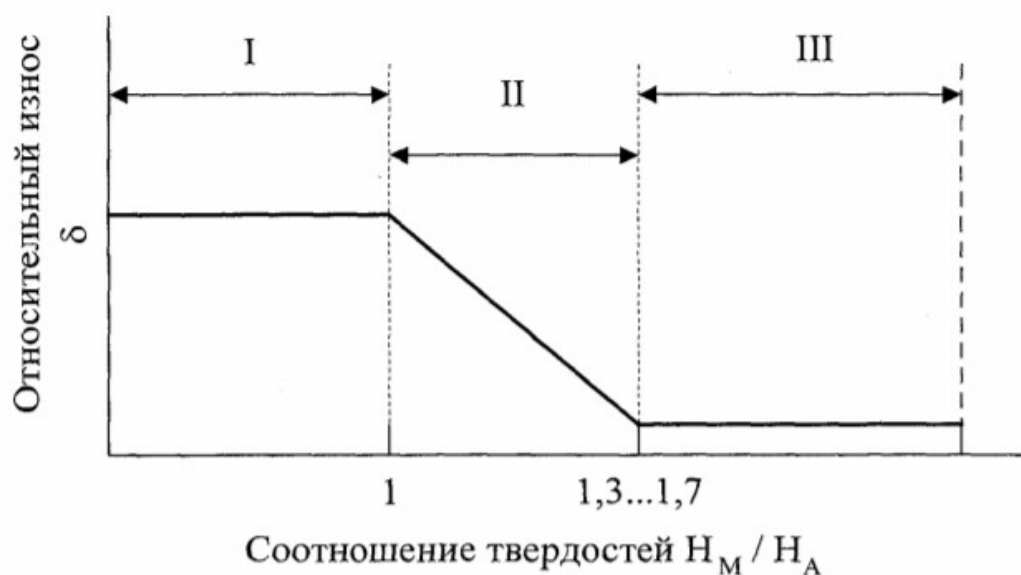


Рисунок 3.3 – Зависимость относительного износа от соотношения твердостей

Из зависимости видно: если соотношение превышает 1,7, то относительный износ не меняется. Поэтому имеется возможность оценить твердость материала в зависимости от свойств грунта.

И.В. Крагельский получил зависимость удельного износа материалов от относительного внедрения частиц.

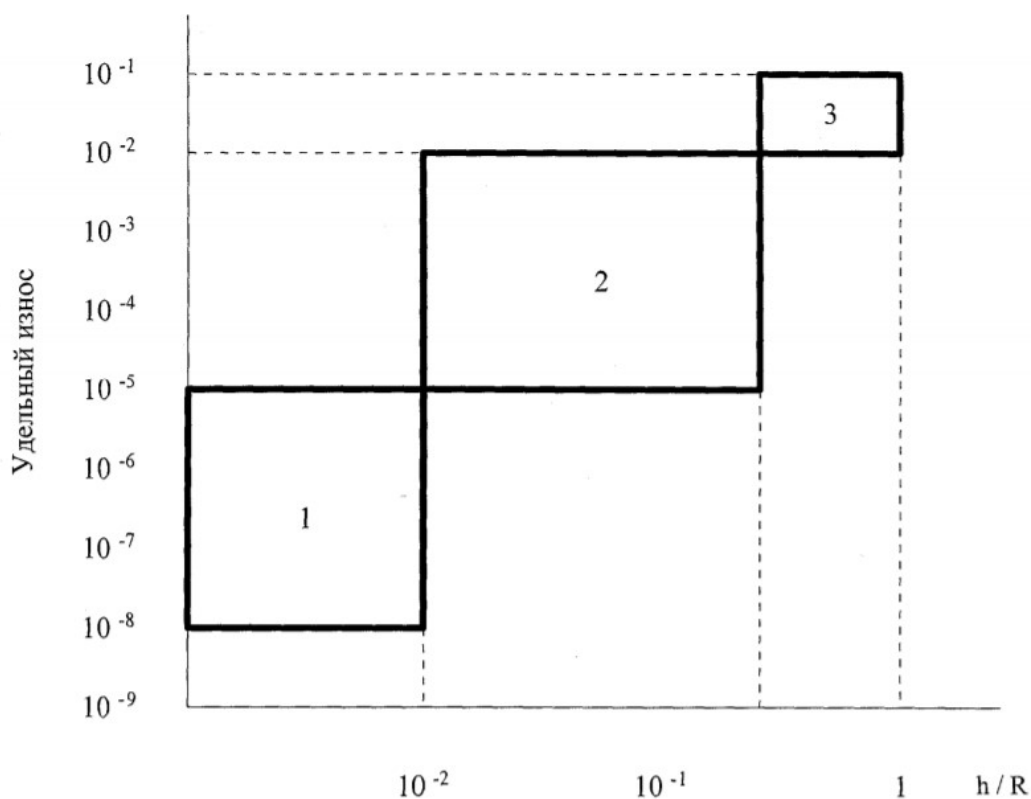


Рисунок 3.4 – Зависимость удельного износа от относительного внедрения

Выделены три области, которые описаны выше. Как видно из рисунка 3.4, отличия в интенсивности изнашивания в каждой области составляют несколько порядков.

В работах И.В. Крагельского предлагаются расчетные зависимости для определения интенсивности износа. Линейная характеристика изнашивания определяется согласно следующей зависимости:

$$I_h = \frac{h}{L}, \quad (3.23)$$

где h – размер изношенного слоя; L – путь трения.

$$I_h = i_h \frac{A_r}{A_a} = i_h \frac{q_r}{q_a}, \quad (3.24)$$

где i_h – удельный износ; A_r, q_r, A_a, q_a – номинальные и фактические площади контакта и давления.

Интенсивность изнашивания через показатели глубины внедрения и пластического деформирования определяется следующим образом:

$$I_h = \frac{\varepsilon \cdot h_{\max}}{(m+1)dn} \frac{A_r}{A_a}, \quad (3.25)$$

где ε – относительная деформация; h_{\max} – максимальная высота выступов; m – параметр кривой поверхности контакта; d – диаметр пятна контакта; n – число циклов до разрушения материала.

Для расчетов интенсивности изнашивания при упругом износе И.В. Крагельский предложил следующее уравнение [45-47]:

$$I_h = C_1 \frac{(1-\nu^2)}{E} q_a \left(\frac{kfq_c}{C_2 \sigma_0} \left(\frac{E}{(1-\nu^2)q_c} \right)^{1-\beta} \right)^t, \quad (3.26)$$

где C_1, β – коэффициенты, зависящие от характеристик контактирующих тел; E, ν – модуль продольной упругости и коэффициент Пуассона; q_c – контурное давление.

Интенсивность износа при пластическом контакте определяется по формуле:

$$I_h = \frac{1}{2m+1} \sqrt{\frac{\nu \cdot h_{\max}}{2Rb} \left(\frac{P_a}{HB} \right)^f} \left(\frac{1}{\varepsilon} \sqrt{\frac{2h_{\max}}{Rb} \frac{1+Kf}{1-Kf}} \right)^t, \quad (3.27)$$

где P_a – внешняя нагрузка; HB – твердость материала; Rb – радиус выступов грунта; f – коэффициент трения.

Влияние физико-механических свойств оценивается по следующей формуле:

$$I_h = \frac{\left(\frac{\sigma_s + 2\tau}{\sigma_s - 2\tau} \right)^{t/2}}{\delta_t(HB)^{1+\frac{t+1}{2\nu}}}, \quad (3.28)$$

Интенсивность изнашивания при микрорезании определяется по формуле:

$$I_h = \frac{tg\theta}{2(\nu+1)} \frac{q_a}{HB}, \quad (3.29)$$

где θ – угол остроты абразивной частицы.

Также И.В. Крагельским были предложены критерии, по которым можно оценить, какой режим изнашивания имеет место быть. Так, переход от упругой деформации к пластической происходит при условии:

$$\frac{h}{R} \geq k_0 \left(\frac{C \cdot \sigma_T}{E} \right)^2, \quad (3.30)$$

где k_0 , C – коэффициенты пропорциональности; σ_T – предел текучести.

Критерий перехода к микрорезанию имеет вид:

$$\frac{h}{R} \geq \frac{1}{2} \left(1 - \frac{2\tau}{\sigma_T} \right), \quad (3.31)$$

где τ – тангенциальная прочность молекулярной связи.

Отечественными и зарубежными исследователями предложен ряд теорий разработки грунта, часть, из которых базируется на положениях механики сплошных сред, а другие – на теориях прочности и упругости. Большинство теорий основаны на использовании эмпирических зависимостей, которые содержат лишь соотношения размеров рабочих органов, отдельные характеристики свойств грунта и режимов разработки. Использование теоретического подхода затруднительно ввиду сложности процессов, протекающих при разработке грунта, а также недостаточной изученности механизмов его разрушения.

Созданием теорий разработки грунтов в разное время были посвящены работы отечественных ученых, в частности, В.П. Горячкина, Н.Г. Домбровского, А.Д. Далина, А.Н. Зеленина, И.Я. Айзенштока, В.Д. Абезгауза, Г.И. Веселова, Ю.А. Ветрова, Д.И. Федорова, К.А. Артемьева, В.И. Баловнева, И.П. Керова, И.А. Недорезова, Е.И. Берестова, А.С. Слюсарева, В.Л. Баладинского, А.М. Завьялова, среди зарубежных исследователей можно выделить работы В. Зене, Нерло-Нерли, М. Никольса. [2,15,23,30,64].

В своих работах В.П. Горячкин получил формулу, которая позволяла определить общее сопротивление плуга:

$$P_K = G \cdot f + K \cdot a \cdot b + \varepsilon \cdot a \cdot b \cdot V^2, \quad (3.32)$$

где G – вес плуга; f – коэффициент трения плуга о почву; K – удельное сопротивление резанию; ab – площадь поперечного сечения пласта; εabV^2 – сопротивление грунта отбрасыванию его плугом в сторону.

$$F = a \cdot b, \quad (3.33)$$

где F – площадь поперечного сечения пласта.

В.П. Горячкин высказал предположение, что сила сопротивления плугу включает три составляющих: силу противодействия трению плуга о дно борозды, силу сопротивления срезаемого пласта деформирования и силу сопротивления пласта перемещению. При этом сила трения не зависит от глубины резания. Сила сопротивления деформированию пропорциональна сечению срезаемого фрагмента грунта. Сила сопротивления перемещению, в свою очередь, зависит от скорости резания.

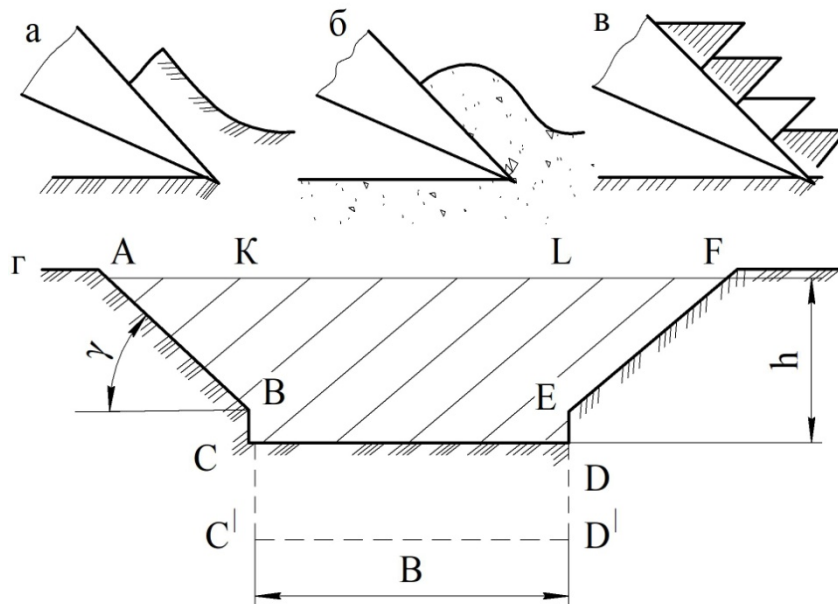


Рисунок 3.5 – Формы срезания стружек для пластичных (а), сыпучих (б) и скалывающихся (в) грунтов; геометрические параметры процесса (г)

Однако полученные В.П. Горячкиным зависимости для определения силы сопротивления плугу нельзя было применять при расчетах тяговых усилий строительно-дорожных машин. Это объясняется тем, что условия работы плуга не применимы для землеройных машин. Но данные исследования заложили фундамент для последующего создания и развития теорий разработки грунтов землеройными машинами.

Ученые Ганноверского политехнического института Е. Динглингер и И. Ратье изучали процесс разработки грунта в канале с искусственно увлажненным и уплотненным песком. В результате их исследований было установлено, что имеется закономерность протекания процесса резания грунта элементарными профилями. Но использование данных результатов для машин в реальных условиях эксплуатации не представляется возможным.

В ходе экспериментальных исследований Е. Динглингер установил наличие критической глубины для разрезающего ножа. Т.е. при отделении ножом грунтового тела от массива имеет место увеличение его лишь до определенной критической глубины. В случае дальнейшего погружения ножа в грунт рост зоны разрушения прекращается. На основании этого был сделан вывод о том, что давление по лобовой грани ножа с ростом глубины резания увеличивается медленнее, чем это требуется для отделения грунтового тела от массива. Это объясняется сжимаемостью грунта. Поэтому рост деформации уплотнения может вызвать оттеснение грунта в стороны от ножа до формирования поверхности сдвига. Это приведет к тому, что при достижении критической глубины будет происходить лишь оттеснение грунта без процесса резания.

И. Ратье в своих работах предложил применение методологического аппарата механики сыпучей среды для того, чтобы определить усилия резания ножом без заострения. На основе допущений Кулона, тело выпора представлялось в виде треугольной призмы, которая находится непосредственно перед лобовой гранью режущего элемента. К призме добавлялось два сектора по бокам, которые имели форму конуса. Усилие резания представлялось в виде суммы силы преодоления веса тела выпора, сопротивления перемещению по поверхности режущего элемента и сдвига в массиве грунта. В формулу для расчета были включены составляющие сопротивления трения по боковым поверхностям ножа и тела выпора (силы пассивного и активного давления на грунт). Исследования И. Ратье подтвердили возможность экспериментального нахождения зависимостей при резании грунта.

В своих работах Франциус и Штрек показали, что использование допущений Кулона при изучении процесса резания грунтов недопустимо.

А.Д. Далин изучал процессы работы ротационных машин. Результаты его исследований позволили получить методы и коэффициенты, используемые в расчетах землеройных машин.

Формулы Н.Г. Домбровского [23] учитывают зависимость усилия от размеров стружки и сопротивления резанию:

$$F_p = C_T \cdot h \cdot (m_1 b + m_2 h) \cdot \Delta, \quad (3.34)$$

где C_T – коэффициент сцепления грунта; h – глубина рыхления; m_1, m_2 – коэффициенты, зависящие от угла внутреннего трения, угла резания.

Н.Г. Домбровский предложил упрощенную формулу В.П. Горячкина по расчету сопротивления копанью [23]:

$$P = k \cdot b \cdot h, \quad (3.35)$$

где k – коэффициент удельного сопротивления, который не зависит от геометрических условий процесса.

В работе [23] были предложены зависимости для оценки удельного сопротивления копанью грунта:

$$k = f\left(\frac{L}{F_{CP}}\right), \quad (3.36)$$

$$\frac{L}{F_{CP}} = \frac{b + 2h}{bh}, \quad (3.37)$$

где L – длина режущего параметра ковша; F_{CP} – площадь поперечного сечения среза.

В работе [30] для определения силы резания были предложены зависимости, включающие эмпирические коэффициенты:

$$P = h \cdot b \cdot \sigma_c \cdot \left(k_p + k_s \cdot \frac{u_x + b \cdot C_0}{h} \right), \quad (3.38)$$

где σ_c – предел прочности при всестороннем сжатии; k_p, k_s – коэффициенты сопротивления резанию и внедрению; u_x – длина торцевой площадки износа; C_0 – относительное притупление лезвия.

Другой подход предполагал получение выражений для определения усилия резания с использованием эталонного инструмента [30]:

$$P = A_1 \frac{0.35 \cdot b + 0.3}{b + h \cdot \operatorname{tg} \psi_1} \cdot S_{CP} \cdot k_{t/h} \cdot k_\alpha \cdot k_{om}, \quad (3.39)$$

где A_1 – показатель сопротивляемости резанию; ψ_1 – угол бокового наклона развала борозды рыхления; S_{CP} – среднее сечение среза; $k_{t/h}$ – коэффициент обнажения забоя, показывающий изменение энергии резания от отношения ширины и толщины срезаемого слоя; k_α – коэффициент, учитывающий влияние угла резания; k_{om} – коэффициент влияния отжима грунта.

В работах [7] были предложены зависимости для определения усилий резания, которые основаны на том, что процесс резания рассматривается как сочетание независимых процессов сжатия и среза либо сжатия и отрыва:

$$P = k_\alpha \cdot m_{ce} \cdot b \cdot h + n \cdot m_{бср} \cdot h + n \cdot m_\delta \cdot h^2, \quad (3.40)$$

где $m_{ce}, m_{бср}, m_\delta$ – коэффициенты, характеризующие удельное сопротивление разрушению грунта в средней части прорези, боковых расширениях и вдоль боковых граней режущего лезвия; n – число заблокированных сторон среза.

И. Я. Айзеншток предложил использовать модернизированную зависимость усилия резания, полученную И.А. Зворыкиным для резания металлов:

$$P = k \cdot b \cdot h \cdot \frac{\cos \nu}{\cos(\nu + \beta)(1 - \operatorname{tg} \rho \operatorname{tg}(\nu + \beta) \sin \beta)}, \quad (3.41)$$

где k – коэффициент сцепления грунта.

При этом И. Я. Айзенштоком было сделано допущение, что поверхность сдвига – плоская. Т.е. процесс резания представлялся в виде плоской задачи.

К.А. Артемьевым [7] изучалось напряженное состояние при копании. Предельное состояние, предшествующее, сдвигу описывается равенством следующего вида:

$$T = N \cdot \mu + C \cdot F, \quad (3.42)$$

где μ – коэффициент внутреннего трения; N – равнодействующая нормальных сил; c – сила сцепления, отнесенная к единице площади сдвига; F – площадь сдвига.

Выражения для определения предельных напряжений имеют вид [7]:

$$\tau = \sigma \cdot \operatorname{tg} \rho + c, \quad (3.43)$$

где τ , σ – касательная и нормальная составляющие напряжения; ρ – угол внутреннего трения.

Приведенное напряжение:

$$\sigma^{\perp} = \sigma + c \cdot \operatorname{ctg} \varphi \quad (3.44)$$

В работах Ю.А. Ветрова [15] учитывалось влияние различия удельных величин сопротивлений резанию грунта в разных частях трапецидальной прорези. Была предложена следующая расчетная зависимость для определения силы резания:

$$P = P_{св} + P_{бок} + P_{бок.ср}, \quad (3.45)$$

где $P_{св}$ – сила, необходимая для преодоления лобового сопротивления; $P_{бок}$ – усилия разрушения в боковых расширениях среза; $P_{бок.ср}$ – силы бокового среза.

Учитывая влияние затупления режущей кромки, выражение для определения силы резания приобретает вид:

$$P = P_{св} + P_{бок} + P_{бок.ср} + P_{зат(пл.изн)}, \quad (3.46)$$

где $P_{зат(пл.изн)}$ – сила на затупленной режущей кромке.

А.Н. Зеленин предложил модель, в которой учитывается влияние затупления лезвия на эффективность рыхления [30]:

$$P = 10 \cdot C \cdot h \cdot (1 + 0.55 \cdot s) \cdot \left(1 - \frac{90 - \alpha}{150}\right) \cdot \mu \cdot \Delta, \quad (3.47)$$

где C – число ударов ударником ДорНИИ; h – глубина рыхления; α – угол резания; μ – коэффициент, учитывающий степень блокировки; Δ – коэффициент затупления.

Коэффициент затупления характеризует соотношение между силами резания при остром и затупившимся лезвиях соответственно:

$$\Delta = \frac{P_O - P_{изн}}{P_{изн}}, \quad (3.48)$$

где P_O – сила резания острым лезвием; $P_{изн}$ – дополнительное сопротивление, вызванное изнашиванием.

В работе [30] показано, что коэффициент затупления зависит от радиуса затупления и размеров площадки износа:

$$S^I = 2r + 0.4a, \quad (3.49)$$

где r – радиус затупления; a – величина площадки износа.

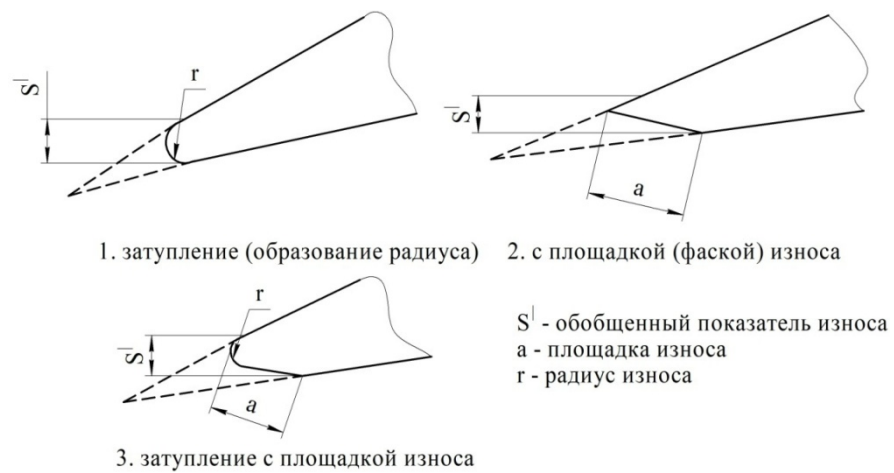


Рисунок 3.6 – Виды износа режущей кромки рабочих органов СДМ

Аналогичная картина наблюдается и для зубьев экскаватора [97]. На рисунке 3.7 представлена схема сил, действующих на изношенный зуб.

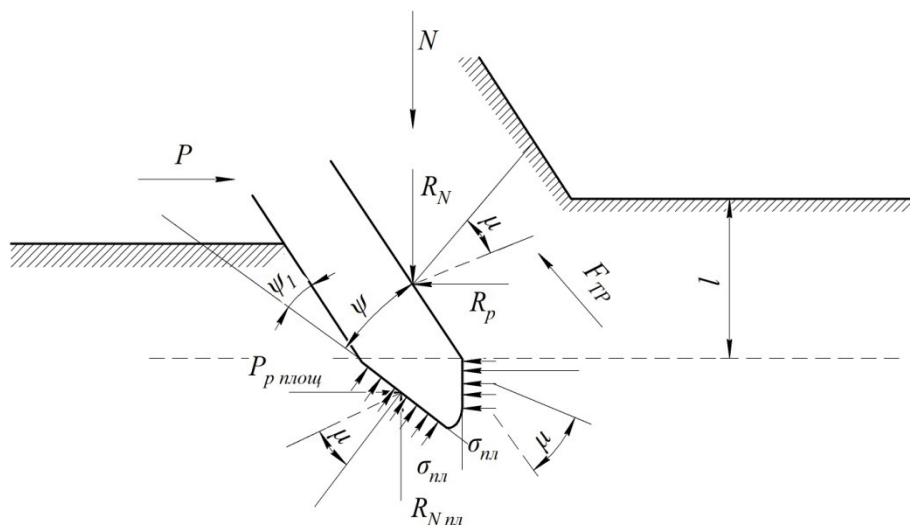


Рисунок 3.7 – Силы, действующие на зуб экскаватора с площадкой износа

Анализ приведенных выше зависимостей показывает, что использование эмпирических зависимостей дает достаточно хорошие результаты. Усилие P_k на зубьях ковша экскаватора обратной лопаты при копании поворотом рукояти определяется следующим образом [23]:

$$P_k = P + P_z + P_{np}, \quad (3.50)$$

где P – сила резания;

P_z – сопротивление заполнению ковша грунтом;

P_{np} – сопротивление призмы волочения (перемещению грунта по поверхности ковша).

Касательная составляющая сопротивления грунта [23]:

$$P_k = 10 \cdot C h^{1,35} (1 + 2,6B) \cdot (1 + 0,0075\alpha) z \mu, \quad (3.51)$$

где C – число ударов динамического плотномера;

h – толщина срезаемой стружки, см;

B – ширина ковша, м;

α – угол резания, град;

z – коэффициент, учитывающий схему установки зубьев на вертикальном профиле;

μ – коэффициент, учитывающий технологию разработки грунта.

Расчетная величина толщины срезаемой стружки определяется следующим образом [23]:

$$h = \frac{q}{B \cdot (l_p + l_k) \cdot \beta_p}, \quad (3.52)$$

где q – емкость ковша, м³;

l_p – длина рукояти, м;

l_k – длина ковша, м;

β_p – угловое перемещение рукояти за одну операцию копания, для обратных лопат $\beta_p \approx \frac{2}{3} \alpha_p$;

α_p – угловое перемещение рукояти.

Сила сопротивления заполнению определяется по следующей зависимости:

$$P_3 = K_{СЖ} \cdot B \cdot h, \quad (3.53)$$

где $K_{СЖ}$ - удельное сопротивление стружки продольному сжатию;

где C – число ударов динамического плотномера.

Сопротивление призмы волочения можно определить с использованием зависимости следующего вида:

$$P_{np} = 10 \cdot q \cdot \gamma \cdot \text{tg} \rho, \quad (3.54)$$

где q – объем призмы, м³

γ - плотность рыхлого грунта, кг/м³

ρ - коэф. внешнего трения грунта о грунт

Ориентировочно объем призмы можно принять равным 0,3...0,4 от геометрической емкости ковша.

При копании грунта поворотом ковша, величиной сопротивления призмы волочения можно пренебречь. Тогда усилие на зубьях ковша определяется следующим образом:

$$P_k = P + P_n, \quad (3.55)$$

где P – сила резания;

P_n – сопротивление наполнению ковша грунтом.

Касательная составляющая силы резания является функцией угла поворота β , что порождает изменение глубины копания h .

$$P = K \cdot R_1^{1,35} [\cos(\beta - \varphi) - \cos(\varphi)]^{1,35}, \quad (3.56)$$

где R_1 – радиус от оси поворота ковша до зуба, см

Максимальная сила резания:

$$P_{MAX} = K \cdot R_1^{1,35} [1 - \cos(\varphi)]^{1,35} \quad (3.57)$$

Максимальное сопротивление наполнению $P_{n \max}$ можно вычислить по эмпирической формуле [23]:

$$P_{n \max} = K' \left(\frac{\pi}{2} - \varphi \right) \cdot q, \quad (3.58)$$

где $K'=10 \text{ кН/м}^3$.

По величине усилия можно определить величину напряжения, которое действует на зуб:

$$\sigma_a = P \cdot \sin \psi / a, \quad (3.59)$$

где a – площадь контакта; ψ – угол наклона траектории.

Выражения, приведенные выше, справедливы для случая неизношенного зуба. При износе возникает дополнительная составляющая, тогда выражение для силы сопротивления резанию примет вид:

$$P_{ИЗН} = P + P_{рдоп}, \quad (3.60)$$

где $P_{рдоп}$ – дополнительная сила резания грунта, возникающая из-за износа. Сила может быть определена по формуле Р.А. Кабашева:

$$P_{рплouc} = \sqrt[3]{h} \cdot C \cdot B \cdot S \cdot \left(\frac{6}{\sin \alpha / 2} + \frac{3.5}{\sin \varphi_1} \right), \quad (3.61)$$

где S – предельный износ; φ_1 – угол, характеризующий положение площадки износа.

Таким образом, использование моделей разработки грунта, которые учитывают влияние износа режущего элемента, дает более адекватные результаты. Допускаемый на практике износ режущей кромки может вызывать увеличение силы резания до 200 %. Для уменьшения затупления применяется наплавка передней грани режущей кромки твердыми сплавами и армирование передних граней твердосплавными износостойкими пластинами. Для корректного выбора материала и конструкции рабочего органа необходимо иметь модель, которая предполагает учет физико-механических свойств материала, из которого изготовлен режущий клин.

Можно выделить ряд недостатков рассмотренных выше теоретических моделей процесса разработки грунта, которые основаны на детерминированных расчетных зависимостях:

1. Параметры контактного взаимодействия рассмотрены статическими;

2. Физико-механические свойства материалов рабочих органов рассмотрены постоянными по сечению и учитываются преимущественно коэффициентом упрочнения;

3. Использование теоретического подхода затруднительно ввиду сложности процессов, протекающих при разработке грунта, а также недостаточной изученностью механизмов его разрушения.

В работах А.К. Рейша [94] представлена модель оценки интенсивности изнашивания рабочих органов строительно-дорожных машин. Искомая интенсивность изнашивания определяется согласно зависимости и вида [94]:

$$\gamma = A \cdot p \cdot K_{p0} \cdot K_{vp0} \cdot f \cdot s \cdot t_p \cdot K_y (K_{abr} / K_{изн}) \cdot K_{t2.0} \cdot K_v, \quad (3.62)$$

где A – коэффициент пропорциональности, МПа^{-1} ; p – давление на рабочей поверхности, МПа ; K_{p0} – коэффициент, учитывающий влияние изменения давления; K_{vp0} – коэффициент, учитывающий влияние частоты изменения давления; f – коэффициент трения; s – путь трения зуба за 1 моточас; K_y – коэффициент, учитывающий затупление зуба; K_{abr} – коэффициент абразивности грунта; $K_{изн}$ – коэффициент износостойкости; $K_{t2.0}$ – коэффициент, учитывающий температуру окружающей среды; K_v – коэффициент, учитывающий влияние скорости движения.

Согласно исследованиям [94] величина ресурса рабочего органа определяется по расчетной зависимости вида:

$$t_H = U_D / \gamma, \quad (3.63)$$

где U_D – величина допустимого износа режущей кромки.

При использовании указанных выше зависимостей и моделей не учитывается форма и размер частиц грунта, площадь контакта абразива с режущим элементом рабочего органа. Кроме того, как отмечает сам автор, некоторые из приведенных факторов нуждаются в дополнительных исследованиях и уточнениях. Кроме того, все зависимости были получены для разработки природных грунтов (чернозем, глина, песок, суглинок, песчаники, гранитно-

известняковый щебень). Также недостатком является то, что функции износа в модели являются линейными.

3.2 Разработка модели прогнозирования надежности рабочих органов строительного-дорожных машин

На рисунке 3.8 представлен общий вид модели оценки долговечности деталей строительного-дорожных машин с упрочненным слоем.

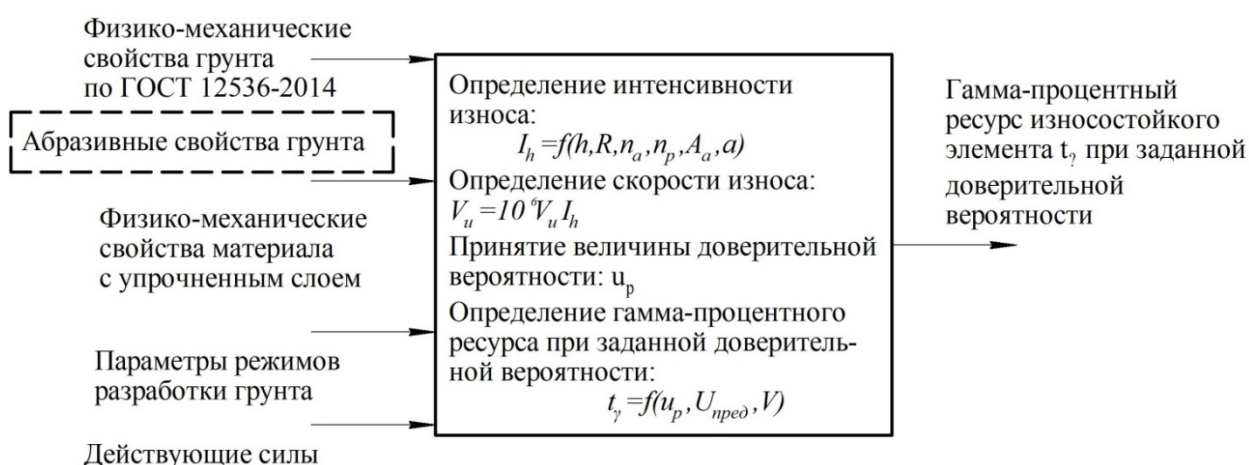


Рисунок 3.8 – Структура модели оценки долговечности деталей строительного-дорожных машин с упрочненным слоем

Определение интенсивности изнашивания производилось на основе зависимостей К.Х. Макхамова, которые были модернизированы с учетом специфики разработки грунта строительного-дорожной машиной, имеющей рабочие органы с упрочненным слоем [67]:

$$I_{hg} = \frac{2 \cdot K_{hg} \cdot (R - h/3) \cdot Kn_{ag}}{A_a \cdot a \cdot Kn_{pg}}, \quad (3.64)$$

где h – глубина внедрения абразивных частиц грунта; a – радиус контакта частиц грунта с поверхностью зуба; R – усредненный радиус абразивных частиц грунта; A_a – площадь контакта режущего элемента рабочего органа с абразивной частицей грунта.

Данная модель позволяет корректно учитывать абразивные свойства рабочей среды, при помощи показателей a, R, Kn_a учитывается влияние размеров, формы абразивных частиц грунта на износостойкость рабочих органов СДМ.

Учитывая свойства упрочненного слоя, параметры Kn_a, K_h, Kn_p необходимо рассматривать как зависимости от физико-механических свойств упрочненного слоя режущего элемента рабочего органа. Поэтому в зависимости были введены коэффициенты числа частиц грунта, взаимодействующих с поверхностью режущего элемента Kn_{ai} , глубины внедрения абразивных частиц грунта в поверхность режущего элемента K_{hi} и числа рабочих циклов процесса копания циклов, приводящих к разрушению материала Kn_{pi} :

$$K_{hg} = \frac{12}{HB_g + 100} \sqrt{0.25 \cdot \pi \cdot a^2}, \quad (3.65)$$

где a – радиус контакта абразивных частиц грунта с поверхностью рабочего органа.

$$Kn_{ag} = \frac{4 \cdot A_a \cdot K_{Tg}}{\pi \cdot d^2 \cdot \beta^{2/3}}, \quad (3.66)$$

где β – плотность грунта; $K_{Tg} = H_{a\partial p} / HB_g$ – коэффициент, учитывающий соотношение твердостей материала абразивных частиц грунта и поверхности режущего элемента рабочего органа; A_a – площадь контакта режущего элемента рабочего органа с абразивом; d – усредненный диаметр частиц абразива.

$$Kn_{pg} = \left(\frac{\sigma_a}{\sigma_{-1g} N_G^{-m}} \right)^{-m}, \quad (3.67)$$

где $\sigma_a = P / A_a$ – напряжение на поверхности режущего элемента рабочего органа; P – усилие резания; σ_{-1g} – предел выносливости материала; N_G – абсцисса перегиба кривой Велера; m – показатель для материала.

Для определения показателей надежности была модернизирована известная зависимость, приведенная в работах А.Г. Сулова, позволяющая оце-

нить гамма-процентный ресурс при заданном уровне доверительной вероятности, посредством учета изменения среднего значения скорости изнашивания ($V_{и}=10^6 \cdot I_{hg} \cdot V$) и параметров ее рассеяния (σ_{Vg}) при изменении твердости по толщине слоя:

$$u_p = \frac{(U_{пред} - \Delta a) - \bar{V}_u \cdot t_{\gamma g}}{\sqrt{\sigma_a^2 + \sigma_{Vg}^2 \cdot t_{\gamma g}^2}}, \quad (3.68)$$

где $V_u=10^6 \cdot I_{hg} \cdot V$ – скорость изнашивания; I_{hg} – значение интенсивности изнашивания по сечениям; V – скорость относительного передвижения; σ_a – параметр рассеяния; σ_{Vg} – параметры рассеяния по сечениям; $U_{пред}$ – характеристика предельного состояния детали; Δa – допуск на размер; u_p – вероятность безотказной работы.

Суммарная величина гамма-процентного ресурса определяется следующим образом:

$$t_{\gamma} = \sum_{g=1}^n t_{\gamma g}, \quad (3.69)$$

где n – число расчетных сечений.

Разработанная модель дает возможность учитывать динамику износа режущей кромки рабочих органов строительно-дорожных машин для любых грунтов (как природных, так и техногенных) и прогнозировать надежность по показателям гамма-процентного ресурса. Это дает возможность в частности оценивать межремонтный интервал и своевременно производить замену изношенных элементов рабочих органов строительно-дорожных машин.

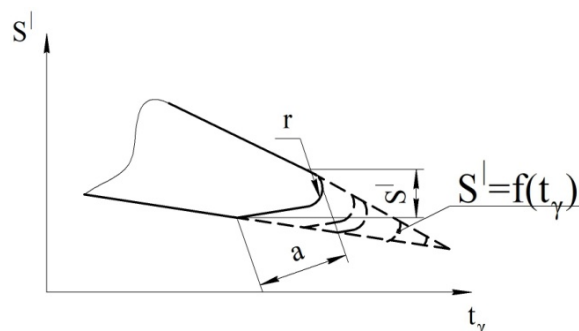


Рисунок 3.9 – Прогнозирование динамики изнашивания режущей кромки

3.3 Выводы по главе 3

1. Большинство существующих теорий резания и копания грунта учитывает износ режущей кромки рабочего органа и его влияние на действующие усилия. Однако в них отсутствует возможность учета динамики износа.

2. Теоретический подход с использованием расчетных зависимостей детерминированного типа не учитывает изменения физических свойств материала режущих элементов по сечению, функция износа линейная, а также большинство моделей не применялось непосредственно к разработке грунтов.

3. В моделях, полученных А.К. Рейшем, абразивные свойства грунта учитываются через коэффициент абразивности грунта, и величина ресурса вычислялась через линейные функции. Однако данные модели возможно использовать только для ограниченной номенклатуры природных грунтов.

4. Модели расчета ресурса А.К. Рейша не дают возможности прогнозировать надежность и момент выхода из строя рабочих органов строительного-дорожных машин.

5. Разработанная модель дает возможность учитывать динамику износа режущей кромки рабочих органов строительного-дорожных машин для любых грунтов (как природных, так и техногенных) и прогнозировать надежность по показателям гамма-процентного ресурса. Это дает возможность, в частности, оценивать межремонтный интервал и своевременно производить замену изношенных элементов рабочих органов строительного-дорожных машин.

4 РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПОВЕРХНОСТНОГО УПРОЧНЕНИЯ

4.1 Теоретические исследования по определению условий термической обработки деталей с диффузионным слоем

Основная цель теоретических исследований, проводимых на данном этапе, заключается в решении вопросов определения условий проведения закалки слоя после термодиффузионного легирования.

Для реализации данной цели в рамках прикладных теоретических исследований было выполнено следующее:

- обоснована рабочая гипотеза исследования, которая положена в основу разрабатываемой технологии закалки слоя после термодиффузионного легирования с получением мартенситной структуры в условиях ремонтного производства;

- на основе метода анализа иерархий проведен комплексный технико-экономический анализ способов нагрева деталей под закалку и выбран вариант, обладающий лучшим сочетанием характеристик применительно к условиям ремонтного производства;

- определены режимы нагрева детали под закалку на основе решения уравнения теплопроводности в критериальной форме.

4.1.1 Рабочая гипотеза при определении условий термической обработки после термодиффузионного легирования деталей из серого чугуна

Определение условий нагрева является одним из самых важных и одновременно сложных вопросов разработки технологических процессов термической обработки. Нагрев не может осуществляться равномерно по всему сечению детали. Поверхностные слои детали всегда нагреваются быстрее, чем

сердцевина. Неравномерность нагрева (охлаждения) может быть причиной возникновения внутренних напряжений. Для повышения производительности процессов термической обработки необходимо стремиться к минимизации времени нагрева, т. е. проводить его с максимальной скоростью, но таким образом, чтобы не возникали трещины и был обеспечен полный и равномерный нагрев деталей по всему сечению.

На значения времени нагрева оказывает влияние широкий спектр факторов, к которым относятся форма и размеры изделия, способы укладки, теплотехнические свойства материала детали и т.д. Полностью влияние всех факторов зачастую учесть не представляется возможным. К наиболее существенным факторам относятся масса и форма изделия, а также температура нагрева.

Чем меньше масса изделия и выше температура, тем быстрее идет нагрев. При одинаковой массе и сечении деталей, но разной форме, скорость нагрева может быть различной (например, цилиндр диаметром d нагревается вдвое быстрее, чем пластина толщиной d).

Помимо этого, на качество термической обработки оказывает влияние скорость и среда нагрева. Например, высокая скорость нагрева позволяет снизить обезуглероживание слоя, однако одновременно повышается вероятность образования трещин.

Роль среды нагрева двояка. Во-первых, от нее зависит скорость передачи теплоты, а следовательно, скорость и продолжительность нагрева. Во-вторых, среда, в которой происходит нагрев, может вызвать окисление и обезуглероживание поверхности. Кроме того, следует учитывать, что использование, например, нагрева посредством токов высокой частоты требует сложных источников энергии, а жидкостная среда создает тяжелые условия труда. Поэтому решение вопроса выбора среды нагрева должно определяться посредством анализа комплекса факторов как технического, так и экономического характера и с учетом специфики производства (в рассматриваемом случае для условий ремонта и восстановления).

Сущность рабочей гипотезы состоит в том, что *при реализации процесса закалки деталей после термодиффузионного легирования феррито-перлитного серого чугуна в условиях ремонтного производства целесообразно использовать нагрев в электропечи, продолжительность которого можно определить на основе решения уравнения теплопроводности в критериальной форме.*

4.1.2 Выбор среды нагрева для закалки деталей

Как было отмечено выше, наиболее часто при закалке используются следующие решения:

- индукционный нагрев;
- нагрев в соляной ванне;
- нагрев в электропечи;
- нагрев с использованием пламени.

Нагрев с использованием пламени в рассматриваемых условиях практически не применим, т.к. он ухудшает качество поверхностного слоя из-за наличия в среде кислорода и ацетилена.

При индукционном нагреве получение требуемой температуры достигается посредством переменного магнитного поля индуктора, которое создает в заготовке вихревые токи. Можно отметить следующие преимущества данного решения:

- широкий диапазон получаемых скоростей нагрева за счет изменения вводимой мощности;
- возможность получения практически любой температуры вплоть до испарения металла и получения плазмы;
- хорошие санитарно-гигиенические условия труда;
- возможность регулировать размеры зоны нагрева и простота автоматизации процесса.

Основные недостатки способа:

- сложность источников питания;
- повышенный удельный расход энергии;
- зависимость конфигурации индуктора от формы изделия.

Использование соляных ванн также позволяет получать высокие значения скорости нагрева, причем с лучшей равномерностью, нежели при использовании токов высокой частоты. Также к преимуществам данного вида нагрева можно отнести:

- возможность проведения разных видов термической и термохимической обработки;
- защита заготовки от обезуглероживания при остывании.

Недостатки:

- большой удельный расход энергии из-за длительности нагрева;
- значительный расход соли;
- плохие санитарно-гигиенические условия труда.

При нагреве в электропечи возникают проблемы с обеспечением равномерности прогрева заготовок, но, с другой стороны, нет необходимости в сложном оборудовании и в наличии хорошие санитарно-гигиенические условия труда.

Сравнение технических и экономических особенностей методов удобно делать на основе использования метода анализа иерархий [164]. В рассматриваемом случае предполагается решение задачи для двух уровней иерархии по выбору из трех альтернатив по четырем критериям.

Перечень альтернативных вариантов приведен на рисунке 4.1, а в качестве критериев можно выделить следующие:

1. Универсальность оборудования (K1);
2. Производительность (K2);
3. Экономичность способа (K3);
4. Экологичность способа (K4).

При анализе будем опираться на то, что в работе [65] было проведено сравнение экономичности методов и отмечено, что печной нагрев более вы-

годен, чем другие методы. Полная доминантная иерархия приведена на рисунке 4.1.



Рисунок 4.1 – Полная доминантная иерархия

Матрицы парных сравнений для уровня целей и критериев приведены в таблицах 4.1 – 4.6.

Таблица 4.1 - Матрица парных сравнений для уровня целей

	К ₁	К ₂	К ₃	К ₄
К ₁	1	4	¼	3
К ₂	¼	1	1/3	1/3
К ₃	4	3	1	1/3
К ₄	1/3	3	3	1

Таблица 4.2 - Матрица парных сравнений для уровня критериев «Универсальность оборудования»

К ₁	В ₁	В ₂	В ₃
В ₁	1	1/5	1/5
В ₂	5	1	1/3
В ₃	5	3	1

Таблица 4.3 - Матрица парных сравнений для уровня критериев «Производительность»

K_2	B_1	B_2	B_3
B_1	1	5	5
B_2	1/5	1	1/3
B_3	1/5	1/4	1

Таблица 4.5 - Матрица парных сравнений для уровня критериев «Экономичность способа»

K_3	B_1	B_2	B_3
B_1	1	3	1/5
B_2	1/3	1	1/6
B_3	5	6	1

Таблица 4.6 - Матрица парных сравнений для уровня критериев «Экологичность способа»

K_4	B_1	B_2	B_3
B_1	1	5	1
B_2	1/5	1	1/5
B_3	1	5	1

На рисунке 4.2 приведены результаты комплексного технико-экономического анализа методов нагрева под закалку деталей после термодиффузионного легирования:

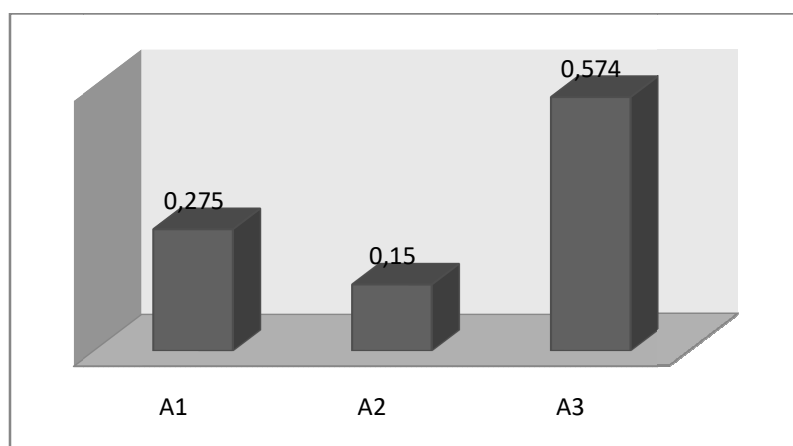


Рисунок 4.2 – Результаты комплексного технико-экономического анализа методов нагрева под закалку деталей после термодиффузионного легирования

Как видно из рисунка 4.2, наилучшим сочетанием критериев обладает альтернатива A_3 : нагрев в электропечи. Однако при использовании данного

метода применительно к закалке деталей из феррито-перлитного серого чугуна после термодиффузионного легирования возникает проблема определения времени нагрева под закалку. Путем ее решения может быть использование теплотехнических расчетов, в частности, решения уравнения теплопроводности в критериальной форме [65].

4.1.3 Определение времени нагрева под закалку

Решение поставленной задачи заключается в определении зависимости температуры от времени выдержки в печи (построение кривой нагрева). Одним из наиболее эффективных способов определения данной зависимости является решение уравнения теплопроводности [65]. Параметры нагрева и охлаждения тел зависят от теплопроводности (λ) и температуропроводности (a).

Теплопроводность зависит от состава материала и от температуры [65]. В частности, при увеличении концентрации углерода и легирующих элементов теплопроводность снижается. Увеличение температуры также приводит к снижению данной величины.

Температуропроводность определяется по следующей зависимости [65]:

$$a = \frac{\lambda}{c \gamma}, \quad (4.1)$$

где c – теплоемкость, λ – коэффициент теплопроводности и γ – единица объема материала.

Также важным фактором является теплоотдача, которая зависит от [65]:

- природы нагревающей или охлаждающей среды;
- температуры среды;
- циркуляции среды;

- температуры нагреваемой или охлаждаемой поверхности изделия.

Учитывая, что в рамках данной работы предполагается использование печного нагрева, коэффициент теплоотдачи определяется следующим образом [65]:

$$\alpha_{изл} = \frac{C \left[\left(\frac{T}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{нов}}{100} \right)^4 \right]}{T - T_{нов}}, \quad (4.2)$$

где C — коэффициент излучения в ккал\м²час град⁴;

T — абсолютная температура излучающих газов, свода и пода;

$T_{пов}$ — абсолютная температура поверхности изделия.

Построение кривой нагрева выполняется на основании решения уравнения Фурье [65]:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}, \quad (4.3)$$

где T — температура;

τ — время;

α — температуропроводность.

Однако более удобным является решение данного уравнения в критериальной форме [65]:

$$\frac{T_{cp} - T}{T_{cp} - T_0} = F \left(\frac{x}{S}; \frac{\alpha\tau}{S^2}; \frac{aS}{\lambda} \right), \quad (4.4)$$

где a — коэффициент теплоотдачи от поверхности тела к внешней среде;

T_{cp} — температура среды;

T_0 — начальная температура тела;

S — половина толщины пластины, радиус цилиндра или шара;

x — расстояние от середины тела до данной точки;

T — текущая температура в данной точке;

λ — коэффициент теплопроводности;

α - коэффициент температуропроводности;

τ — время.

Величины, входящие в функциональную зависимость, являются критериальными функциями [65]:

$\frac{x}{S}$ - относительная длина, которая характеризует положение расчетного сечения;

$F_0 = \frac{\alpha\tau}{S^2}$ - критерий Фурье, который характеризует стадию процесса нагрева (охлаждения);

$Bi = \frac{aS}{\lambda}$ - критерий Био, характеризующий отношение теплового сопротивления тела к интенсивности теплообмена на поверхности.

Важным вопросом, который необходимо решить при проведении расчетов нагрева и охлаждения тел, является то, относится ли тело к тонким или массивным [65]. В практике расчетов данное разделение производится на основе определения критерия Био.

Чтобы установить границу между тонкими и массивными изделиями, необходимо задаться степенью точности расчетов. Чем с большей точностью должны быть выполнены расчеты, тем более узкой будет область тонких изделий, т. е. тем меньше должно быть сечение изделий, которые можно рассчитывать упрощенными методами, не учитывающими различия температуры по их сечению. Чрезмерное уточнение расчетов нецелесообразно не только из-за трудоемкости, но и потому, что исходные данные (коэффициенты теплоотдачи, теплопроводность и др.) обычно известны лишь приблизительно, что делает излишним вычисление с более высокой точностью. Для наших целей возможно принять в качестве граничного значения критерия Био число, равное 0.1.

Задача построения кривой нагрева заключается в решении уравнения (4.4) для различных значений времени выдержки в среде τ . В литературе [65]

приведены зависимости значений температуры от критериальных функций. При этом уравнение (4.4) преобразуется в следующий вид:

$$T_i = T_{CP} + \Theta_S \times \Theta_R \times (T_0 - T_{CP}), \quad (4.5)$$

где θ_S и θ_R – значения критериальных функций вида $\theta(Bi, Fo)$ для поверхности и середины образца соответственно.

В качестве исходных данных для расчета примем следующие значения коэффициентов [65]:

- коэффициент теплопроводности $\lambda=14$ ккал/м·ч·°С;
- коэффициент теплоотдачи $a=150$ ккал/м²·ч·°С (соответствует нагреву в электрической печи);
- коэффициент температуропроводности $\alpha=0.025$ м²/ч;
- $T_{CP}=930$ °С (выбирается по рекомендациям [65]);
- $T_0=25$ °С.

В качестве примера рассмотрим случай, когда образец представляет собой цилиндр с диаметром 20 мм и длиной 50 мм (см. рисунок 4.3).

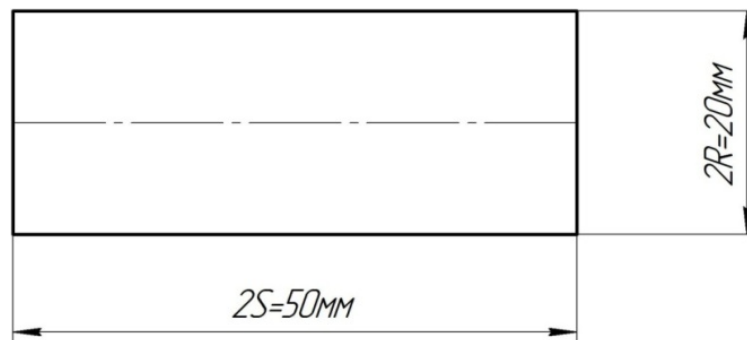


Рисунок 4.3 – Конфигурация образца

Значения критерия Био для поверхности S и оси изделия R соответственно равны:

$$Bi_R = \frac{aR}{\lambda} = \frac{150 \cdot 0.5 \cdot 0.02}{14} = 0.11$$

$$Bi_S = \frac{aS}{\lambda} = \frac{150 \cdot 0.5 \cdot 0.05}{14} = 0.26$$

Согласно рекомендациям [65], по определенным выше значениям критерия Био рассматриваемый образец можно отнести к массивным телам, по-

этому определение значений критериальных функций будем производить именно для таких тел.

Значения критерия Фурье определяются в зависимости от времени выдержки нагреваемого тела в среде. Для удобства результаты расчетов сведем в таблицу 4.7.

Таблица 4.7 – Значения критериев Фурье и Био

Время (τ , ч)	Критерий Био по радиусу Bi_R	Критерий Био по оси Bi_S	Критерий Фу- рье по радиусу Fr	Критерий Фу- рье по оси Fr_S
0.01	0.11	0.26	2.5	0.4
0.03	0.11	0.26	7.5	1.2
0.06	0.11	0.26	15	2.4
0.08	0.11	0.26	20	3.2

Значения критериальных функций в зависимости от времени выдержки в среде приведены в таблице 4.8.

Таблица 4.8 – Значения критериальных функций

Время (τ , ч)	Критериальная функция по радиусу Θ_R	Критериальная функция по оси Θ_S
0.01	0.64	0.75
0.03	0.25	0.6
0.06	0.03	0.35
0.08	0	0.24

Используя значения критериальных функций, рассчитываем температуру нагреваемого образца в каждой конкретной временной точке согласно уравнению (4.5). Результаты расчетов приведены в таблице 4.9 и на рисунке 4.4.

Таблица 4.9 – Параметры теоретической кривой нагрева

Время (τ , ч)	Температуры образца T , °C
0.01	495
0.03	794
0.06	920
0.08	930

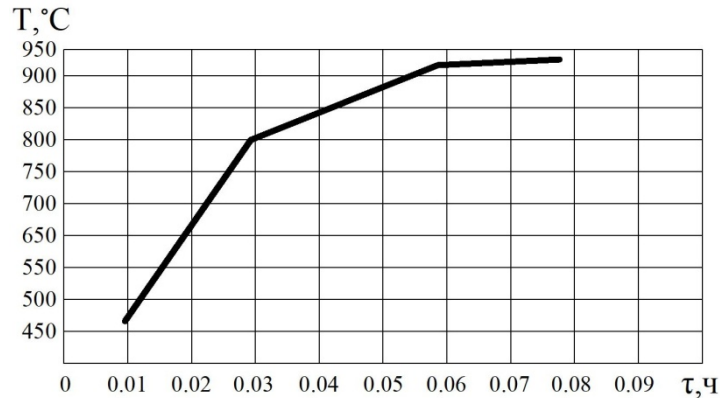


Рисунок 4.4 – Теоретическая кривая нагрева

Как можно видеть из таблицы 4.9, расчетное время нагрева и выдержки в печи составляет примерно 5-6 мин. Расчеты для образцов другой конфигурации проводятся аналогично. Полученные результаты требуют дальнейшей экспериментальной проверки.

4.2 Экспериментальные исследования свойств упрочненного слоя деталей строительно-дорожных машин

4.2.1 Методика экспериментальных исследований

Экспериментальные исследования проводились в два этапа. Целью первого этапа являлось подтверждение основной гипотезы о возможности формирования упрочненного слоя требуемой толщины и физико-механических свойств в условиях ремонтного производства. Данный этап включал в себя:

- экспериментальные исследования по выявлению закономерностей формирования слоя по толщине;

- выявление закономерностей обеспечения требуемых физико-механических свойств упрочненного слоя.

В качестве образцов использовались износостойкие накладки на рабочие органы. При реализации данного этапа экспериментальных исследований упрочняемые образцы подвергались нагреву в контакте с оксидами легирующих элементов и выдерживались в печи в течение 2-8 часов без доступа воздуха, что достигалось посредством создания восстановительной атмосферы.

В ходе второго этапа ставилась задача выявить закономерности между параметрами качества упрочненного слоя и технологическими режимами, которые позволят обеспечить требуемые величины послеремонтной надежности:

- установление закономерностей между режимами упрочнения и толщиной слоя;

- выявление зависимостей для определения режимов закалки образцов, обеспечивающих требуемые физико-механические свойства.

4.2.2 Материалы, оборудование и методы исследования

В качестве материала для исследования был выбран серый чугун марки СЧ-20 (ГОСТ 1482-85), химический состав приведен в таблице 4.10, а механические свойства – в таблице 4.11.

Таблица 4.10 – Химический состав

С, %	Si, %	Mn, %	S, %	P, %
3,6	2,2	0,7	0,12	0,15

Таблица 4.11 – Механические свойства

Плотность ρ , кг/м ³	Линейная усадка ε , %	Временное сопротивление разрыву МПа, при толщине стенки не менее 15 мм	Твердость НВ, при толщине стенки не менее 15 мм
$7,1 \times 10^3$	1,1	200	230

Процесс проводили в печи с графитовым нагревателем.

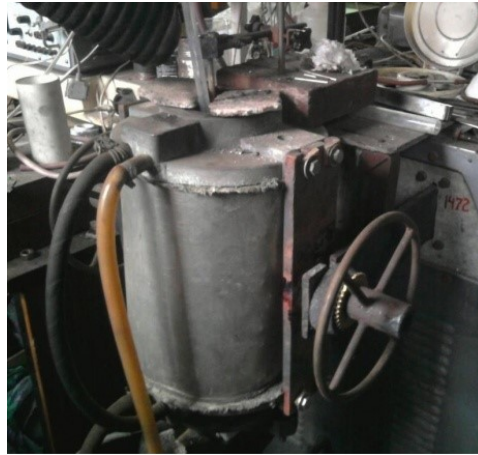


Рисунок 4.5 – Печь с графитовым нагревателем

Печь имеет следующие технические характеристики:

- Максимальная рабочая температура 2000 °С;
- Масса исследуемых материалов до 400 г;
- Возможность создания контролируемой атмосферы.

Для закалки использовалась печь марки SNOL 10/14.

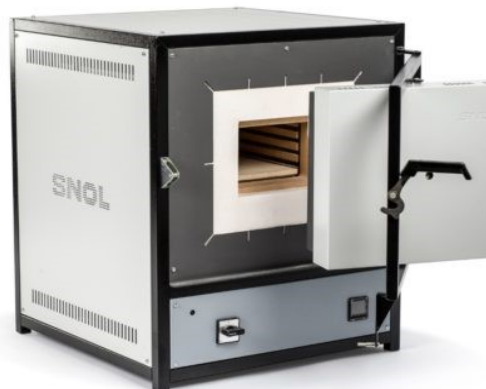


Рисунок 4.6 – Печь SNOL 10/14

Основные технические характеристики:

- Внешние размеры, мм, Д-Ш-В: 850-850-900;
- Внутренние размеры, мм, Д-Ш-В: 340-170-200;
- Максимальная температура, °С: 1400;
- Мощность, кВт: 6;
- Вес, кг: 130.

Образцы помещались в алундовый тигель или в контейнер. В качестве образцов, использовались накладки на рабочие органы (см. рисунок 4.7).



Рисунок 4.7 – Конфигурация образца

Для дальнейшего исследования из образца на рисунке 4.3 вырезались части. Исследование толщины слоя, а также металлографические исследования выполнялись с использованием микроскопов Neophot-21 при увеличении 200, 400, 500 и 1000 крат.

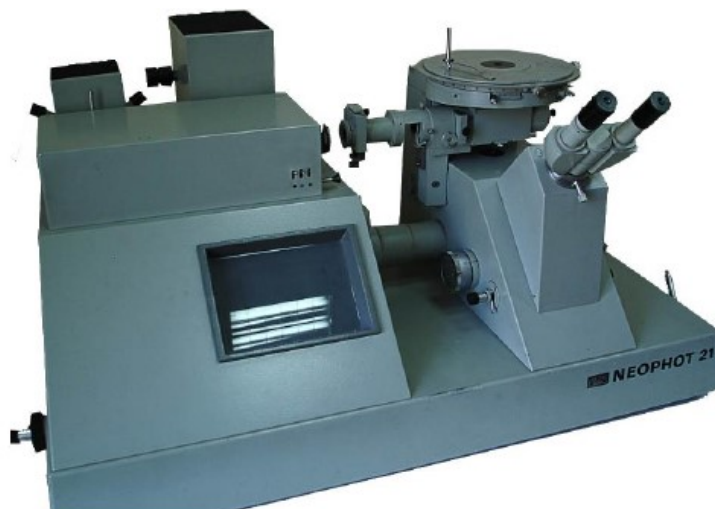


Рисунок 4.8 – Микроскоп Neophot-21

Твердость образцов измеряли посредством портативного твердомера марки ТН-130, позволяющего оценивать данное свойство по шкалам Роквелла и Викерса.



Рисунок 4.9 – Портативный твердомер ТН-130

Микротвердость структурных составляющих определяли на приборе ПМТ-3 с нагрузкой 0,2-0,5 Н (ГОСТ 9450-76).



Рисунок 4.10 – Микротвердомер ПМТ-3

Химический анализ выполнялся с использованием рентгеноспектрального анализатора «Inspektor-2000GT», а определение массовых содержаний

элементов в сплавах осуществляли рентгенофлуоресцентным методом на спектрометре «Спектроскан МАКС-G». Определение массы образцов до и после экспериментов проводилось на электронных весах с точностью 0,0001г и технических весах с точностью 0,01г.

Исследуемые образцы подвергались электрополировке на глубину 0,01...0,04 мм в электролите состава: 860 мл фосфорной кислоты, 100 г хромового ангидрида, 5 мл серной кислоты.

4.2.3 Результаты экспериментальных исследований и их анализ

Порошок чугуна (размер частиц менее 63 мкм) смешивался с порошком оксида легирующего элемента (размер частиц менее 63 мкм), смесь помещалась в алундовый тигель, нагревалась до температуры 1100°C и выдерживалась при этой температуре 8 ч. Химический состав приведен в таблице 4.12:

Таблица 4.12 – Химический состав частиц чугуна после выдержки 8 часов

	С, %
Cr ₂ O ₃	0,15
TiO ₂	0,08
V ₂ O ₃	0,05

Таким образом, экспериментально была доказана возможность окисления оксидами хрома, титана и ванадия углерода основы чугуна.

В ходе исследований взаимодействия оксидов с чугуном в твердом образце на всех исследуемых объектах был получен слой, отличия которого от основного материала видны невооруженным глазом.

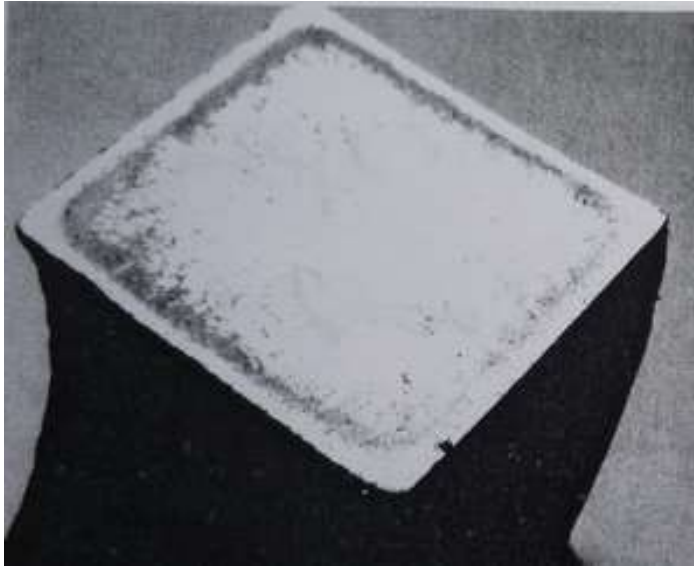


Рисунок 4.11 – Макроструктура слоя, x8

На рисунках 4.12 и 4.13 приведена структура слоя после взаимодействия с оксидами хрома и титана.

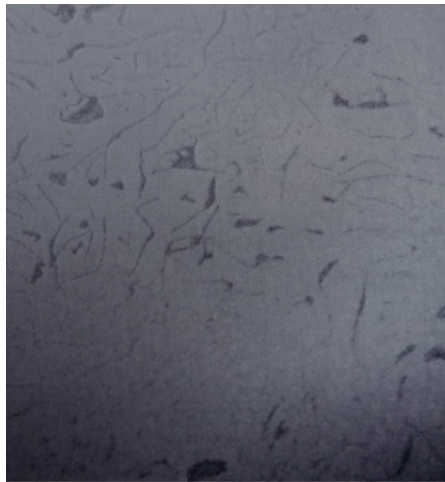


Рисунок 4.12 – Микроструктура слоя, упрочнение взаимодействием с оксидом хрома, x400



Рисунок 4.13 – Микроструктура слоя после взаимодействия с оксидом титана, x100

В ходе исследований было установлено, что при взаимодействии с оксидами титана и ванадия шаровидные включения графита в упрочненном слое отсутствуют. Это подтверждает выводы, полученные в главе 2.

Верхний край диффузионного слоя имеет ферритную структуру (далее ферритная кайма). Примечательно, что в ферритной кайме были обнаружены поры, выходящие наружу.



Рисунок 4.14 – Поры в ферритной кайме, х300

Данный факт является подтверждением того, что именно в ферритной кайме происходило окисление углерода с образованием газа CO, который выходил наружу. Таким образом, процесс протекает по адсорбционно-диффузионному механизму, т.е. происходит диссоциация оксидов на поверхности чугуна, окисление углерода основы и диффузия легирующих элементов вглубь сплава.

Исследование химического состава производилось с использованием порошков чугуна и оксидов FeO, Cr₂O₃ и MoO₂ по методике, описанной выше. После выдержки в течении 2, 4 и 8 часов при температуре 1100 °С были получены следующие результаты.

Таблица 4.13 – Химический состав после взаимодействия с FeO

τ, ч	C, %	Mn, %	Si, %
2	0.96	-	-
4	0.74	0.48	1.67
8	0.18	0.34	1.29

Таблица 4.14 - Химический состав после взаимодействия с Cr_2O_3

τ , ч	C, %	Mn, %	Si, %
2	1.05	-	-
4	0.87	0.58	1.8
8	0.15	0.49	1.4

Таблица 4.15 - Химический состав после взаимодействия с MoO_2

τ , ч	C, %	Mn, %	Si, %
2	1.14	-	-
4	0.96	0.66	1.92
8	0.24	0.53	1.54

Определение времени нагрева под закалку производили на основе решения уравнения теплопроводности в критериальной форме (см. пункт 4.1). В качестве закалочной среды использовалась вода.

На рисунках 4.15-4.17 приведено распределение микротвердости по толщине упрочненного слоя для оксидов FeO , Cr_2O_3 и MoO_2 после закалки. Замеры производились послойно (координата Z) в 3-5 точках для каждого уровня, на рисунках приведены средние значения.

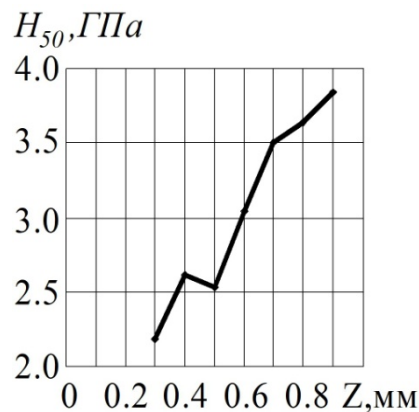


Рисунок 4.15 – Распределение микротвердости по толщине слоя Оксид FeO , температура выдержки $1100\text{ }^\circ\text{C}$, время выдержки 8 ч

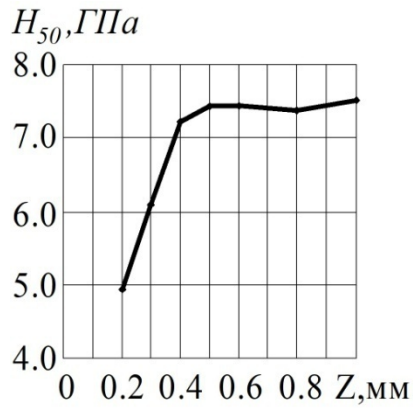


Рисунок 4.16 – Распределение микротвердости по толщине слоя Оксид Cr_2O_3 , температура выдержки 1100°C , время выдержки 8 ч

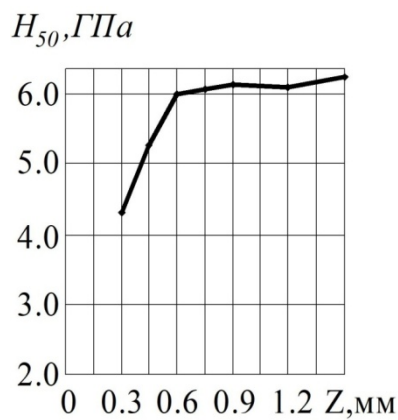


Рисунок 4.17 – Распределение микротвердости по толщине слоя Оксид MoO_2 , температура выдержки 1100°C , время выдержки 4 ч

Микротвердость исходного чугуна менялась в пределах 1.63-1.75 ГПа, таким образом, использование рассматриваемых решений позволяет увеличить микротвердость более чем в 2 раза.

Использование оксидов хрома и молибдена с последующей закалкой позволяет получать микротвердость, соизмеримую с высокопрочным чугуном, подвергнутым индукционной закалке или лазерному упрочнению [86].

Кроме того, важной особенностью является то, что микротвердость по толщине слоя увеличивается, что согласуется с данными исследований [86]. Такой характер изменения механических свойств слоя расширяет возможности применения метода ремонтных размеров, т.к. после удаления слоя материала нет необходимости в повторном упрочнении детали.

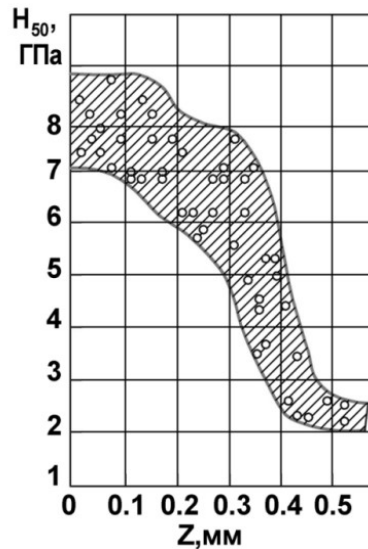


Рисунок 4.18 – Распределение микротвердости при лазерной закалке высокопрочного чугуна

Твердость слоя детали после взаимодействия с FeO и последующей закалки - 40-42 HRC. Такая твердость соизмерима с твердостью ковкого чугуна после закалки ТВЧ.

После взаимодействия с оксидом хрома до закалки твердость составляла 30-40 HRC, а после закалки 58-65 HRC. После взаимодействия с оксидом молибдена и последующей закалкой – 48-53 HRC. При этом, твердость высокопрочного чугуна после закалки ТВЧ составляет 56-63 HRC [86].

4.3 Экспериментальные исследования закономерностей влияния технологических режимов на толщину упрочненного и дефектного слоев на поверхности ремонтируемых деталей

4.3.1 Методика экспериментальных исследований

Важным моментом при разработке любой технологии является определение зависимостей выходных факторов от режимов. В рассматриваемом случае в качестве выходного фактора рассматривается только толщина упрочненного слоя, а параметрами режима являются температура и время выдержки в печи.

Экспериментальные исследования проводились в два этапа. В ходе первого этапа были проведены исследования по установлению зависимости толщины слоя от режимов (температуры и времени). Данный этап включал в себя:

- планирование эксперимента;
- проведение эксперимента;
- оценку толщины упрочненного слоя;
- обработку результатов и получение эмпирических зависимостей.

Как было описано выше, верхний край диффузионного слоя имеет ферритную структуру, этот слой имеет очень низкую твердость, кроме того, в нем есть поры, что дополнительно снижает сопротивляемость изнашиванию. Следовательно, данный слой можно рассматривать как дефектный и в обоснованных случаях включать в значение припуска, подлежащего последующему удалению посредством механической обработки.

На втором этапе экспериментальных исследований были проведены работы по установлению зависимости толщины дефектного слоя от температуры и времени выдержки.

4.3.2 Экспериментальные исследования зависимости толщины упрочненного слоя от технологических режимов

В рассматриваемом случае был использован композиционный план второго порядка, общий вид которого приведен в таблице 4.16.

Таблица 4.16 – План эксперимента

Номер опыта	Факторы		g
	x ₁	x ₂	
1	-1	-1	g ₁
2	+1	-1	g ₂
3	-1	+1	g ₃

Окончание таблицы 4.16

4	+1	+1	g ₄
5	0	0	g ₅
6	+1	0	g ₆
7	-1	0	g ₇
8	0	+1	g ₈
9	0	-1	g ₉

В качестве факторов x_1 и x_2 рассматриваются температура выдержки в печи t , °С и время процесса τ , мин.

Выходной параметр – толщина упрочненного слоя g , мм. Уровни варьирования факторов приведены в таблице 4.17.

Таблица 4.17 – Уровни варьирования факторов

Уровень	Кодированные значения факторов	Натуральные значения факторов	
		t , °С	τ , ч
Нижний	-1	900	2
Верхний	+1	1100	5
Основной	0	1000	8
Интервал варьирования	1	100	3

Были проведены экспериментальные исследования по выявлению зависимостей толщины упрочненного слоя от технологических факторов при термодиффузионном упрочнении серого чугуна посредством нагрева в контакте с оксидами железа (FeO), хрома (Cr_2O_3) и молибдена (MoO_2).

Данные по значениям толщины упрочненного слоя приведены в таблице 4.18. Для удобства обработки экспериментальных данных и наглядности представления в одной таблице приведены сведения по получаемой толщине упрочненного слоя при взаимодействии с оксидами железа, хрома и молибдена.

Таблица 4.18 – Значения толщины упрочненного слоя при взаимодействии основы чугуна с оксидами легирующих элементов

Номер опыта	g	FeO	Cr ₂ O ₃	MoO ₂
1	g ₁	0,125	0,130	0.355
2	g ₂	0,70	0,607	2.323
3	g ₃	0,36	0,380	1.484
4	g ₄	0,93	1,060	3.007
5	g ₅	0,334	0,235	0.704
6	g ₆	0,88	0,872	2.637
7	g ₇	0,29	0,270	0.796
8	g ₈	0,60	0,680	2.353
9	g ₉	0,51	0,580	1.559

Расчет коэффициентов производился на основе использования матрицы, приведенной в таблице 4.19.

Таблица 4.19 – Матрица для расчета коэффициентов

Номер опыта	x ₀	x ₁	x ₂	(x ₁) ²	(x ₂) ²	x ₁ x ₂	g
1	+1	-1	-1	+0.33	+0.33	+1	g ₁
2	+1	+1	-1	+0.33	+0.33	-1	g ₂
3	+1	-1	+1	+0.33	+0.33	-1	g ₃
4	+1	+1	+1	+0.33	+0.33	+1	g ₄
5	+1	0	0	-0.67	-0.67	0	g ₅
6	+1	+1	0	+0.33	-0.67	0	g ₆
7	+1	-1	0	+0.33	-0.67	0	g ₇
8	+1	0	+1	-0.67	+0.33	0	g ₈
9	+1	0	-1	-0.67	+0.33	0	g ₉
Σ	9	6	6	2	2	4	

Вычисление коэффициентов модели производилось по формулам:

$$b_1 = \frac{\Sigma(x_1 y)}{6} \quad (4.6)$$

$$b_2 = \frac{\Sigma(x_2 y)}{6} \quad (4.7)$$

$$b_{11} = \frac{\Sigma((x_1^1)^2 y)}{2} \quad (4.8)$$

$$b_{22} = \frac{\Sigma((x_2^1)^2 y)}{2} \quad (4.9)$$

$$b_{12} = \frac{\Sigma(x_1 x_2 y)}{4} \quad (4.10)$$

$$b_0 = \frac{\Sigma(x_0 y)}{9} - 0.67b_{11} - 0.67b_{22} \quad (4.11)$$

Проверка значимости коэффициентов осуществлялась по критерию Стьюдента:

$$t_j = \frac{|b_j|}{S_{b_j}}, \quad (4.12)$$

где $S_{b_j} = \frac{S}{\sqrt{N}}$ - характеристика точности определения коэффициентов;

$$S^2 = \frac{\sum_{u=1}^{NN} (y_u^0 - \bar{y}^0)^2}{NN - 1} - \text{дисперсия воспроизводимости};$$

NN – число параллельных опытов;

\bar{y}^0 - среднее значение величины, полученное при параллельных опытах;

y_u^0 - значения, которые получены при постановке каждого из дополнительных опытов в центре плана.

Проверка адекватности полученной модели выполнялась с использованием критерия Фишера:

$$F = \frac{S_o^2}{S^2}, \quad (4.13)$$

где $S_o^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - y_{r_i})^2}{N - L}$ - остаточная дисперсия;

L – число значимых коэффициентов в уравнении модели.

В результате расчетов были получены следующие зависимости для определения толщины упрочненного слоя:

$$\text{FeO: } g=5.8 \cdot 10^{-6} \cdot t^2 - 4.167 \cdot 10^{-6} \cdot t \cdot \tau - 8.689 \cdot 10^{-3} \cdot t + 3.111 \cdot 10^{-3} \cdot \tau^2 + 3.722 \cdot 10^{-3} \cdot \tau + 3.281$$

$$\text{Cr}_2\text{O}_3: g=4.7 \cdot 10^{-6} \cdot t^2 + 1.7 \cdot 10^{-4} \cdot t \cdot \tau - 7.32 \cdot 10^{-3} \cdot t + 0.012 \cdot \tau^2 - 0.243 \cdot \tau + 3.124$$

$$\text{MoO}_2: g=2.03 \cdot 10^{-5} \cdot t^2 - 3.7 \cdot 10^{-4} \cdot t \cdot \tau - 0.03 \cdot t + 0.049 \cdot \tau^2 - 0.029 \cdot \tau + 11.291$$

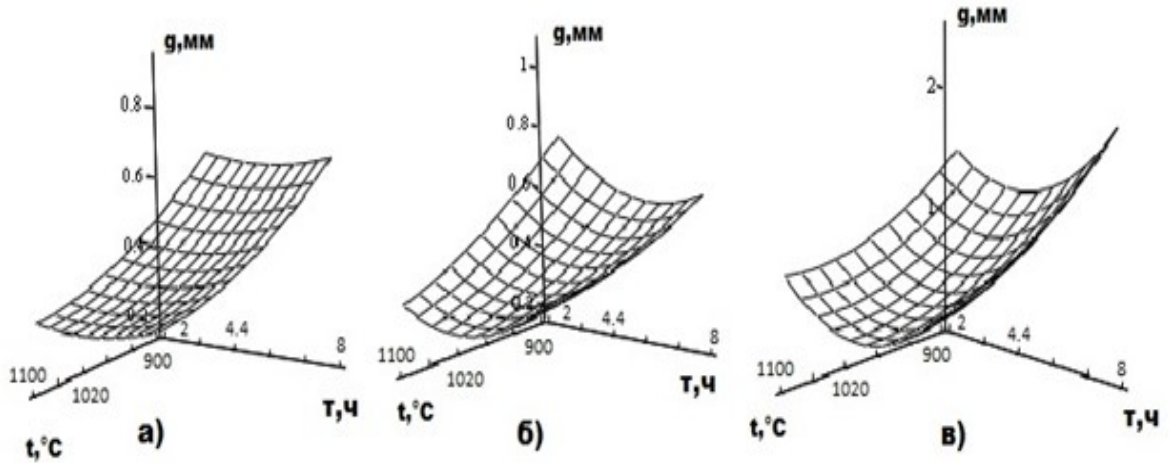


Рисунок 4.19 – Поверхности отклика

Как можно видеть из полученных результатов, толщина упрочненного слоя в случае использования оксидов FeO и Cr₂O₃ достигает 1 мм, а при использовании оксида MoO₂ – 3 мм. В целом, получаемая толщина слоя в 2.5-5 раз превышает результаты, которые можно достигать при использовании других способов упрочнения феррито-перлитного серого чугуна. Большие значения толщины слоя при использовании оксида молибдена объясняются тем, что в данном случае образуется соединение Mo₂Fe₃ (интерметаллид), которое усиливает диффузию [56].

4.3.3 Экспериментальные исследования зависимости толщины дефектного слоя от режимов упрочнения

На рисунках 4.20-4.22 приведены зависимости толщины дефектного слоя ($g_{\text{ДС}}$, мм) от толщины упрочненного слоя (g , мм).

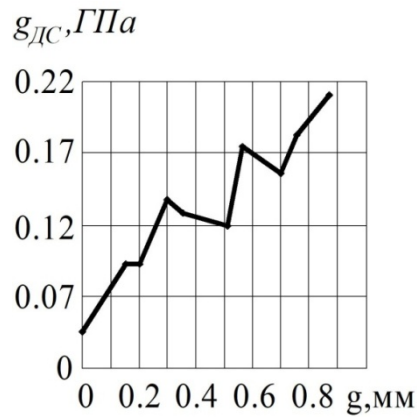


Рисунок 4.20 – Зависимость толщины дефектного слоя от толщины упрочненного слоя при взаимодействии с FeO

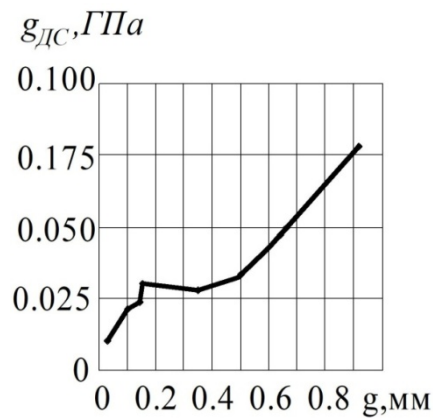


Рисунок 4.21 – Зависимость толщины дефектного слоя от толщины упрочненного слоя при взаимодействии с Cr_2O_3

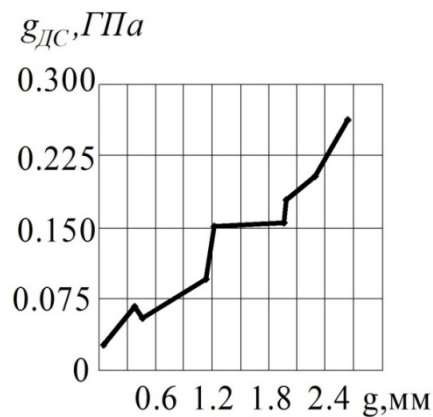


Рисунок 4.22 – Зависимость толщины дефектного слоя от толщины упрочненного слоя при взаимодействии с MoO_2

Анализируя полученные зависимости, можно отметить, что толщина ферритной каймы при упрочнении в контакте с окалиной составляет в среднем 30% от упрочненного слоя, а при использовании молибдена и хрома – 10%. Поэтому в качестве зависимостей данного фактора от режимов можно

использовать полученные выше формулы с соответствующей корректировкой.

4.3.4 Экспериментальные исследования прочности материала ремонтируемой детали после упрочнения

Важным эксплуатационным свойством, которое необходимо обеспечивать как для деталей силовых приводов, так и для деталей рабочих органов строительной-дорожной техники является прочность. На данном этапе экспериментальных исследований изучалось влияние толщины слоя на прочность с использованием программного пакета Ansys. Определение граничных условий выполнялось экспериментально на прессе П-150М с максимальным усилием сжатия 15000 Н. Пример разрушенного образца приведен на рисунке 4.23.



Рисунок 4.23 – Разрушенный образец

В результате испытаний было установлено, что предел прочности образца диаметром 10 мм, упрочненного оксидом хрома с толщиной слоя 0.5 мм составляет 62 кг/мм^2 . Для сравнения были испытаны образцы из не уп-

роченного серого чугуна той же марки, предел прочности которых составил 37.1 кг/мм^2 . Таким образом, результаты экспериментов показывают, что использование диффузионного упрочнения серого чугуна позволяет существенно увеличить его прочность. Пример исследования прочности в пакете Ansys приведен на рисунке 4.24.

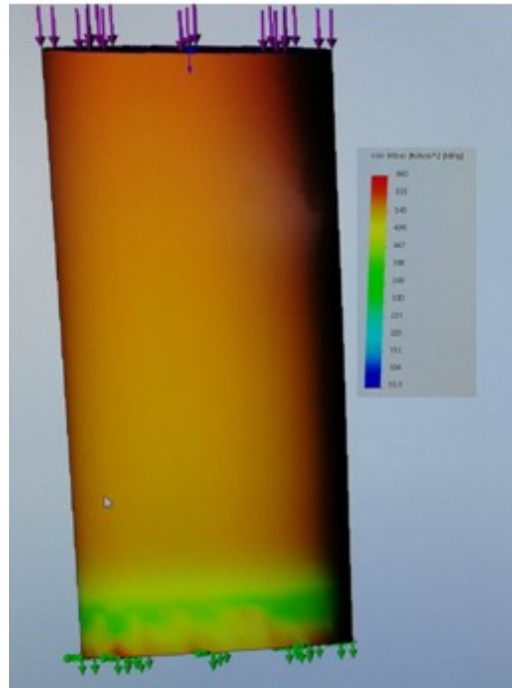


Рисунок 4.24 – Пример расчета в пакете Ansys

Был выполнен полный факторный эксперимент, уровни варьирования факторов приведены в таблице 4.20.

Таблица 4.20 – Уровни варьирования факторов

Уровень	Кодированные значения факторов	Натуральные значения факторов	
		d, мм	g, мм
Нижний	-1	10	1
Верхний	+1	40	3
Основной	0	25	2
Интервал варьирования	1	15	1

Таблица 4.21 – Значения толщины упрочненного слоя при взаимодействии основы чугуна с оксидами легирующих элементов

Номер опыта	у	σ_b , МПа
1	у ₁	977
2	у ₂	378
3	у ₃	630
4	у ₄	132
5	у ₅	735
6	у ₆	305
7	у ₇	924
8	у ₈	351
9	у ₉	536

В результате расчетов были получены следующие зависимости для определения предела прочности в зависимости от диаметра образца и толщины упрочненного слоя:

$$\sigma_b = 0.23 \cdot d^2 - 0.42 \cdot d \cdot g - 21.5 \cdot d - 9.92 \cdot g^2 + 80.18 \cdot g + 1016.16.$$

На рисунках 4.25-4.30 приведены данные по исследованию прочности и жесткости гильз, изготовленных из серого чугуна без упрочнения и с упрочнением. В качестве нагрузки рассматривается усилие запрессовки втулки, которое определяли согласно рекомендациям технической литературы [1].

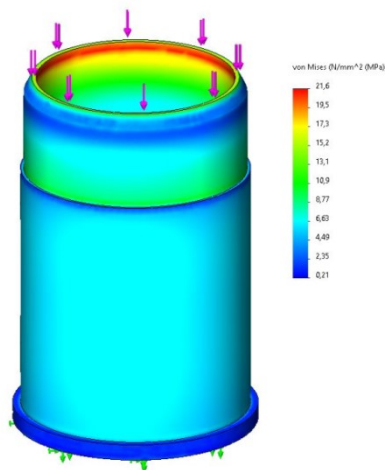


Рисунок 4.25 – Результат определения напряжений во втулке из серого СЧ20 чугуна без упрочнения

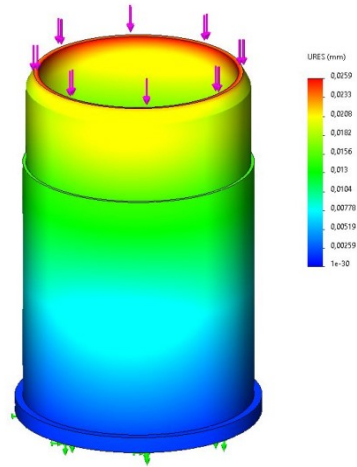


Рисунок 4.26 – Результат определения деформаций во втулке из серого СЧ20 чугуна без упрочнения

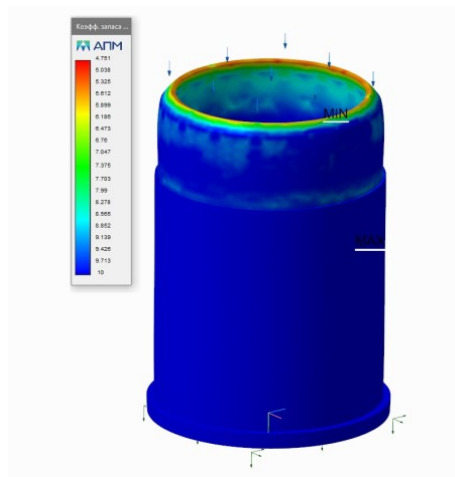


Рисунок 4.27 – Коэффициент запаса прочности

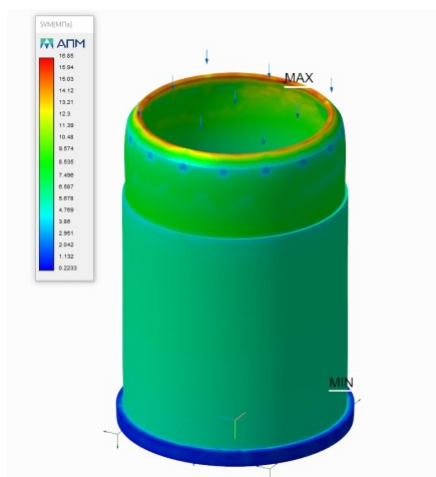


Рисунок 4.28 – Результат определения напряжений во втулке из серого СЧ20 чугуна с упрочнением

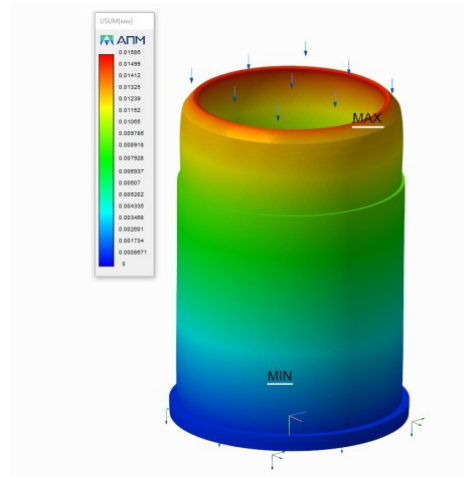


Рисунок 4.29 – Результат определения деформаций во втулке из серого СЧ20 чугуна с упрочнением

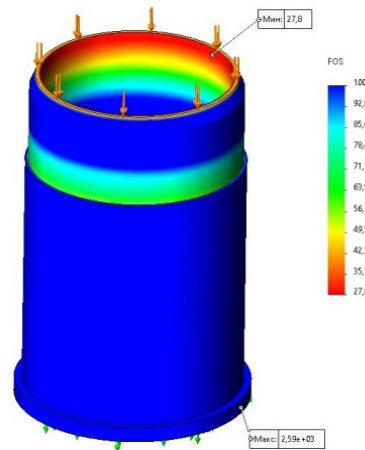


Рисунок 4.30 – Коэффициент запаса прочности

Для защиты поверхностного слоя рекомендуется использовать печи с возможностью создания восстановительной атмосферы. Однако в условиях ремонтного производства такое оборудование есть не всегда. Было разработано устройство для диффузионного легирования (патент RU № 186172), использование которого позволяет обеспечить требуемые свойства упрочненного слоя в любой печи с температурой нагрева до 1100°C. Схема устройства приведена на рисунке 4.31.

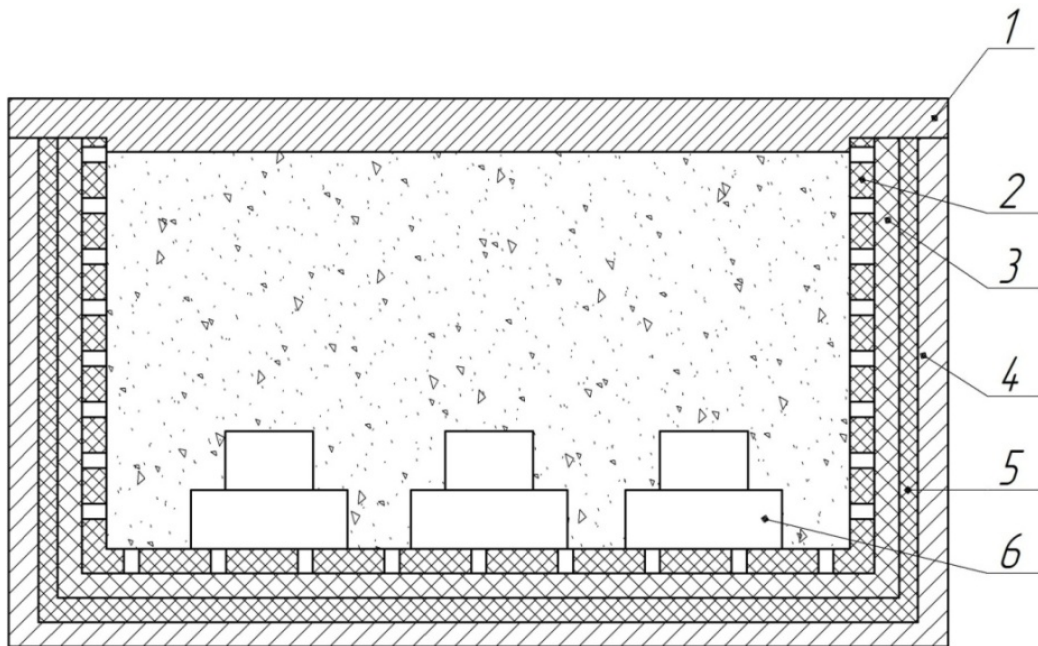


Рисунок 4.31 – Устройство для диффузионного легирования

Устройство включает в себя металлический ящик 4, который закрывается крышкой 1. Ящик обложен пластинами из графита 3, которые, окисляясь, образуют восстановительную атмосферу из оксида углерода. Пластины из графита изолированы от ящика 4 и деталей 6 посредством прокладок 5 и 2. Причем одна из прокладок выполнена пористой (прокладка 2) для того, чтобы газ CO поступал в активную зону. Прокладки используются, чтобы предотвратить процесс подплавления деталей и ящика от контакта с графитовыми пластинами. Внутрь ящика засыпается оксид легирующего элемента.

Таким образом, разработанный метод упрочнения дает возможность получать на поверхности чугуна слой толщиной до 3 мм (что в 10-15 раз больше, чем при использовании других применяемых в промышленной практике технологий поверхностного упрочнения чугунов). При этом вместо дорогостоящих расходных материалов (феррохрома и т.д.) используются оксиды элементов.

4.4 Экспериментальное исследование долговечности рабочих органов строительно-дорожных машин с упрочненным слоем

Абразивный износ образцов определялся на установке для испытания материалов на износ посредством определения удельной работы абразивного износа по методике [70].

Принципиальная схема и внешний вид установки для испытаний приведены на рисунке 4.33.

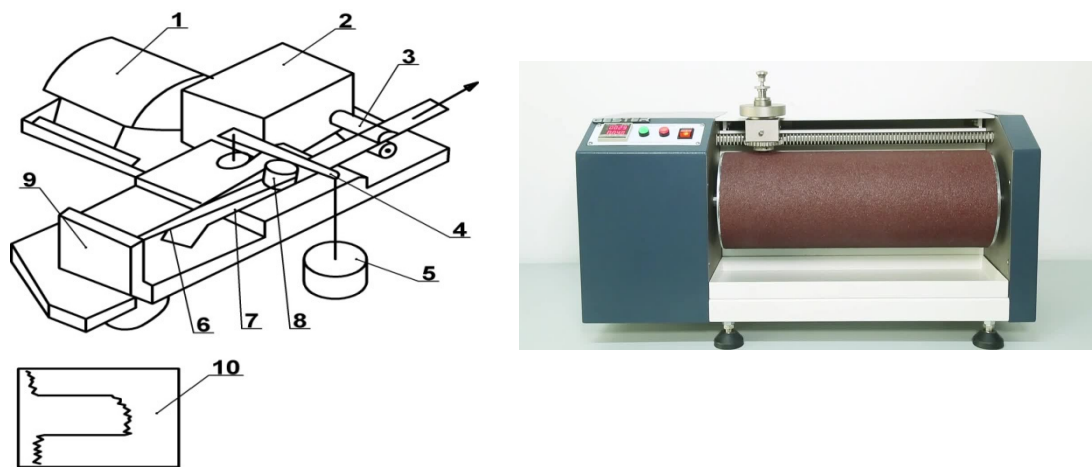


Рисунок 4.33 – Внешний вид и принципиальная схема установки для испытания материалов на абразивный износ: 1 - электродвигатель; 2 - редуктор; 3 - валки; 4 - коромысло; 5 - груз; 6 - нить; 7 - лента абразивная; 8 - образец; 9 – тензорезисторный силоизмерительный элемент; 10- потенциометр

Данная величина может быть определена через соотношение между общей работой трения к величине изменения массы образца [129]:

$$a = \frac{F_{\Pi} \times L_{\text{ТР}}}{\Delta m} = \frac{A_{\text{ТР}}}{\Delta m} \quad (4.14)$$

Здесь a - удельная работа абразивного износа, ($\text{Н}\cdot\text{мм}/\text{г}$); F_{Π} – сила, Н; $L_{\text{ТР}}$, мм - смещение пера самопишущего прибора от величины прилагаемой силы F .

Общая работа трения $A_{\text{ТР}}$ в формуле (4.15) может определяться как произведение средней силы трения на длину пути или по площади диаграммы трения. Первый метод требует установления зависимости смещения пера

самопишущего прибора L от величины прилагаемой силы F . Использовать его можно при незначительно меняющейся силе. При обычно наблюдаемых существенных колебаниях силы трения удобнее использовать второй метод, согласно которому величина работы трения рассчитывается по формуле [129]:

$$A_{TP} = \delta \times P_i, \quad (4.15)$$

где P_i - площадь диаграммной ленты, которую лучше определять взвешиванием из-за ее неправильной формы, мг; δ - коэффициент пропорциональности, Дж/мг.

Коэффициент пропорциональности может быть найден по величине работы A_0 , производимой известной силой F_0 на известном пути L_0 . Величина δ меняется при изменении условий трения, а в случае их постоянства достаточно стабильна [129]:

$$\frac{\Delta\delta}{\delta} \times 100\% = 3\% \quad (4.16)$$

После определялась величина интенсивности износа по массе:

$$I_G = \Delta m_{cp} / A_a L, \quad (4.17)$$

где A_a – номинальная площадь контакта; L – путь трения.

Величина интенсивности массового износа переводилась в величину интенсивности линейного износа I_h через соотношение:

$$I_h = I_G / \rho, \quad (4.18)$$

где ρ – плотность материала.

Таблица 4.22 – Результаты экспериментальной оценки гамма-процентного ресурса образцов по результатам испытаний в контакте с абразивной лентой

Образец	L, мм	Δm_{cp} , г	t_γ , ч, при $u_p=95\%$
СЧ20	100	0,0086	114
СЧ20 упрочнение FeO	100	0,0039	253
СЧ20 упрочнение Cr ₂ O ₃	100	0.00023	429

Окончание таблицы 4.22

СЧ20 упрочнение MoO ₂	100	0.00027	365
Хромистый чугун (15% Cr)	100	0.00019	511

Результаты исследований показывают, что применение упрочнения позволяет повысить гамма-процентный ресурс более чем в 2 раза (по сравнению с исходным материалом). Кроме того, величина гамма-процентного ресурса для упрочненного слоя соизмерима с износостойким чугуном.

4.5 Выводы по главе 4

1. По результатам комплексного технико-экономического анализа было установлено, что в условиях ремонтного производства целесообразно использовать нагрев под закалку в электрической печи. На основе решения уравнения теплопроводности в критериальной форме были определены режимы нагрева деталей с упрочненным слоем под закалку.

2. Установлено, что имеется возможность при ремонте увеличить твердость слоя ремонтируемой детали в 2-5 раз по сравнению с новой деталью.

3. Использование разработанного метода упрочнения дает возможность увеличения прочности материала в 1.3-2.5 раза по сравнению с аналогичными характеристиками неупрочненного серого чугуна.

4. Максимальная толщина слоя составляет от 1 до 3 мм, что существенно превосходит другие широко применяемые способы упрочнения серого чугуна. Микротвердость слоя по его глубине возрастает, поэтому имеется возможность несколько раз производить удаление припуска под ремонтный размер без необходимости повторного упрочнения.

5. Применение упрочнения позволяет повысить гамма-процентный ресурс более чем в 2 раза (по сравнению с исходным материалом). Кроме того, величина гамма-процентного ресурса для упрочненного слоя соизмерима с износостойким чугуном.

5 ПРИКЛАДНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ РАБОЧИХ ОРГАНОВ СТРОИТЕЛЬНО-ДОРОЖНЫХ МАШИН С УПРОЧНЕННЫМ СЛОЕМ

5.1 Методика расчетного определения долговечности рабочих органов строительно-дорожных машин с упрочненным слоем

Целью теоретических исследований данного этапа является оценка возможности использования расчетных методов для определения долговечности быстроизнашивающихся частей строительно-дорожных машин с упрочненным слоем, где твердость по толщине слоя увеличивается. Для реализации данной цели в рамках прикладных теоретических исследований было выполнено следующее:

- обоснована рабочая гипотеза исследования, которая положена в основу методики определения долговечности;
- определены значения усилий и расчетных величин долговечности деталей, входящих в состав рабочих органов строительно-дорожных машин;
- определены значения усилий и расчетных величин долговечности деталей, входящих в состав силовых приводов машин.

5.1.1 Рабочая гипотеза при определении долговечности быстроизнашивающихся частей строительно-дорожных машин

Как было отмечено в общих теоретических исследованиях и подтверждено экспериментально, разработанный метод упрочнения позволяет получать на поверхности чугуна слой толщиной до 3 мм, при этом твердость по толщине слоя увеличивается.

Сущность рабочей гипотезы состоит в том, что *наличие упрочненного слоя на поверхности чугуна дает возможность повысить долговечность быстроизнашивающихся частей строительно-дорожных машин.*

Для проверки данной гипотезы необходимо провести расчеты на износ. Выбор методики расчетов определяется условиями работы узла. Например, для рабочих органов строительно-дорожных машин характерно взаимодействие с абразивной средой. Также важным аспектом является то, что твердость по толщине слоя переменная, что также необходимо учитывать при определении интенсивности изнашивания и долговечности.

5.1.2 Расчетное определение долговечности рабочих органов строительно-дорожных машин, содержащих элементы с упрочненным слоем

Расчеты проводились в программной среде MathCAD. На рисунках 5.1-5.3 приведены результаты расчетов для определения интенсивности изнашивания от толщины упрочненного слоя для ковша экскаватора 2 размерной группы, которые определялись по формулам (3.65)-(3.67).

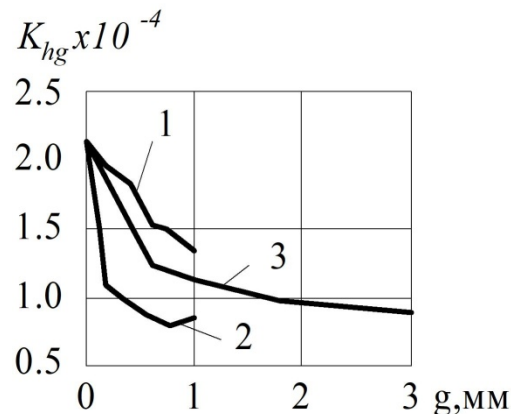


Рисунок 5.1 – Зависимость параметров для определения интенсивности изнашивания от толщины упрочненного слоя для оксида FeO

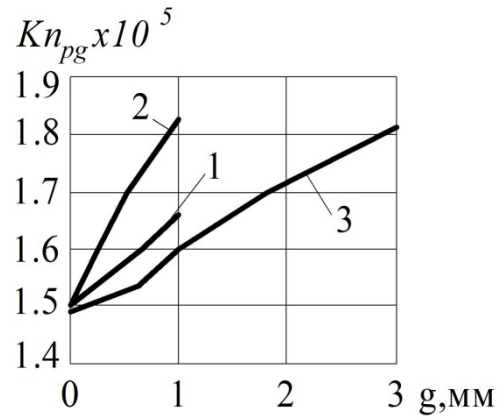


Рисунок 5.2 – Зависимость параметров для определения интенсивности изнашивания от толщины упрочненного слоя для оксида Cr_2O_3

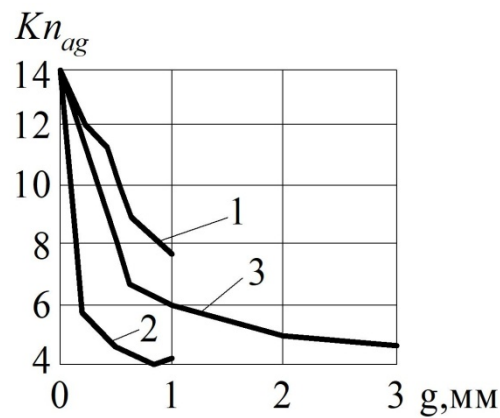


Рисунок 5.3 – Зависимость параметров для определения интенсивности изнашивания от толщины упрочненного слоя для оксида MoO_2

Пример расчетной схемы интенсивности изнашивания для зубьев ковша экскаватора, которые содержат износостойкие элементы с упрочненным слоем, приведена на рисунке 5.4.

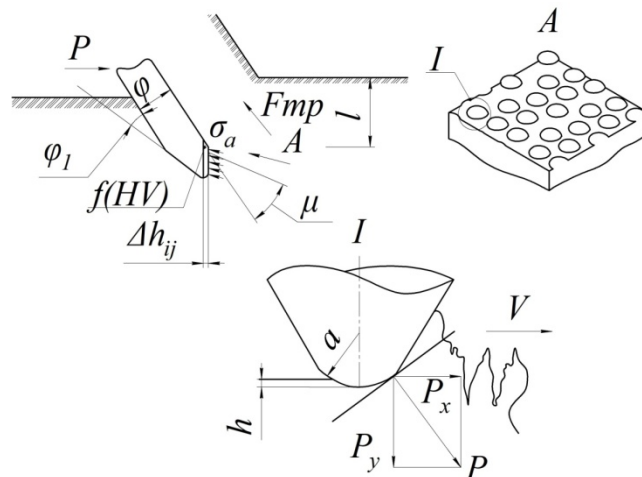


Рисунок 5.4 – Расчетная схема взаимодействия зуба, содержащего износостойкую накладку, с рабочей средой

Используя указанные выше зависимости, были рассчитаны интенсивности изнашивания по формуле 3.64. На рисунках 5.5-5.13 приведены зависимости интенсивностей изнашивания по толщине слоя для различных плотностей и твердостей грунта, а также для разных легирующих элементов.

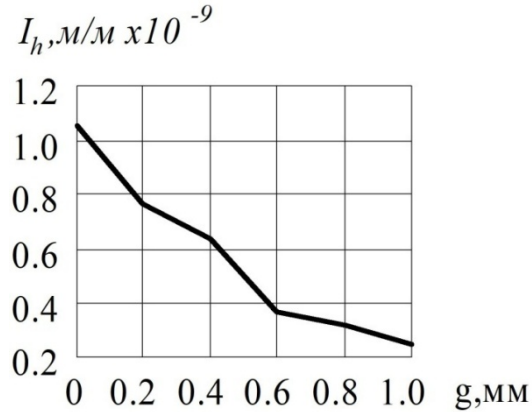


Рисунок 5.5 – Зависимость интенсивности изнашивания по толщине слоя (легирование FeO, грунт II категории)

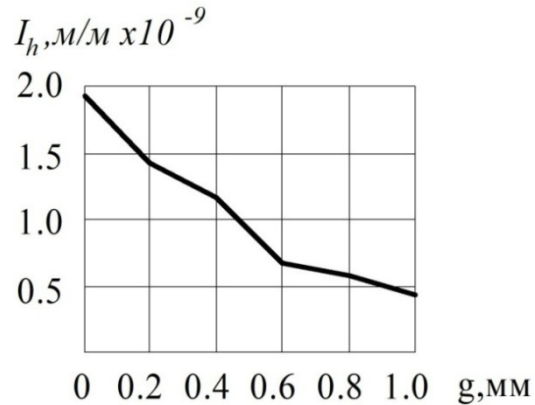


Рисунок 5.6 – Зависимость интенсивности изнашивания по толщине слоя (легирование FeO, грунт III категории)

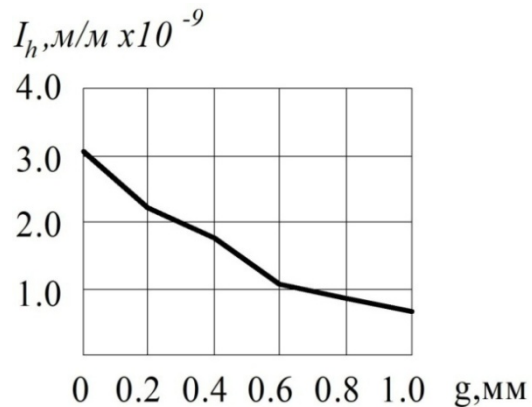


Рисунок 5.7 – Зависимость интенсивности изнашивания по толщине слоя (легирование FeO, грунт IV категории)

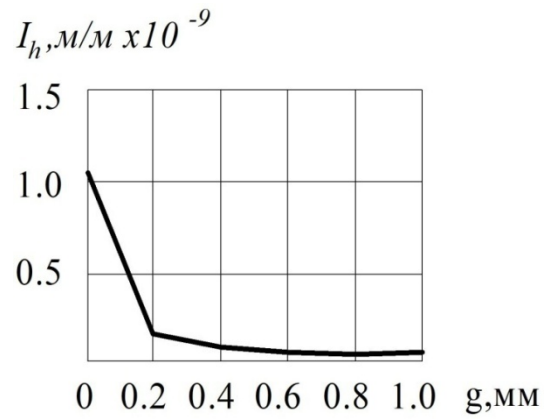


Рисунок 5.8 – Зависимость интенсивности изнашивания по толщине слоя (легирование Cr_2O_3 , грунт II категории)

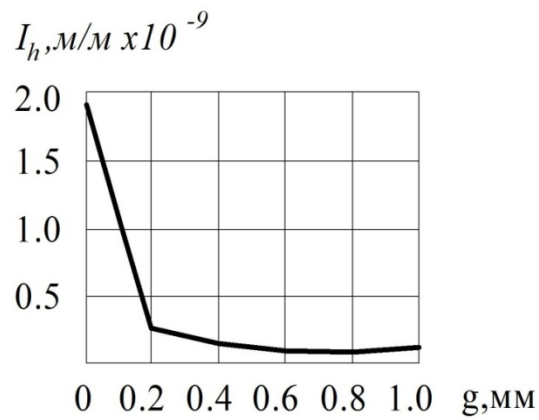


Рисунок 5.9 – Зависимость интенсивности изнашивания по толщине слоя (легирование Cr_2O_3 , грунт III категории)

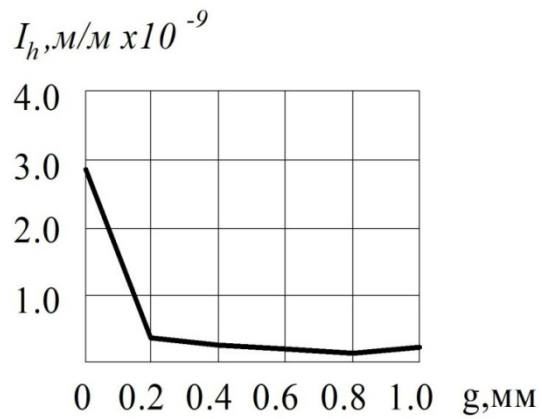


Рисунок 5.10 – Зависимость интенсивности изнашивания по толщине слоя (легирование Cr_2O_3 , грунт IV категории)

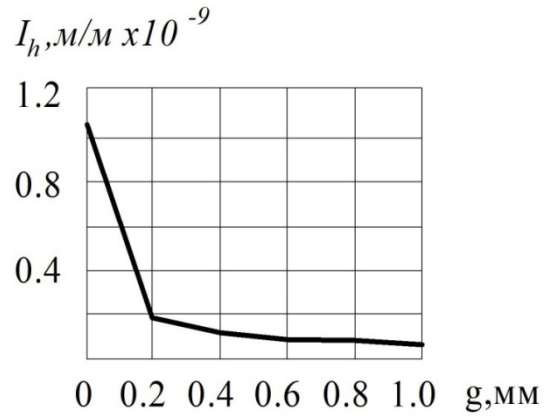


Рисунок 5.11 – Зависимость интенсивности изнашивания по толщине слоя (легирование MoO_2 , грунт II категории)

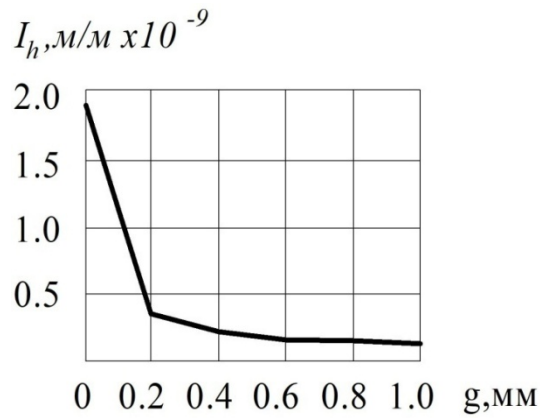


Рисунок 5.12 – Зависимость интенсивности изнашивания по толщине слоя (легирование MoO_2 , грунт средней III категории)

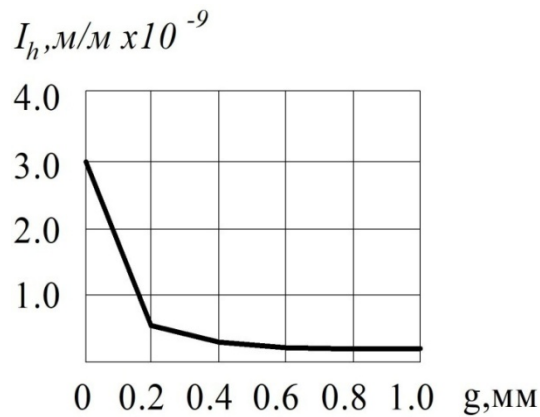


Рисунок 5.13 – Зависимость интенсивности изнашивания по толщине слоя (легирование MoO_2 , грунт IV категории)

Для того чтобы сопоставить полученные результаты, построим зависимости интенсивностей изнашивания для разных видов упрочнения, а также для белохромистого чугуна (БХЧ) и износостойкого чугуна ИХЧ 28.

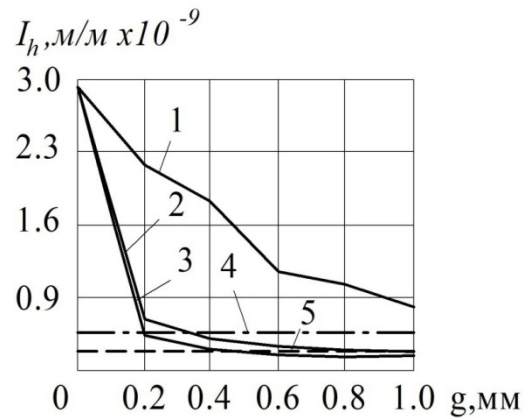


Рисунок 5.14 – Зависимость интенсивности изнашивания по толщине слоя для зубьев ковшевого экскаватора, содержащих износостойкие элементы (грунт IV категории): 1 - легирование FeO; 2 - легирование Cr₂O₃; 3 - легирование MoO₂; 4 – чугун ИЧХ-28; 5 – белохромистый чугун

Аналогичным образом были произведены расчеты для отвала бульдозера среднего класса тяги.

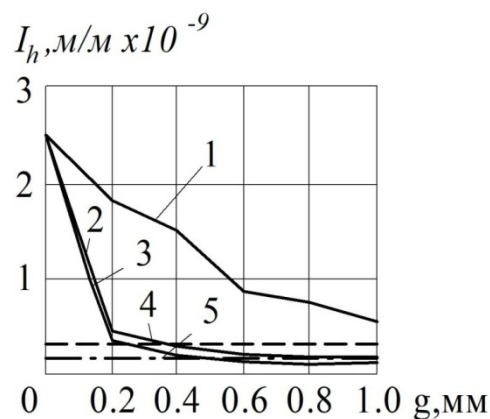


Рисунок 5.15 – Зависимость интенсивности изнашивания по толщине слоя для ножей бульдозера, содержащих износостойкие элементы (грунт IV категории): 1 - легирование FeO; 2 - легирование Cr₂O₃; 3 - легирование MoO₂; 4 – чугун ИЧХ-28; 5 – белохромистый чугун

Полученные результаты показывают, что применение FeO нецелесообразно в силу низкой износостойкости. Использование легирования Cr₂O₃ и MoO₂ дает возможность получать сопротивление износу, сопоставимое с износостойкими чугунами.

Значения гамма-процентного ресурса определялись по формуле (3.69) и приведены в таблицах 5.1 и 5.2. За величину предельного износа принима-

лось значение толщины упрочненного слоя. Вероятность безотказной работы принималась равной 95%.

Таблица 5.1 – Значения гамма-процентного ресурса для зубьев ковшей экскаватора, содержащих износостойкие накладки

Материал	Вид упрочнения	$t_{\text{теор, ч}}$ $u_p=95\%$
СЧ-20	Легирование Cr_2O_3	667
ИЧХ-28	Закалка	715
БХЧ	Закалка	789
СЧ-20	Легирование MoO_2	752

Таблица 5.2 – Значения гамма-процентного ресурса для ножей бульдозера, содержащих износостойкие накладки

Материал	Вид упрочнения	$t_{\text{теор, ч}}$ $u_p=95\%$
СЧ-20	Легирование Cr_2O_3	834
ИЧХ-28	Закалка	925
БХЧ	Закалка	962
СЧ-20	Легирование MoO_2	955

Также был произведен расчет гамма-процентного ресурса для упрочненного слоя, при котором все параметры, входящие в выражения, принимались усредненными. В частности, для легирования Cr_2O_3 погрешность составляла:

$$\Delta_{t\gamma} = \frac{667 - 489}{667} \times 100\% = 26\%$$

5.2 Выводы по главе 5

1. Использование моделей прогнозирования надежности рабочих органов строительного-дорожных машин с упрочненным слоем, которые содержат коэффициенты числа частиц грунта, взаимодействующих с поверхностью

режущего элемента, глубины внедрения абразивных частиц грунта в поверхность режущего элемента и числа рабочих циклов процесса копания, позволяет до 1.5 раз точнее определять значения гамма-процентного ресурса для износостойких элементов рабочих органов с поверхностным упрочнением.

2. Результаты исследований показывают, что применение упрочнения позволяет повысить гамма-процентный ресурс более чем в 2 раза (по сравнению с исходным материалом). Величина гамма-процентного ресурса для упрочненного слоя соизмерима с износостойким чугуном.

6 ПРИКЛАДНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОВЫШЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ШАРНИРОВ РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ

6.1 Расчетное определение долговечности шарниров рабочего оборудования

Для оценки эффективности предлагаемых решений произведем оценку долговечности втулок проушины ковша из чугуна с упрочнением.

Величину интенсивности изнашивания можно определить следующим образом [45-47,61]:

$$I_h = 0.24 \cdot 0.5^{t_y - \frac{5}{4}} \cdot 15^{\frac{2t_y}{5}} \cdot \alpha \cdot K_{tv} \cdot p \cdot E^{\frac{t_y}{5} - 1} \cdot \tau_0^{\frac{5t_y}{12}} \cdot \alpha_G^{-\frac{t_y}{2}} \cdot \left(\frac{k \cdot fm}{\sigma_0} \right)^{t_y}, \quad (6.1)$$

где σ_0 – напряжение, которое вызывает разрушение материала при однократном нагружении, МПа; t_y – параметр кривой фрикционной усталости; E – модуль Юнга, МПа; K_{tv} – поправочный коэффициент, который характеризует число циклов до отделения изношенных частиц с поверхности материала; α – коэффициент, характеризующий соотношение площадей номинального и фактического контакта (коэффициент перекрытия); α_G – коэффициент гистерезисных потерь; $fm = \frac{\tau_0}{HB} + \beta$ – молекулярная составляющая коэффициента трения; τ_0, β – параметры, которые характеризуют условия работы пары трения; HB – твердость по Бринелю; k – поправочный коэффициент, учитывающий качество поверхностей трения; p – контактное давление в соприкосновении, МПа.

Контактное давление определяется по следующей расчетной зависимости [45-47,61]:

$$p = \frac{1}{\pi} \sqrt[3]{\frac{6 \cdot k_d \cdot F_n \cdot E_1^2 \cdot E_2^2}{R_{pr}^2 \cdot [E_2 \cdot (1 - \mu_1^2) + E_1 \cdot (1 - \mu_2^2)]^2}}, \quad (6.2)$$

где k_d – коэффициент, учитывающий динамический характер нагружения; F_n – усилие в зоне контакта; E_1, E_2 – модули Юнга материалов деталей, МПа; μ_1, μ_2 – коэффициенты поперечной деформации (коэффициенты Пуассона). $R_{pr} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 \pm R_2}$ – приведенный радиус кривизны, мм.

Для сравнения был произведен расчет для двух вариантов:

1. Контакт стального пальца и втулки проушины ковша из высокопрочного закаленного чугуна. Твердость принималась НВ=500. Ширина контакта $b_n=10$ мм. Толщина изнашиваемого слоя принималась $h=1$ мм. Диаметры принимались равными $D_1=D_2=100$ мм. Величина ресурса работы при указанных выше условиях для рассматриваемой пары составила $t_1=21992$ ч. Расчеты выполнялись при величине силы, соответствующей разработке грунта ковшом экскаватора объемом 0.3 м^3 .

2. Контакт пальца из стали с втулкой проушины ковша из серого чугуна с упрочненным слоем. Ввиду того, что твердость слоя меняется по мере продвижения вглубь сплава, расчеты проводились послойно. Результаты расчетов приведены на рисунке 6.1.

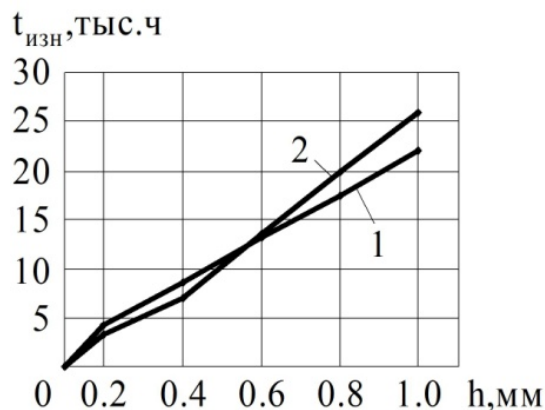


Рисунок 6.1 – Зависимости $t_{изн}=f(h)$: 1 – взаимодействие стального пальца и втулки проушины ковша из высокопрочного закаленного чугуна; 2 – взаимодействие стального пальца и втулки проушины ковша с упрочненным слоем

Для оценки адекватности результатов сравним полученные данные со значениями удельной работы абразивного износа, полученными в экспериментальных исследованиях.

Отклонения результатов:

$$\Delta t_{расч} = \frac{4399 - 3600}{4399} \times 100\% = 18.2\%$$

$$\Delta a_{эсп} = \frac{6.83 - 5.57}{6.83} \times 100\% = 18.4\%$$

Введение функции изменения коэффициента трения позволяет вычислять значения износа узлов, имеющих обратное распределение твердости и не контактирующих с рабочей средой, с погрешностью, не превышающей 15%.

В целом расчеты показали, что имеется возможность сокращения периода приработки более чем в 1.5 раза и общего повышения долговечности шарниров рабочего оборудования строительного-дорожных машин до 30%.

6.2 Исследования по разработке решений в области контроля износа режущего инструмента при обработке деталей с упрочненным слоем

6.2.1 Методика исследований

В ходе данного этапа экспериментальных исследований были рассмотрены следующие вопросы:

- исследование зависимости параметров вибросигнала от износа;
- выбор параметров для оценки износа инструмента.

6.2.2 Используемое оборудование и программное обеспечение

Экспериментальные исследования проводились на токарных станках с числовым программным управлением 16К20Ф3 и 1И611ПФ2. В качестве обрабатываемого материала использовались материалы как в закаленном, так и в незакаленном состоянии с твердостью от 30 до 45 HRC.

Режимы резания в ходе экспериментов варьировались в пределах: скорость резания $V = 100 \dots 315 \text{ м/мин}$, подача $S = 0.07 \dots 0.2 \text{ мм/об}$, глубина резания $t = 0.25 \dots 1.5 \text{ мм}$. Выбор диапазона изменения факторов производился на основе предварительного анализа научно-технической литературы [10,35].

В качестве режущего инструмента использовались стандартные резцы с механическим креплением режущих пластин из твердых сплавов. Структурная схема станда для измерения и анализа виброакустических колебаний представлена на рисунок 6.2.

Исследовательский стенд представляет собой модернизированный токарно-винторезный станок с ЧПУ: была произведена замена стандартного устройства числового программного управления 2P22 на управление от компьютера (ЭВМ 1 на рисунке 6.2 – Intel Pentium 200), с использованием карты сопряжения, разработанной Н.А. Проскуряковым (г. Тюмень, ТИУ). Применение двухкомпьютерной архитектуры дает возможность производить процессы записи и обработки данных и управление технологическим оборудованием параллельно.

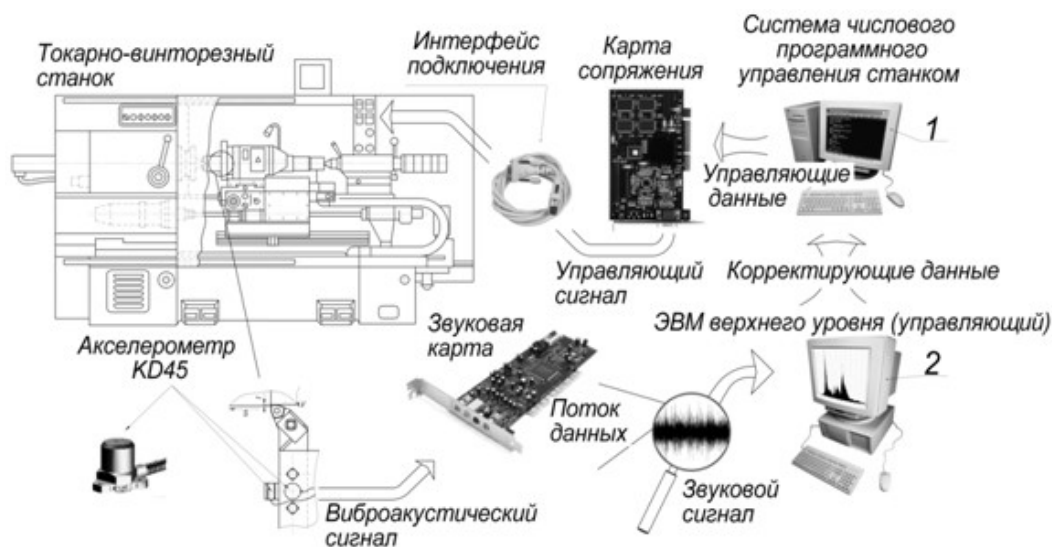


Рисунок 6.2 – Схема экспериментального стенда для исследования вибросигнала

Измерение вибраций производилось при помощи акселерометра KD45 (фирма-производитель Bruel & Kjaer), обеспечивающего измерение по трем

ортогональным направлениям. Данный метод регистрации виброакустического сигнала был выбран, потому что пьезоэлектрические методы регистрации вибраций являются наиболее простыми и позволяют регистрировать вибрации в достаточно широком частотном диапазоне. Внешний вид датчика-акселерометра приведен на рисунке 6.3.

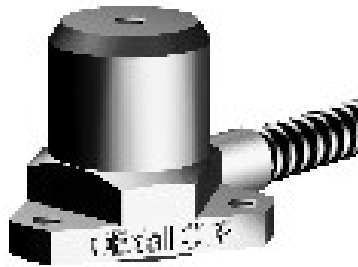


Рисунок 6.3 – Акселерометр KD45

Для записи данных, поступающих с датчика, был установлен второй компьютер (ЭВМ 2) с профессиональной звуковой картой Creative Sound Blaster Audigy 4.



Рисунок 6.4 – Стенд на базе станка 1И611ПФ2

Для обеспечения максимальной точности процесса записи вибросигнала датчик вибраций устанавливался в непосредственной близости от зоны обработки (см. рисунок 6.5).

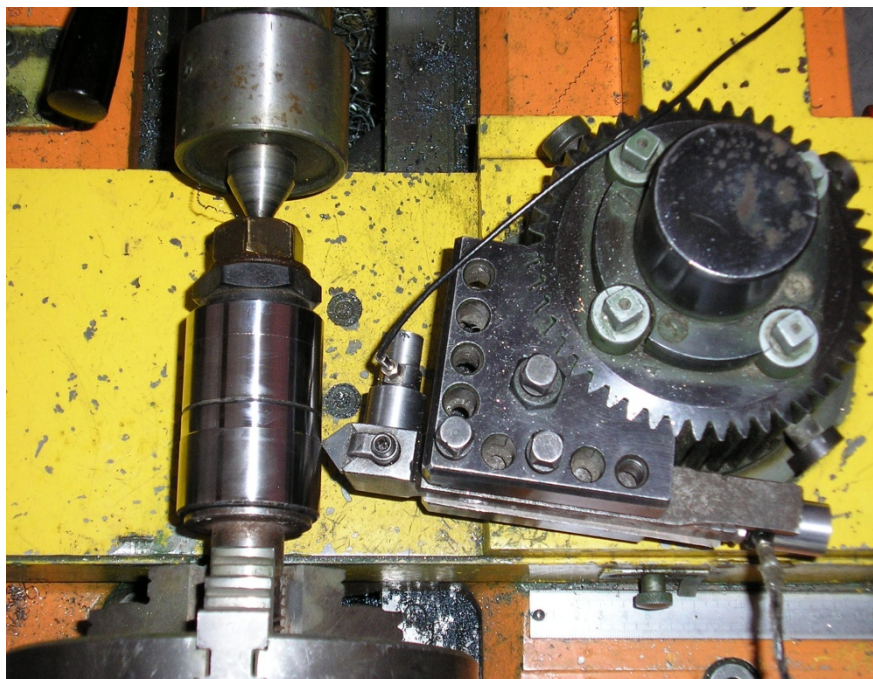


Рисунок 6.5 – Схема установки датчиков вибрации

На основе предварительных исследований [68] было установлено, что сигнал в диапазоне от 6 до 12 кГц обладает наибольшей информативностью.

6.2.3 Исследование зависимости параметров вибросигнала от износа инструмента

Необходимость разработки эффективных технических решений в области контроля износа режущего инструмента в процессе обработки обусловлена тем, что данный фактор оказывает значительное влияние на выходные параметры процесса механической обработки, и в частности, на шероховатость обработанной поверхности. Главной проблемой здесь является то, что реальный разброс технологических факторов, которые влияют на стойкость инструмента в производственных условиях, не позволяет надежно прогнозировать износ, применяя теоретические или полуэмпирические зависи-

мости. Диагностика износа с помощью виброакустики в этом смысле является весьма перспективным направлением, особенно в рамках методологической концепции, используемой в данной работе, т.к. имеется возможность разработки решений под конкретные условия обработки (оборудование, оснастку и деталь).

В ходе эксперимента необходимо выяснить зависимость параметров вибросигнала и шероховатости от износа режущего инструмента. Данный эксперимент был спланирован и проведен как стойкостной. В ходе исследования контролировались параметры вибросигнала, шероховатости и износа инструмента. Размеры фаски износа измерялись на инструментальном микроскопе МИМ-6. Обрабатывались незакаленные образцы. Условия проведения экспериментов следующие: скорость резания $V = 215 \text{ м/мин}$, подача $S = 0.07 \text{ мм/об}$, глубина резания $t = 0.25 \text{ мм}$, инструментальный материал – ВОК60. Анализировался сигнал в частотном диапазоне от 6 до 12 кГц.

В ходе исследований было установлено, что сигнал, генерируемый изношенным инструментом, значительно отличается от сигнала, который создает неизношенная режущая кромка.

Спектры виброакустических сигналов в зависимости от ширины площадки износа ($h_3, \text{ мм}$) представлены на рисунках 6.6-6.11:

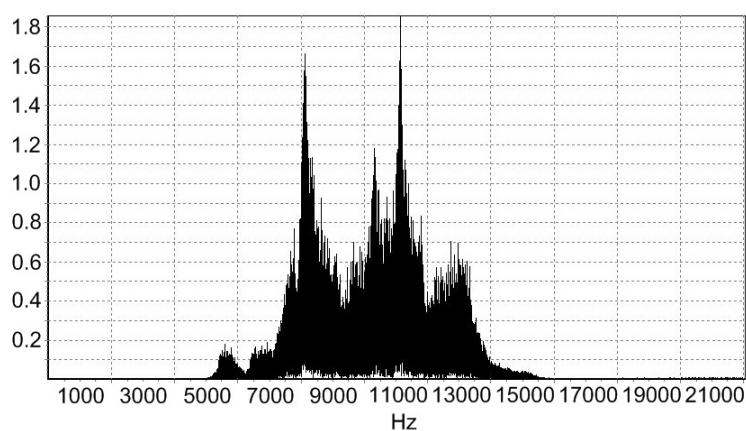
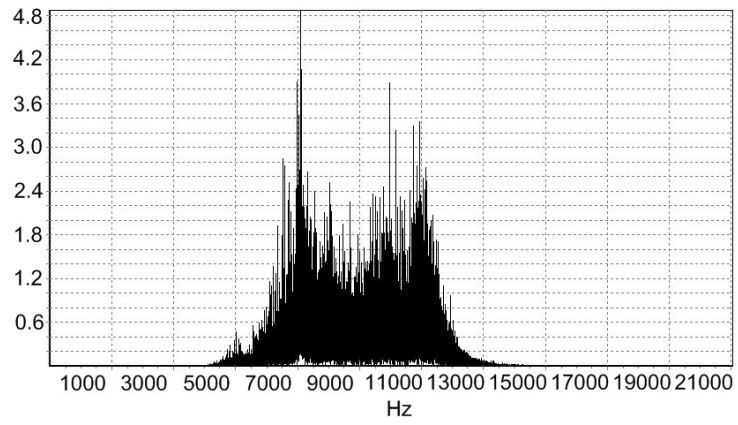
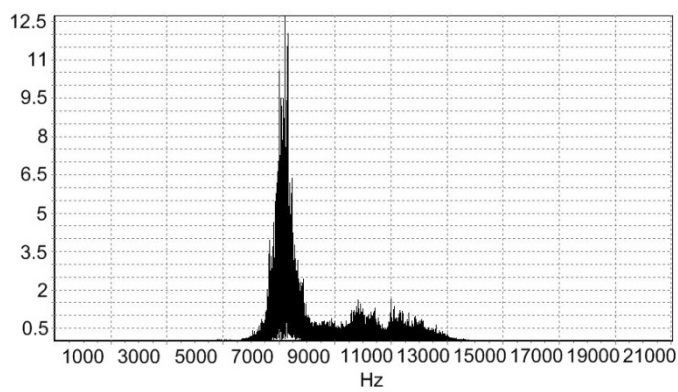
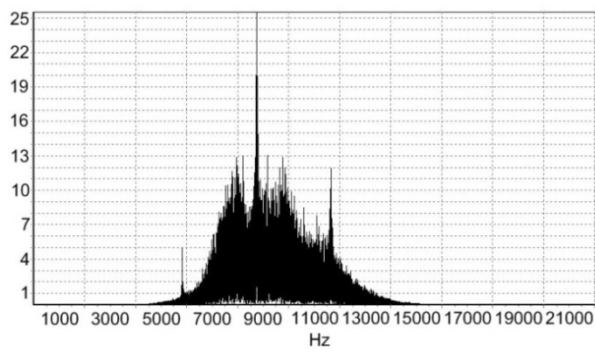
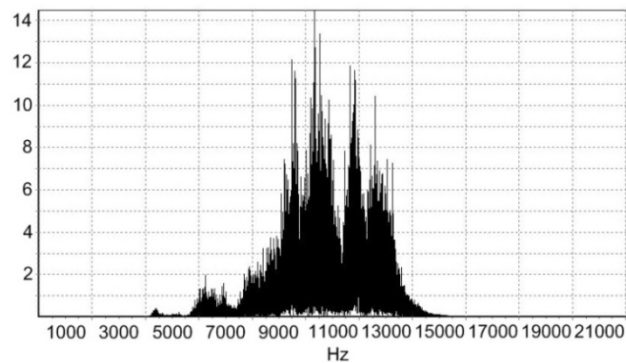


Рисунок 6.6 – Спектр вибраций $h_3 = 0.38 \text{ мм}$

Рисунок 6.7 – Спектр вибраций $h_3=0.55$ ммРисунок 6.8 – Спектр вибраций $h_3=0.77$ ммРисунок 6.9 – Спектр вибраций $h_3=1.05$ ммРисунок 6.10 – Спектр вибраций $h_3=1.77$ мм

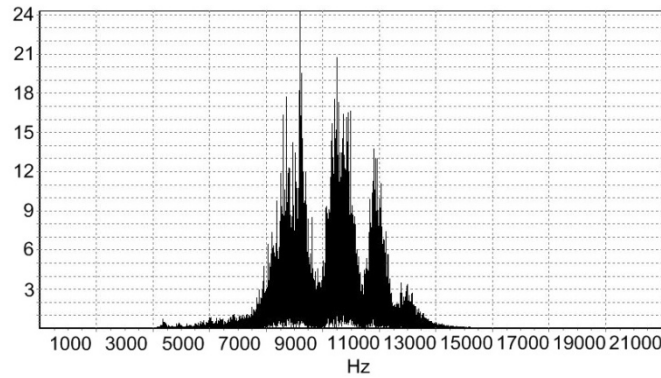


Рисунок 6.11 – Спектр вибраций $h_3=2.40$ мм

График зависимости мощности вибросигнала S_w от ширины фаски износа h_3 приведен на рисунке 6.12.

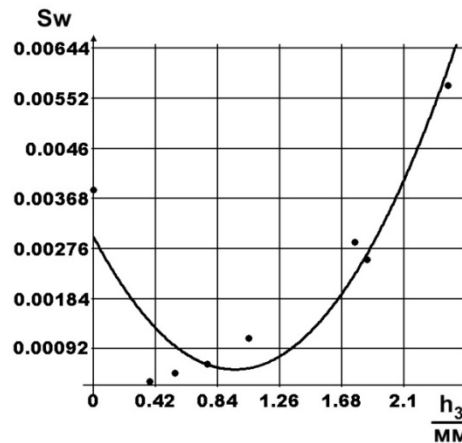


Рисунок 6.12 – График зависимости мощности вибросигнала S_w от ширины фаски износа h_3

В результате экспериментов было установлено, что при значениях ширины фаски износа до 0.38 мм мощность виброакустического сигнала снижалась, это связано с приработкой инструмента, установлением оптимальной шероховатости пары «инструмент-обрабатываемая деталь». При значениях ширины фаски износа от 0.38 до 1.83 мм значения мощности виброакустического сигнала возрастало незначительно, что соответствует зоне нормального износа, а при значениях ширины фаски износа, превышающих 1.83 мм, изменения мощности виброакустического сигнала были значительными, т.е. наблюдался катастрофический износ.

Аналогичный характер зависимостей наблюдался для среднеарифметического отклонения профиля Ra и среднеквадратического отклонения σ . Кроме того, в ходе экспериментальных исследований было установлено, что износ инструмента не оказывает значимого влияния на значения показателя Херста H и среднего шага неровностей Sm , т.к. колебания этих величин незначительны.

6.2.4 Экспериментальные исследования по выбору параметров для оценки износа инструмента

Проведенные в пункте 6.2.3 исследования показывают, что виброакустический сигнал возможно использовать в качестве диагностического признака при оценке состояния элементов технологической системы (например, износа инструмента). Однако подход, используемый в разделе 3.3, не позволяет учитывать динамические свойства технологической системы.

Поэтому целью данного этапа исследований была проверка возможности использования аппарата нелинейной динамики и выбор параметров, которые позволяют с большей информативностью оценивать параметры шероховатости (модели шероховатости) и износа режущего инструмента.

Размерность аттрактора является специфическим количественным критерием, позволяющим различать структуру хаотических колебаний, таким образом, данную величину возможно использовать в диагностических целях, т.к. предполагается производить управление технологической системой, используя вибросигнал, являющийся колебательным процессом [149-152]. *Энтропия* является фундаментальной характеристикой степени хаотичности анализируемого сигнала и используется в нелинейной динамике для оценки степени соответствия выходного сигнала входному. Установлено, что энтропия количественно связана со спектром показателей Ляпунова [149-152]. Спектр *показателей Ляпунова* используется в нелинейной динамике для характеристики хаотических процессов, определения степени их неустойчи-

ности. По значениям энтропии и показателей Ляпунова можно судить о степени устойчивости процессов, происходящих в ходе функционирования технологической системы. Показатель Херста используется для классификации и оценки стохастичности и/или детерминированности реальных процессов, а также для оценки временных интервалов предсказуемости процесса. Показатель Херста содержит минимальные предположения об изучаемой системе.

На рисунках 6.13-6.17 приведены зависимости данных показателей от величины износа инструмента.

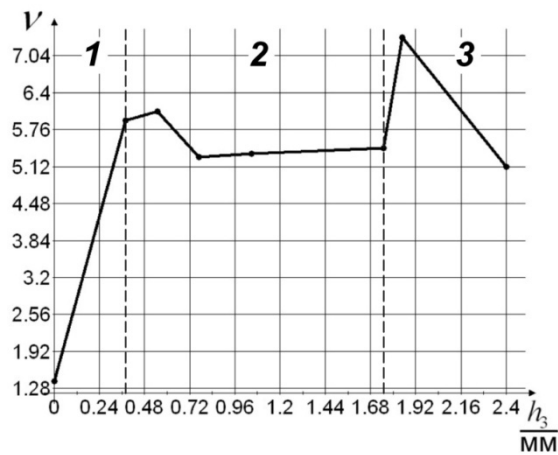


Рисунок 6.13 – График зависимости корреляционной размерности от ширины фаски износа

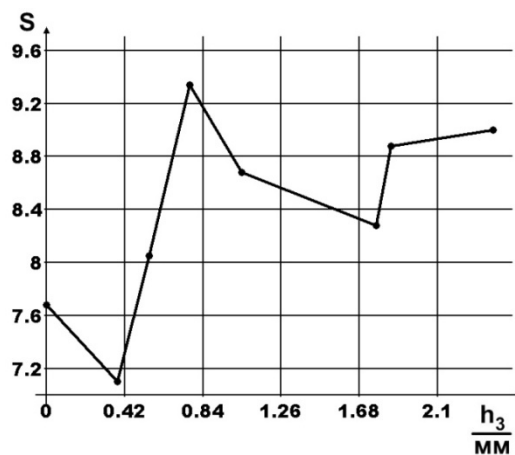


Рисунок 6.14 – Зависимость энтропии Шеннона от ширины фаски износа

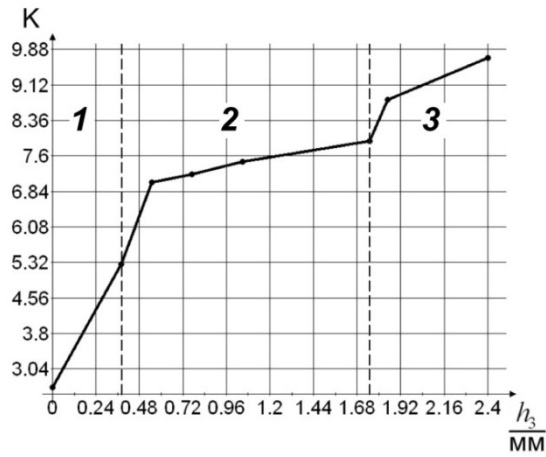


Рисунок 6.15 – Зависимость корреляционной энтропии от ширины фаски износа

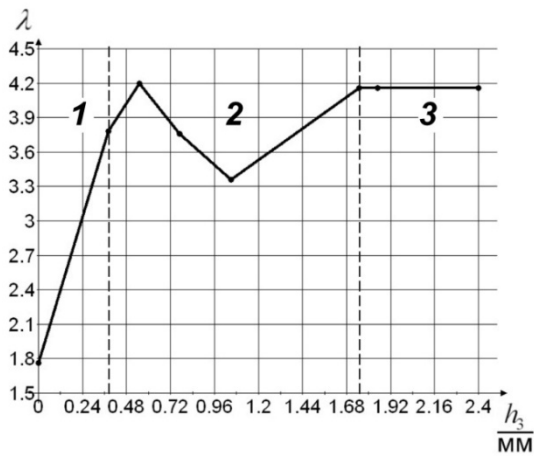


Рисунок 6.16 – Зависимость старшего показателя Ляпунова от ширины фаски износа

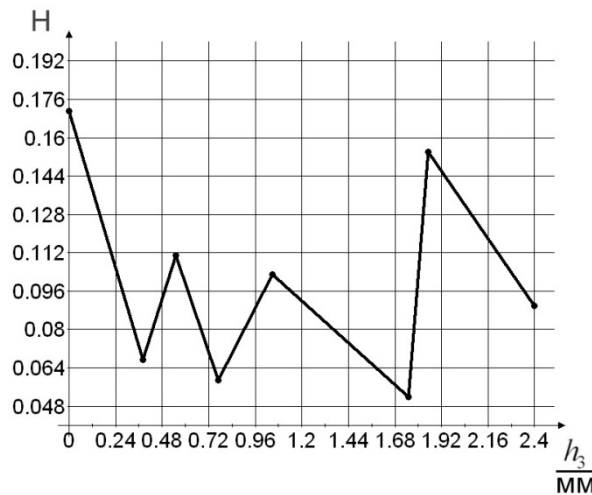


Рисунок 6.17 – Зависимость показателя Херста от ширины фаски износа

В таблице 6.1 приведены расчеты взаимной корреляции между рассматриваемыми параметрами и величиной h_3 .

Таблица 6.1 – Результаты вычисления взаимной корреляции

Параметры	Коэффициент корреляции
$H-h_3$	0.32
$K-h_3$	0.82
$\lambda-h_3$	0.74
$\nu-h_3$	0.63
$S-h_3$	0.44

В результате проведенных исследований было установлено, что наибольшей информативностью при оценке износа режущего инструмента для токарной обработки обладает корреляционная энтропия. Также визуально видно, что график по своему виду соответствует классической кривой износа.

6.2.5 Разработка устройства для контроля износа инструмента

Для оценки износа инструмента была разработана нейро-нечеткая модель. Структура модели представлена на рисунке 6.18.

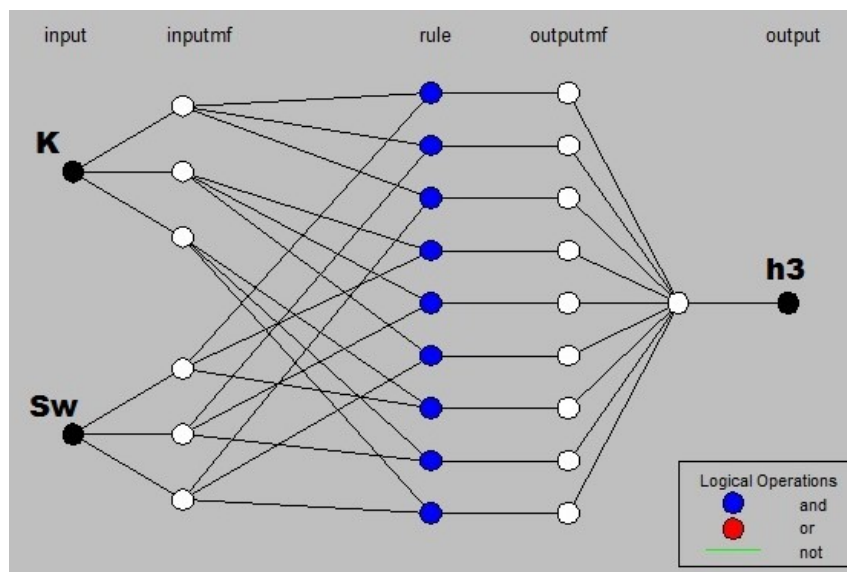


Рисунок 6.18 – Структура модели

Для обучения системы была сформирована выборка. Тестирование производилось на данных, которые не входили в обучающую выборку. Результаты тестирования приведены на рисунке 6.19.

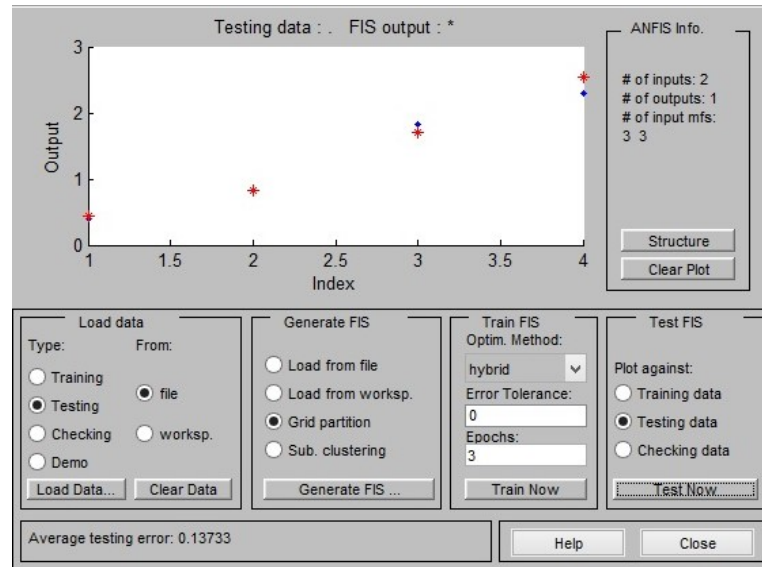


Рисунок 6.19 – Результаты тестирования

Установлено, что ошибка в оценке параметров износа не превышает 5%. Использование аппарата нечеткой логики дает возможность более эффективно оценивать ресурс работы инструмента в условиях неопределенности.

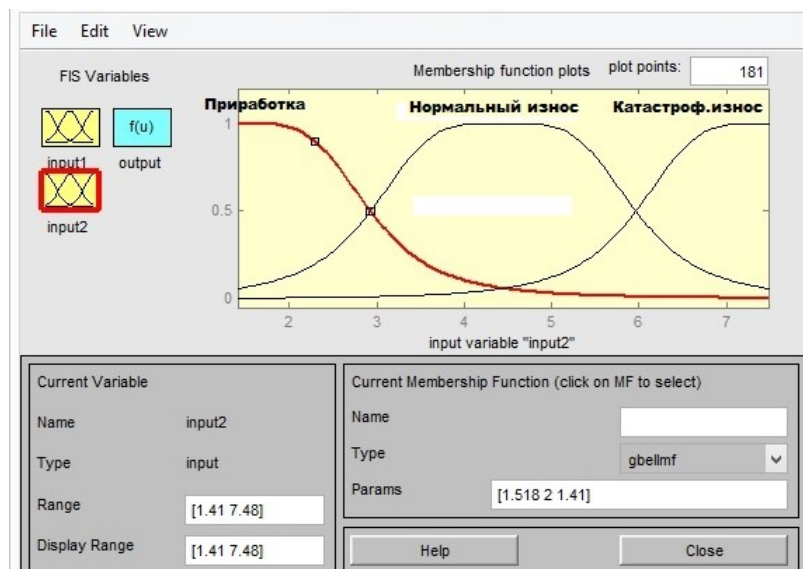


Рисунок 6.20 – Выходная переменная

На рисунке 6.21 представлена поверхность функции нечеткой логики.

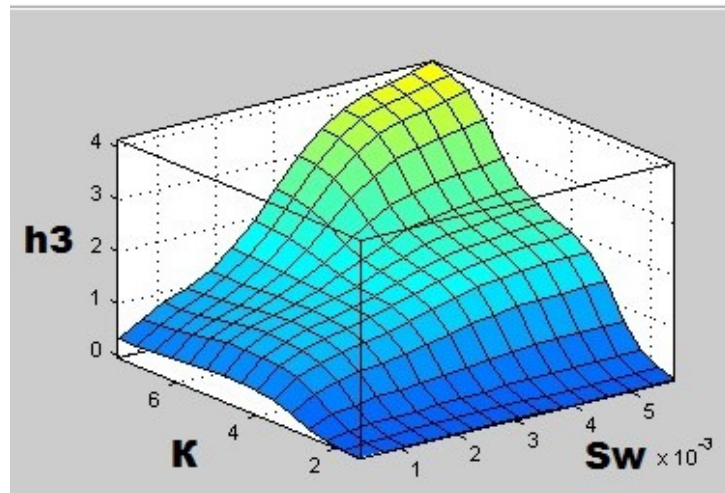


Рисунок 6.21 – Поверхность функции

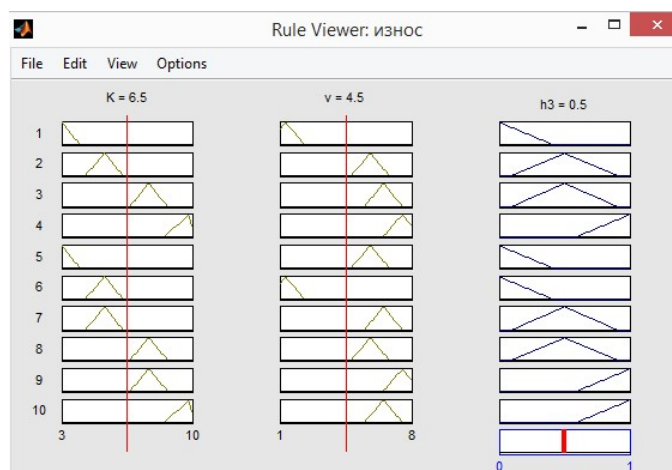


Рисунок 6.22 – Пример вычисления переменных

Пример вычисления погрешности оценки износа при помощи нейро-нечеткой модели:

$$\begin{aligned} \Delta &= \frac{h_{3\text{ТЕОР}} - h_{3\text{ЭКСП}}}{h_{3\text{ТЕОР}}} \cdot 100\% = \\ &= \frac{0.5 - 0.48}{0.5} \cdot 100\% = 4\% \end{aligned}$$

В результате тестирования модели было установлено, что средняя погрешность не превышает 10%. Дополнительным преимуществом применения нечетких моделей является возможность формализовать определение перио-

дов износа (см. рисунок 6.21), что дает возможность более эффективно принимать решения о дальнейшем использовании инструмента.

Алгоритм оценки износа режущего инструмента приведен на рисунке 6.23.

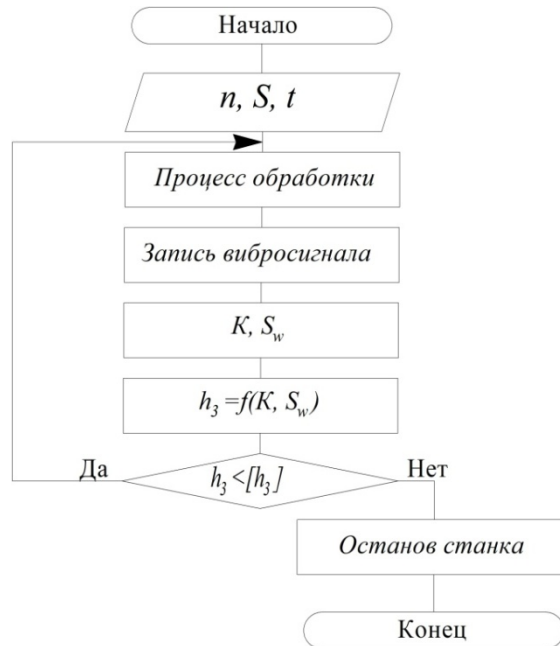


Рисунок 6.23 – Алгоритм контроля износа режущего инструмента

Устройство реализовано в виде модуля и защищено патентом №166356. Использование устройства позволяет снизить брак, связанный с поломкой инструмента, а также повысить качество обработанных поверхностей.

6.3 Методика проектирования операций изготовления и ремонта деталей строительно-дорожных машин

Целью теоретических исследований данного этапа является разработка методики проектирования операций ремонта, определения величины припуска, который подлежит удалению при обработке в ремонтный размер, а также определение долговечности:

- обоснована рабочая гипотеза исследования, которая положена в основу методики проектирования операций ремонта;

- на основе теории вероятностей и математической статистики определены величины наработки до отказа;
- разработана методика проектирования операций ремонта деталей строительно-дорожных машин.

6.3.1 Рабочая гипотеза при проектировании операций ремонта деталей рабочего оборудования строительно-дорожных машин

Как было отмечено выше, использование поверхностного упрочнения дает возможность существенно повысить долговечность деталей и узлов. Однако при обработке в ремонтный размер происходит удаление припуска. Учитывая, что традиционные методы упрочнения серого чугуна дают сравнительно небольшую толщину упрочненного слоя, возникает проблема повторного упрочнения после растачивания. Однако сделать это в условиях ремонтного производства очень сложно ввиду необходимости использования сложного оборудования и дорогостоящих расходных материалов.

Сущность рабочей гипотезы состоит в том, что *наличие упрочненного слоя с обратным распределением твердости дает возможность получать долговечности после ремонта, сопоставимые с показателями новых деталей.*

Для проверки данной гипотезы необходимо провести расчеты величин наработки до отказа, а также определить значения ремонтных размеров и величины припусков.

6.3.2 Расчетное определение наработки до отказа

В нашем случае для восстанавливаемой системы имеем следующее соотношение для определения наработки [58]:

$$L_{j+1}^I = L_i^I + L_{i,j+1}^I, \quad (6.3)$$

где $L_{i,j+1}^1$ - наработка 1-й детали между j и $j+1$ отказами.

Однако для удобства вводятся весовые коэффициенты α , тогда выражение (6.3) принимает вид [58]:

$$L_{i,j+1}^1 = \alpha_j^1 L_{j=1}^1 \quad (6.4)$$

Тогда величина потока отказов может быть определена по следующей формуле [58]:

$$h_i(L) = \sum_{j=1}^m \varphi_{i,j}(L) \Delta L \cong \omega_i \Delta L, \quad (6.5)$$

где $\varphi_{i,j}(L)$ - функция плотности распределения ресурса i -й детали до j -го отказа; ΔL - интервал пробега.

Также важным аспектом является переменный режим нагружения. Пример режима нагружения приведен на рисунке 6.24.

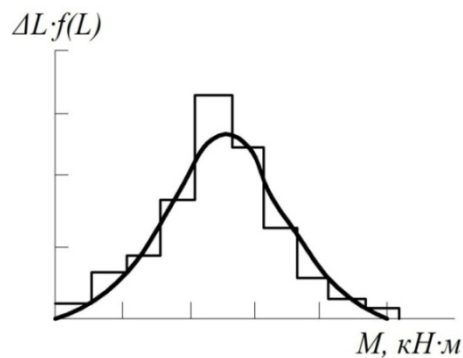


Рисунок 6.24 – Режим нагружения

В качестве расчетной величины целесообразно брать математическое ожидание. Результаты расчетов дают кривую вероятности безотказной работы. Общий вид кривой приведен на рисунке 6.25.

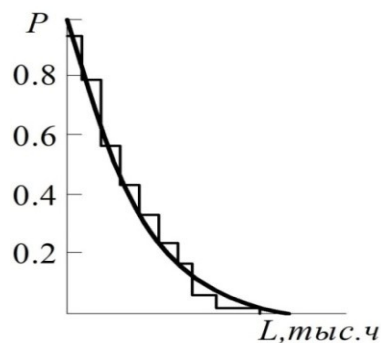


Рисунок 6.25 – Вероятность безотказной работы

По данной величине можно определить предельное значение износа I_{\max} . Тогда выражения для определения математического ожидания наработки и ее рассеяния можно представить следующим образом:

$$\bar{R} = \frac{I_{\max}(1 + v_h^2)}{I_h} \quad (6.6)$$

$$\sigma_R = I_{\max} v_h \sqrt{1 + 2v_h^2} / I_h, \quad (6.7)$$

где v_h – коэффициент вариации.

С учетом того, что в ковше n -гильз, выражения (6.6) и (6.7) примут вид:

$$R_1 = \bar{R} - \sigma_R \sqrt{\ln(n)} \quad (6.8)$$

$$\sigma_1 = \pi \sigma_R / \sqrt{6 \ln(n)} \quad (6.9)$$

В таблице 6.2 приведены результаты расчетов наработки на отказ.

Таблица 6.2 – Результаты расчетов скорости изнашивания втулок проушины ковша

Наименование детали	Материал, упрочнение	$V_{И}$, мкм/ч (до обработки в ремонтный размер / после обработки)
Втулка проушины ковша 1	Высокопрочный зака- ленный чугун	0.95/0.95
Втулка проушины ковша 2	Сталь 12ХН3А, упроч- нение цементация + закалка	1.1/1.8
Втулка проушины ковша 3	Поверхностное упроч- нение в контакте с ок- сидом молибдена	0.88/0.82

Учитывая обратный характер распределения твердости, был выполнен расчет наработки на отказ для указанных выше втулок проушины ковша при восстановлении в ремонтный размер.

Как видно из таблицы 6.2, наработка для втулки с поверхностным упрочнением превышает аналогичные значения для других вариантов.

6.3.3 Разработка методики проектирования операций изготовления и ремонта деталей строительного-дорожных машин

Основным аспектом, который оказывает влияние на проектирование операций, является наличие в упрочненном слое ферритной каймы, которая обладает низкой твердостью и износостойкостью. С одной стороны, это обеспечивает благоприятный характер процесса приработки. Однако при жестких требованиях к величине допускаемого износа ферритную кайму необходимо удалять в обязательном порядке.

В качестве дополнительного критерия, который определяет необходимость последующей механической обработки слоя, можно ввести следующее соотношение:

$$I_{\max} < k \cdot [h_{\text{ДС}}], \quad (6.10)$$

где I_{\max} – допустимый износ слоя;

$[h_{\text{ДС}}]$ – толщина дефектного слоя;

k – коэффициент запаса.

Если неравенство (6.10) справедливо, значит, ферритную кайму необходимо удалять.

Последовательность проектирования операций термодиффузионного поверхностного легирования имеет вид:

1. Задается величина требуемого ресурса работы и допустимого износа;
2. Проверяется условие (6.10);
3. Определяется толщина упрочненного слоя $[h_{\text{УС}}]$;
4. Определение требуемой величины наработки $[R]$ через предельный износ I_{\max} ;
5. Определение ресурса работы R ;
6. Проверка условия $R \geq [R]$;
7. При невыполнении условия в пункте 6 корректировка величины $[h_{\text{УС}}]$;

8. В зависимости от условий работы узла выбирается легирующий элемент;

9. Назначаются режимы с использованием зависимостей полученных в главе 4.

При этом величина ремонтного размера рассчитывается по известным зависимостям, приведенным в литературе [42,52]. Графически алгоритм приведен на рисунке 6.26.

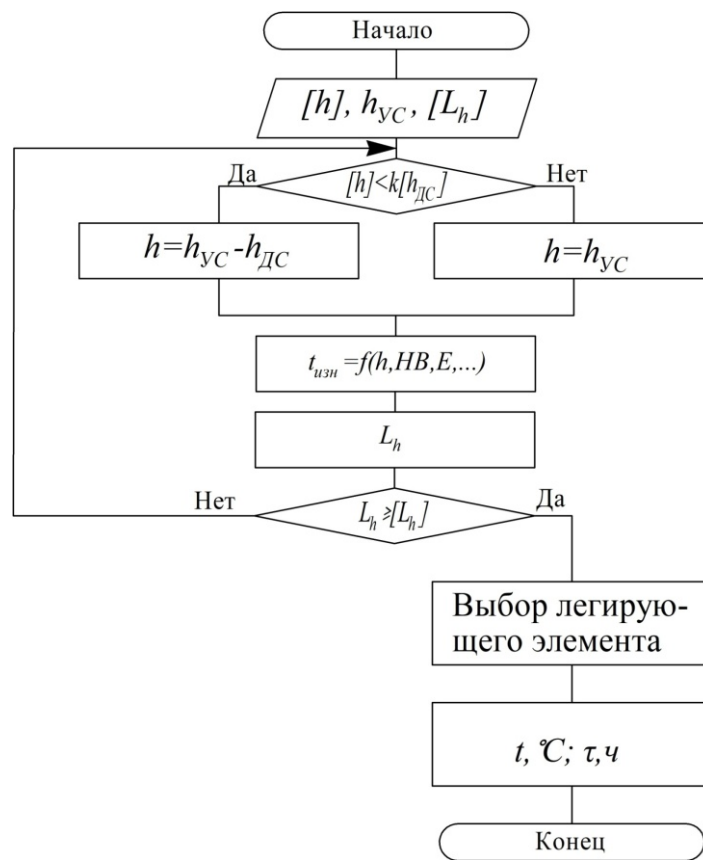


Рисунок 6.26 – Алгоритм проектирования операций изготовления и ремонта

На рисунке 6.27 приведены зависимости вероятности безотказной работы для рассматриваемых случаев.

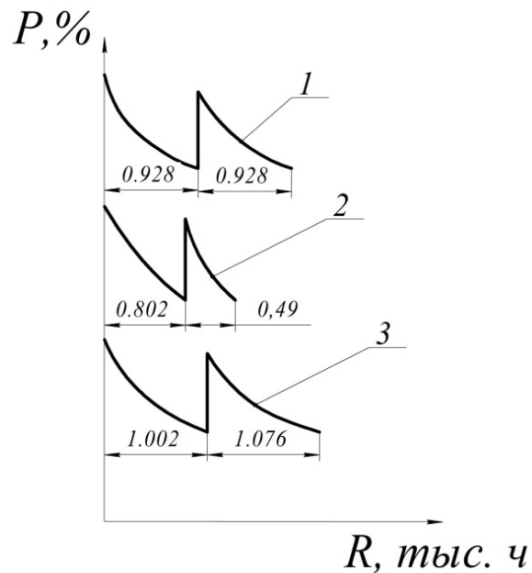


Рисунок 6.27 – Вероятность безотказной работы втулок проушины ковша после ремонтного растачивания: 1 – Высокопрочный закаленный чугу́н; 2 – Сталь 12ХН3А, упрочнение цементация + закалка; 3 – Серый чугу́н, поверхностное упрочнение в контакте с оксидом молибдена

Как можно видеть, расчетные значения вероятности безотказной работы после обработки в ремонтный размер увеличиваются.

6.4 Выводы по главе 6

1. Использование расчетных моделей дает возможность прогнозировать надежность шарниров рабочего оборудования, содержащих упрочненный слой, с погрешностью не превышающей 30%.

2. На основании проведенных исследований было установлено, что имеется возможность сокращения периода приработки более чем в 1.5 раза и общего повышения долговечности шарниров рабочего оборудования строительно-дорожных машин до 30%.

3. Разработанная методика позволяет проектировать операции ремонта деталей строительно-дорожных машин на основе применения упрочнения, позволяющего получить обратное распределение твердости.

4. Полученные зависимости динамических характеристик системы (корреляционной размерности фазового пространства, корреляционной эн-

тропии и старшего показателя Ляпунова) от ширины фаски износа имеют характерные участки, которые соответствуют зоне приработки, нормального и катастрофического износа.

5. Разработанная структурная схема и программно-аппаратный комплекс, реализующий устройство контроля износа инструмента, позволяет:

- производить автоматический контроль состояния режущего инструмента;
- выполнять своевременную замену изношенного инструмента;
- снизить брак.

6. На основании проведенных исследований было установлено, что наработка на отказ после удаления припуска под ремонтный размер при использовании упрочнения с обратным распределением твердости до 30% больше, чем для традиционных методов ремонта.

7 ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

7.1 Испытания накладок на рабочие органы строительно- дорожных машин после упрочнения

Были изготовлены зубья ковша экскаватора и ножи отвала бульдозера, содержащие износостойкие накладки с упрочненным слоем. Соединение износостойкой накладки и зуба производилось при помощи сварки.

Зубья с износостойкими накладками устанавливались на ковш экскаватора при ремонте на ООО «Спецтехсервис».



Рисунок 7.1 – Ковш экскаватора ПО «Спецтехсервис»

Испытания проводились на экскаваторе 2 размерной группы.



Рисунок 7.2 – Экскаватор

Были изготовлены зубья ковша экскаватора, содержащие износостойкие накладки из серого чугуна марки СЧ-20, подвергнутого термодиффузионному поверхностному легированию взаимодействием с оксидом молибдена и последующей закалкой (см. рисунок 7.3).



Рисунок 7.3 – Износостойкие накладки (футеровочные пластины)

Соединение износостойкой накладки и зуба производилось при помощи сварки. Использовалась ручная дуговая сварка в среде защитных газов на установке УДГУ-251. Сила тока 116 А. Электрод – вольфрамовый, диаметр 3 мм. Предварительный нагрев и присадки не применялись. Защитная среда – аргон. На рисунке 7.4 приведена металлография сварного шва.



Рисунок 7.4 – Микроструктура сварного шва, x300

Исследования показали, что сварной шов не имеет дефектов.

Были изготовлены износостойкие накладки на отвал коммунальной машины из серого чугуна марки СЧ-20, упрочненного взаимодействием с оксидом молибдена и последующей закалкой.

В ходе проведения натурных испытаний экскаватором производилась разработка связного грунта III и IV категории с плотностью 1600-2000 кг/м³, коэффициент разрыхления 1.2-1.35, удельное сопротивление грунта резанию 150-300 КПа. В таблице 7.1 приведены данные средней долговечности износостойких накладок зубьев ковша экскаватора, полученные в ходе испытаний, а также расчетная величина гамма-процентного ресурса.

Таблица 7.1 – Результаты испытаний зубьев ковша экскаватора и ножа отвала бульдозера с износостойкими накладками

Название детали	Материал	Способ упрочнения	Твердость	Средняя долговечность по результатам испытаний, ч	Расчетная величина гамма-процентного ресурса t_r , ч, $u_p=95\%$
Зуб ковша экскаватора 2 размерной группы	110Г13Л	Без упрочнения	НВ 229	262	225
	СЧ-20	Легирование MoO_2 + закалка	НВ 580-600	285	256
Нож отвала бульдозера (бульдозер относится к группе «средние» по тяговому усилию)	110Г13Л	Без упрочнения	НВ 229	584	548
	СЧ-20	Легирование MoO_2 + закалка	НВ 580-600	689	643

Также испытания проходили на зубьях ковшей минипогрузчиков, производимых АО «Курганский завод дорожных машин» (см. рисунок 7.5). Испытания производились на минипогрузчике Termit 1000 производства Курганского завода дорожных машин (см. рисунок 7.6). Условия проведения испытаний – проведение работ по перегрузке насыпных грунтов (щебня) при дорожном строительстве. Гранулометрический состав щебня 10-20 и 20-40, лещадность III-IV группа, твердость НВ740-820, насыпная плотность 1250 кг/м³.



Рисунок 7.5 – Установка пластин на ковш минипогрузчика



Рисунок 7.6 – Минипогрузчик Termit 1000



Рисунок 7.7 – Ковш минипогрузчика Termit 1000 без износостойких элементов через 2 месяца работы

Результаты испытаний и теоретического определения гамма-процентного ресурса приведены в таблице 7.2.

Таблица 7.2 – Оценка ресурса по результатам испытаний

Название детали	Материал	Способ упрочнения	Твердость	Средняя долговечность по результатам испытаний, ч	Расчетная величина гамма-процентного ресурса t_r , ч, $u_p=95\%$
Ковш мини-погрузчика	110Г13Л	Без упрочнения	НВ 229	612	587
	СЧ-20	Легирование оксидом молибдена + закалка	НВ 580-600	745	708

Как видно из таблиц, использование предлагаемых решений позволяет снизить скорость изнашивания и повысить долговечность на 15-20%.

Кроме того, из таблиц 7.1 и 7.2 видно, что расчетные значения гамма-процентного ресурса меньше, чем величины, полученные в результате испытаний. Следовательно, при использовании значений гамма-процентного ресурса, полученных теоретически для планирования ремонта и восстановления элементов рабочего оборудования, может возникнуть ситуация, когда ресурс выработан не полностью. Поэтому важным аспектом планирования ремонтных мероприятий является оценка рисков выхода из строя рабочих органов.

Типовой технологический процесс изготовления и ремонта деталей строительно-дорожных машин без использования разработанной технологии поверхностного упрочнения приведен в таблице 7.3.

Таблица 7.3 - Типовой технологический процесс ремонта деталей строительно-дорожных машин без использования разработанной технологии поверхностного упрочнения

№ операции	Наименование операции	Содержание операции
Стадия изготовления новой детали		
1	Заготовительная	
2	Токарная	Черновая и чистовая обработка
3	Термическая (химико-термическая или физико-техническая операция упрочнения)	Повышение твердости поверхностного слоя (вызвано удалением припуска)
4	Моечная	Мойка, очистка
5	Шлифовальная (или полировальная)	Финишная обработка (получение требуемых параметров качества поверхностного слоя)
Стадия ремонта		
1	Дефектовочная	
2	Токарная	Обработка поверхностей до удаления следов износа
3	Термическая (химико-термическая или физико-техническая операция упрочнения)	Повышение твердости поверхностного слоя (вызвано удалением припуска)
4	Шлифовальная (или полировальная)	Финишная обработка (получение требуемых параметров качества поверхностного слоя)

Как можно видеть из таблицы 7.3, традиционные методы поверхностного упрочнения требуют использования повторного упрочнения на стадии ремонта ввиду того, что упрочненный слой удаляется в процессе ремонта (например, растачивания в ремонтный размер).

Применение разработанной технологии поверхностного упрочнения позволяет получать слой, который не удаляется полностью при ремонте, по-

этому необходимости в повторном упрочнении нет. Кроме того, использование системы автоматического обеспечения шероховатости в ряде случаев позволяет отказаться от шлифовальных операций.

Типовой технологический процесс ремонта детали с использованием разработанной технологии поверхностного упрочнения приведен в таблице 7.4.

Таблица 7.4 - Типовой технологический процесс ремонта деталей строительно-дорожных машин с использованием разработанной технологии поверхностного упрочнения

№ операции	Наименование операции	Содержание операции
Стадия изготовления новой детали		
1	Заготовительная	
2	Химико-термическая	Обеспечение требуемых физико-механических свойств
3	Моечная	Мойка, очистка
4	Токарная (с использованием системы обеспечения шероховатости)	Финишная обработка (получение требуемых параметров качества поверхностного слоя)
Стадия ремонта		
1	Моечная	Мойка, очистка
2	Дефектовочная	
3	Токарная (с использованием системы обеспечения шероховатости)	Обработка поверхностей до удаления следов износа и финишная обработка (получение требуемых параметров качества поверхностного слоя)

Рассматривались детали привода отвала коммунального, изготавливаемого АО «Курганский завод дорожных машин» (см. рисунок 7.8).



Рисунок 7.8 – Отвал коммунальный

В качестве деталей рассматривались втулка, входящая в доработку гидроцилиндра и шарнир. Требования к точности и шероховатости исполнительных поверхностей деталей: IT8, Ra 0.8...1.25.

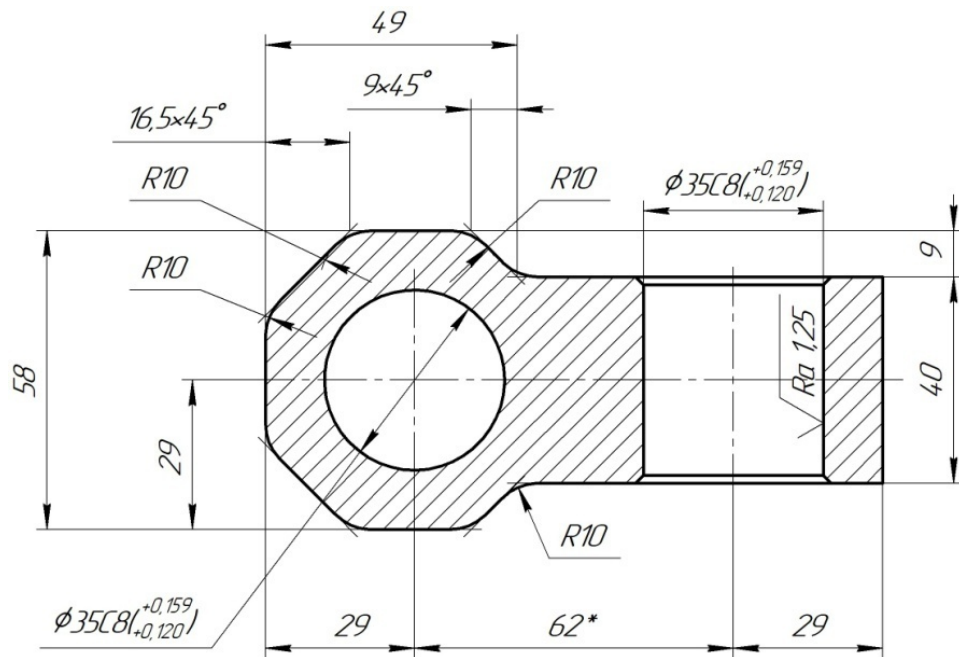


Рисунок 7.9 – Деталь шарнир

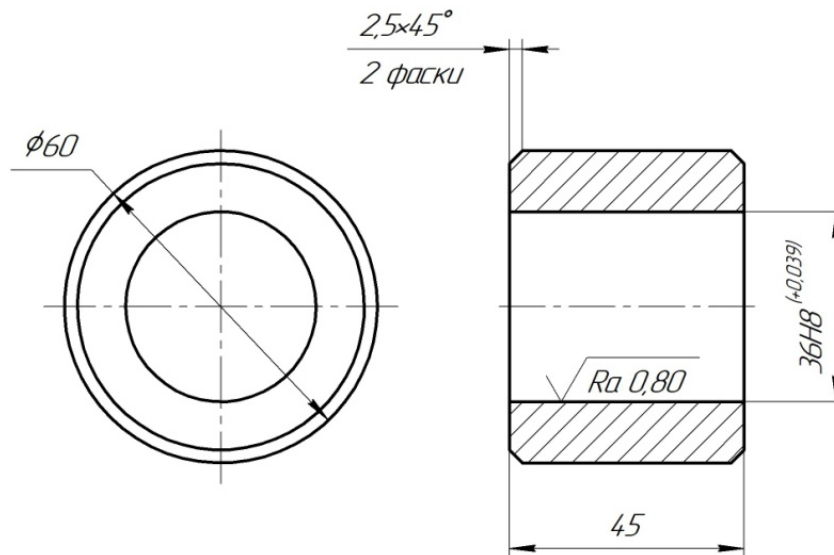


Рисунок 7.10 – Деталь втулка

В случае использования поверхностного легирования химико-термическая обработка выполняется первой. А при ремонте не требуется повторного упрочнения после удаления припуска при обработке в ремонтный размер.

7.2 Оценка рисков выхода из строя рабочих органов строительного-дорожных машин

Современный подход к планированию многих процессов, в том числе и ремонтных мероприятий, строится на оценке рисков. Одной из основных проблем при этом является неопределенность исходных данных. Поэтому инструмент для оценки рисков целесообразно реализовывать в виде экспертной системы.

В настоящее время на строительные-дорожные машины, изготавливаемые Курганским заводом дорожных машин, устанавливаются бортовые компьютеры (рисунок 7.10), которые позволяют собирать статистические данные по величине наработки и режимах работы машины. Предлагаемая экспертная система может быть встроена в программное обеспечение бортового компьютера для более эффективной оценки риска и планирования на этой основе

мероприятий по ремонту и замене элементов рабочих органов строительно-дорожных машин, в частности, для минипогрузчиков Termit 1000.

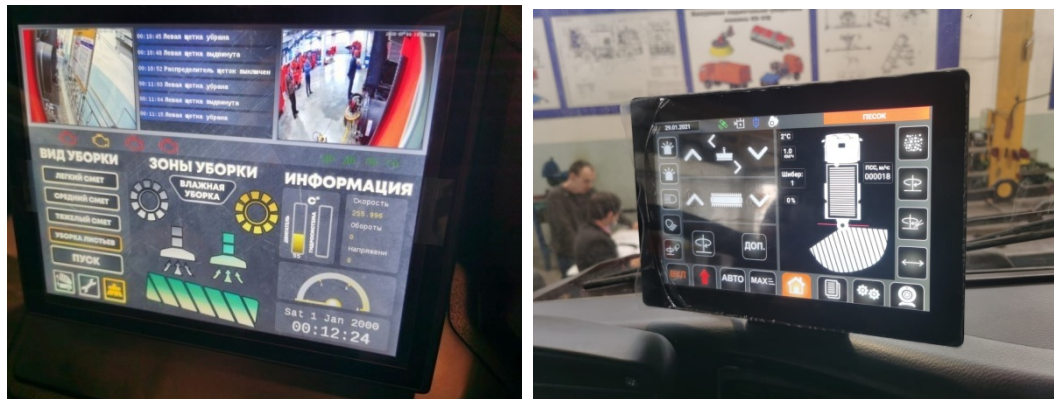


Рисунок 7.10 – Пример интерфейса бортового компьютера машин Курганского завода дорожных машин

Объектом, которым оперируют экспертные системы, являются знания. **Знание** — это сложная сеть понятий и отношений (оценки, мнения, связи и зависимости) между ними, которая сознательно (логически) или бессознательно используется при необходимости выработки новых суждений или принятия разнообразных решений [120,131].

Процесс преобразования знаний можно представить следующим образом [120,131] (таблица 7.5):

Таблица 7.5 – Циклический процесс преобразования неявных знаний в явные

Используем	Получаем	
	Неявные (tacit)	Явные (explicit)
Неявные (tacit)	Обобществление (Socialization)	Отчуждение (Externalization)
Явные (explicit)	Усвоение (Internalization)	Комбинирование (Combination)

К **неявным знаниям** (tacit knowledge), с учетом вышеизложенных определений, относятся опыт, мастерство, культура мышления, интуиция и т.д. Неявное знание - это способность к адаптации в меняющихся условиях [31,58,132,142].

К **явным знаниям** (explicit knowledge) относятся описания теорий, методов, методик, технологий, механизмов и машин, конструкций, систем и т. п. Явные знания хранятся на реальных физических носителях (в книгах, бумажных документах, рисунках, схемах, фильмах, аудио и видео записях, магнитных и электронных файлах и базах данных и т. п.) [120,131].

Обобществление (tacit to tacit) - включает формирование и передачу неявных знаний в коллективных формах (дискуссии, семинары, команды и т. п.). При этом чаще всего это происходит без создания явных знаний [31,58,132,142].

Отчуждение (tacit to explicit) происходит путем концептуализации неявных знаний, извлечения и выявления их и, в конечном счете, их формулирования и фиксации в той или иной форме как итог дискуссий, семинаров, мозгового штурма и т.п. [120,131].

Комбинирование (explicit to explicit) осуществляется в ходе распространения явных знаний, в процессе составления обзоров и сводных отчетов. Увеличение явных знаний происходит здесь за счет пополнения баз данных коллективного пользования, классификации и систематизации файлов и документов [120,131].

Усвоение (explicit to tacit) - осуществляется в процессе чтения и изучения документов из баз данных, журналов и книг. Это приводит к усвоению знаний, которые были созданы другими (возникновению новых неявных знаний у познающего субъекта), а также, возможно, к созданию новых знаний в результате мыслительной деятельности в процессе познания [120,131].

Таким образом, для решения поставленных в работе задач необходимо иметь инструмент, способный в автоматизированном режиме реализовывать последовательность преобразования знаний. Применительно к процессу проектирования технологического оборудования предприятий автомобильного транспорта таким инструментом являются экспертные системы.

Экспертные системы – это программный комплекс, который выполняет функции эксперта при решении задач из определенной предметной области.

Данные системы производят анализ, выдают советы и формируют решения. Практическое применение экспертных систем позволяет снизить трудоемкость процесса проектирования и увеличить эффективность работы специалистов [120,131].

Главное достоинство экспертных систем заключается в том, что имеется возможность накапливать знания и сохранять их в течение длительного времени. Данные системы, в отличие от мозга человека, строятся исключительно на объективных закономерностях работы с информацией, что улучшает качество их работы.

Экспертная система состоит из следующих элементов [120,131]:

- база знаний (часть системы, в которой содержатся факты)
- подсистема вывода (множество правил, по которым осуществляется решение задачи);
- подсистема объяснения;
- подсистема приобретения знаний и диалогового процессора.

База знаний - наиболее важный компонент экспертных систем, на котором основаны ее «интеллектуальные способности». Данный компонент является изменяемой частью системы, которая может модифицироваться и пополняться новыми данными. Наиболее часто информация в рамках экспертных систем представляется в виде символов, а процесс работы системы представляет собой последовательность преобразования этих символов [120,131].

Подсистема приобретения знаний используется для добавления в базу знаний новых правил и изменения уже имеющихся. Основной задачей данной подсистемы является приведение правила к виду, позволяющему подсистеме вывода применять это правило в процессе работы [120,131].

Подсистема вывода - компонент экспертных систем, выполняющий процесс рассуждений на основе базы знаний и рабочего множества. Данная подсистема реализует две функции [120,131]:

- выполняет анализ фактов из рабочего множества и правил из базы знаний, а также добавление новых фактов;

- определяет порядок просмотра и использования правил.

Взаимодействие указанных выше компонентов можно представить следующим образом [120,131] (рисунок 7.12):

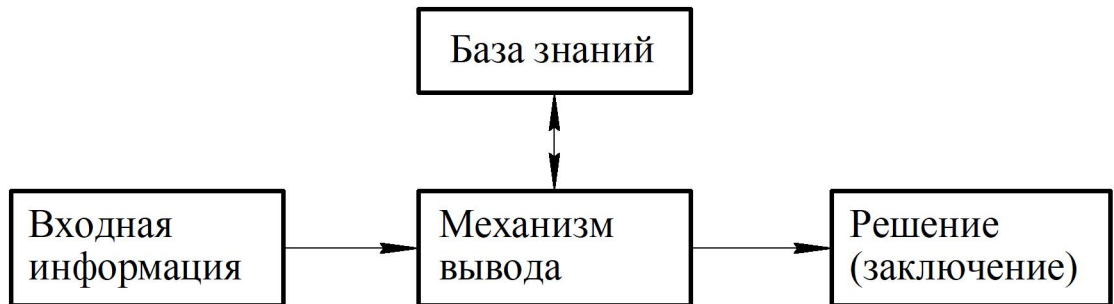


Рисунок 7.12 – Взаимодействие компонентов в рамках экспертной системы

Учитывая, что работа экспертной системы предполагает участие человека, структуру можно представить следующим образом (рисунок 7.13) [120,131]:

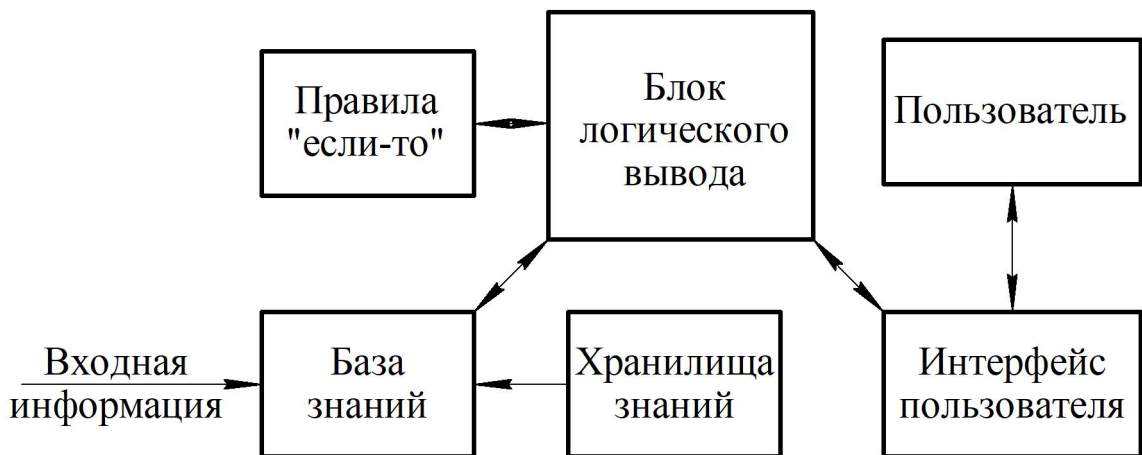


Рисунок 7.13 – Структурная схема экспертной системы

Анализируя опыт создания экспертных систем [167,200,201], следует отметить, что наибольшие затруднения возникают при создании блоков правил "если-то". Применительно к задаче проектирования технологического оборудования предприятий автомобильного транспорта задача разработки данных блоков осложняется высокой степенью неопределенности данных.

Перспективным направлением в данном случае является применение аппарата нечеткой логики для реализации блоков правил "если-то".

Логический блок оперирует условиями при обработке потока данных. К основным недостаткам таких элементов классических экспертных систем можно отнести невозможность использования в случае, если информация представлена в качественном виде либо если условия выполняются не полностью (исходные данные не полностью достоверны). Аппарат нечеткой логики позволяет формализовать качественную информацию, использовать ее в процессе рассуждений в качестве посылок для системы правил, позволяющих анализировать результаты работы системы.

Данное обстоятельство объясняется неопределенностью входных параметров. Разработанная модель экспертной системы с гибким логическим блоком, построенным на нечеткой логике, позволяет повысить эффективность планирования ремонтных мероприятий. Логический блок позволяет оценить необходимость ремонта при достижении наработки, соответствующей расчетному значению $t_{\text{расч}}$. Структура логического блока приведена на рисунке 7.14.

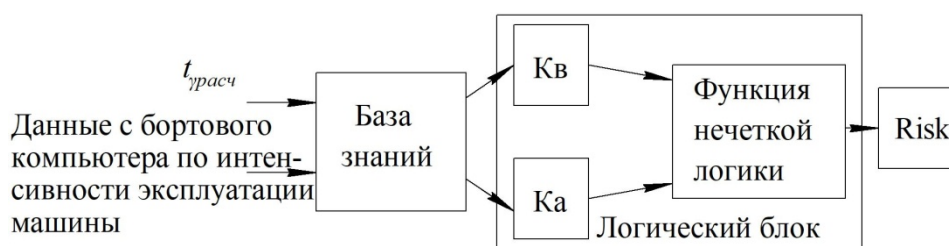


Рисунок 7.14 – Структура логического блока для оценки риска выхода из строя режущих элементов рабочего органа

В качестве входных параметров использованы коэффициенты использования сменного времени (K_M) и интенсивности использования машин (K_A), рекомендованные для разработки сметных норм. Выходная переменная – это риск выхода из строя (Risk). Данная переменная имеет значения:

- «средний уровень риска», при этом рекомендуется снизить интенсивность использования;

- «высокий уровень риска», при этом рекомендуется сменить категорию работ;

- «критический уровень риска», при этом рекомендуется вывести машину из эксплуатации и отправить в ремонт.

Функция нечеткой логики для экскаваторов задается следующей системой правил:

если $K_b < 0,4$ и $K_a < 0,75$, то Risk = «средний уровень риска»;

если $0,4 \leq K_b \leq 0,6$ и $K_a < 0,75$, то Risk = «средний уровень риска»;

если $0,4 \leq K_b \leq 0,6$ и $0,75 \leq K_a \leq 1,0$, то Risk = «высокий уровень риска»;

если $K_b > 0,6$ и $0,75 \leq K_a \leq 1,0$, то Risk = «критический уровень риска»;

если $K_b > 0,6$ и $K_a > 1,0$, то Risk = «критический уровень риска».

Зависимость для оценки риска выхода из строя режущих элементов рабочего органа приведена на рисунке 7.15.

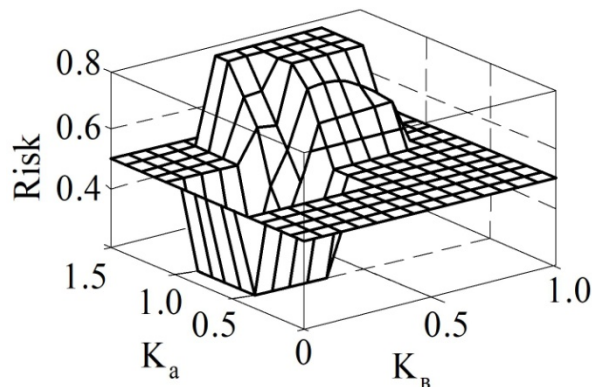


Рисунок 7.15 – Зависимость для оценки риска выхода из строя режущих элементов рабочего органа

7.3 Экономическая оценка полученных результатов

Разработанный метод упрочнения поверхностей деталей может конкурировать с методами наплавки, которые используются для повышения долговечности (по толщине упрочненного слоя, лучшему распределению твердости и т.д.).

Вместе с тем необходимо учитывать и недостатки разработанного процесса: невозможность обработки труднодоступных мест деталей, изделий

сложной формы, производительность процесса. Поэтому при решении вопроса о выборе способа упрочнения необходимо учитывать назначение детали, условия ее работы и требуемый комплекс свойств ее поверхностного слоя.

Предварительно, на этапе разработки процесса или технологии, эффективность метода можно оценить по коэффициентам технического уровня. Оценка технического уровня производится по шести показателям:

- производительность процесса;
- толщина упрочненного слоя;
- потребляемая мощность;
- относительная износостойкость покрытия;
- площадь, занимаемая установкой;
- стоимость установки.

В качестве аналогов будем рассматривать наплавку и индукционную пайку [17,18]. Производительность наплавки зуба экскаватора слоя толщиной 3 мм составляет 32 шт/смену. Производительность пайки 84 шт/смену.

Таблица 7.6 – Оценка технического уровня метода термодиффузионного поверхностного легирования

№	Наименование показателя	Значение показателей			q _i	
		Наплав-ка	Пайка	Дифф. лег.		
1.	Производительность установки, шт/смену	32	84	90	2.8	1.1
2.	Толщина упрочненного слоя, мм	3	3	3	1	1
3.	Потребляемая мощность, кВт	18	10	10	1.8	1
4.	Относительная износостойкость упрочненного слоя	0.056	0.039	0.042	1.3	0.93
5.	Занимаемая площадь, м ²	3	3	3	1	1
6.	Стоимость установки, тыс. руб.	360	457	100	3.6	4.6

Коэффициенты технического уровня определяются следующим образом:

$$K_{TV} = \frac{\sum_{i=1}^n q_i}{n},$$

где n – количество сравниваемых показателей;

q_i – соотношение показателей принятого и проектируемого процесса.

Для 1, 2 и 4 показателя:

$$q_i = \frac{P_{ПП}}{P_{АН}}$$

Для 3, 5 и 6 показателя:

$$q_i = \frac{P_{АН}}{P_{ПП}},$$

где $P_{ПП}, P_{АН}$ численные значения показателей аналога и проектируемого процесса.

Коэффициент технического уровня по совокупности показателей для аналога наплавка порошковой проволокой:

$$K_{TV1} = \frac{\sum q_i}{n} = \frac{2.8 + 1 + 1.8 + 1.3 + 1 + 3.6}{6} = 1.92$$

Коэффициент технического уровня по совокупности показателей для аналога индукционная пайка твердого сплава:

$$K_{TV2} = \frac{\sum q_i}{n} = \frac{1.1 + 1 + 1 + 0.93 + 1 + 4.6}{6} = 1.6$$

Коэффициенты технического уровня метода термодиффузионного поверхностного легирования по сравнению с аналогами существенно больше единицы. Это говорит о том, что технический уровень разработанной технологии соответствует лучшим достижениям в области повышения долговечности быстроизнашивающихся частей.

Расчет проведем на примере износостойких элементов защиты ковша (плиток).

Величину затрат на изготовление детали с диффузионным слоем можно определить следующим образом [125]:

$$C = K_{НАКЛ}(C_{ЗП} + C_{РМ} + C_{ЭЭ}),$$

где $K_{\text{НАКЛ}}$ – коэффициент, который учитывает накладные расходы;

$C_{\text{ЗП}}$ – расходы на заработную плату рабочих;

$C_{\text{РМ}}$ – затраты на расходные материалы;

$C_{\text{ЭЭ}}$ – затраты на электроэнергию.

В качестве расходных материалов используются оксиды легирующих элементов, а также вспомогательные материалы, используемые для предохранения втулок от окисления.

Составляющая затрат, связанная с заработной платой определяется следующим образом [125]:

$$C_{\text{ЗП}} = C_{\text{ч}}(t_{\text{ПОД}} + t_{\text{УПР}} + t_{\text{СВ}}) + C_{\text{Д}} + C_{\text{ОТЧ}},$$

где $C_{\text{ч}}$ – часовая тарифная ставка рабочего;

$t_{\text{ПОД}}$ – трудоемкость подготовительных работ;

$t_{\text{УПР}}$ – трудоемкость процесса термодиффузионного поверхностного легирования и закалки;

$t_{\text{СВ}}$ – трудоемкость подготовительных работ;

$C_{\text{Д}}$ – доплата за внеурочную работу;

$C_{\text{ОТЧ}}$ – величина отчислений по заработной плате.

Затраты на электроэнергию:

$$C_{\text{ЭЭ}} = C_{\text{кВтч}}(t_{\text{УПР}} \cdot N_{\text{п}} + t_{\text{СВ}} \cdot N_{\text{СА}}),$$

где $C_{\text{кВтч}}$ – стоимость электроэнергии; $N_{\text{п}}$ – мощность печи; $N_{\text{СА}}$ – мощность сварочного аппарата.

Составляющие затрат приведены в таблице 7.7. Трудоемкость процесса упрочнения по данным, полученным в главе 4, из расчета на одну деталь.

Таблица 7.7 – Составляющие дополнительных затрат на изготовление втулки с диффузионным слоем

$C_{\text{мат}}$, руб	$C_{\text{ч}}$, руб	$C_{\text{ЭЭ}}$, руб	$C_{\text{ЗП}}$, руб	$C_{\text{Д}}$, руб	$C_{\text{СТР}}$, руб	$C_{\text{ЭЭ}}$, руб
110	150	3.6	85	8.5	17.3	292

Величину затрат на изготовление детали из износостойкого чугуна со стальным основанием определим по формуле:

$$C = K_{\text{НАКЛ}}(C_{\text{ЗП}} + C_{\text{РМ}} + C_{\text{ЭЭ}}),$$

где $K_{\text{НАКЛ}}$ – коэффициент, который учитывает накладные расходы;

$C_{\text{ЗП}}$ – расходы на заработную плату рабочих;

$C_{\text{РМ}}$ – затраты на расходные материалы;

$C_{\text{ЭЭ}}$ – затраты на электроэнергию.

Составляющая затрат, связанная с заработной платой определяется следующим образом [125]:

$$C_{\text{ЗП}} = C_{\text{ч}}(t_{\text{ПОД}} + t_{\text{ПАЙЩ}}) + C_{\text{Д}} + C_{\text{ОТЧ}},$$

где $C_{\text{ч}}$ – часовая тарифная ставка рабочего;

$t_{\text{ПОД}}$ – трудоемкость подготовительных работ;

$t_{\text{СВ}}$ – трудоемкость подготовительных работ;

$C_{\text{Д}}$ – доплата за внеурочную работу;

$C_{\text{ОТЧ}}$ – величина отчислений по заработной плате.

Затраты на электроэнергию:

$$C_{\text{ЭЭ}} = C_{\text{кВтч}} \cdot t_{\text{ПАЙКИ}} \cdot N_{\text{ПС}},$$

где $C_{\text{кВтч}}$ – стоимость электроэнергии; $N_{\text{ПС}}$ – мощность паяльной станции.

Составляющие затрат приведены в таблице 7.8. Трудоемкость процесса упрочнения по данным, полученным в главе 4 из расчета на одну деталь.

Таблица 7.8 – Составляющие дополнительных затрат на изготовление втулки из износостойкого чугуна со стальным основанием

$C_{\text{мат}}$, руб	$C_{\text{ч}}$, руб	$C_{\text{ЭЭ}}$, руб	$C_{\text{ЗП}}$, руб	$C_{\text{Д}}$, руб	$C_{\text{СТР}}$, руб	$C_{\text{ЗЭ}}$, руб
240	150	32	25	2.5	8.3	400

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Введены новые термины, характеризующие процесс взаимодействия рабочих органов строительно-дорожных машин с грунтом, имеющим абразивные свойства, в частности, техногенным: «коэффициент числа частиц грунта, взаимодействующих с поверхностью режущего элемента», «коэффициент глубины внедрения абразивных частиц грунта в поверхность режущего элемента» и «коэффициент числа рабочих циклов процесса копания циклов, приводящих к разрушению материала». Это позволяет более корректно учитывать влияние абразивных свойств грунта на долговечность рабочих органов строительно-дорожных машин по сравнению с традиционными характеристиками грунта по ГОСТ 12536-2014.

2. Разработан комплекс математических моделей, позволяющих прогнозировать:

- динамику изнашивания режущей кромки и значение наработки, которое соответствует достижению предельного состояния и позволяет более корректно определять величину межремонтного интервала в зависимости от вида разрабатываемого грунта, физико-механических свойств материала рабочих органов и режимов разработки грунта. Данные модели позволяют до 1,5 раз точнее определять значения гамма-процентного ресурса для износостойких элементов рабочих органов с поверхностным упрочнением;

- вероятность безотказной работы узлов, содержащих упрочненный слой, после обработки под ремонтный размер.

3. На основе проведенных теоретических и экспериментальных исследований разработан новый метод повышения долговечности рабочих органов и шарниров рабочего оборудования строительно-дорожных машин, который позволяет получать упрочненный слой толщиной до 3 мм. Решения защищены патентами № 2614227, № 2486031, № 2493289, № 186172, № 210779, № 200310.

4. Разработаны технологические рекомендации в виде зависимостей для определения параметров легирования, закалки и составляющих припуска под последующую механическую обработку ремонтируемых деталей строительно-дорожных машин. Решения защищены патентами № 2614227, № 2486031, № 2493289, № 186172.

5. Проведены теоретические исследования профиля шероховатости поверхности деталей на основе теории случайных процессов и методов фрактальной геометрии, которые показывают, что при уменьшении среднеарифметического отклонения профиля растет доля случайной компоненты и увеличивается влияние вибраций при обработке на формирование профиля поверхности. Разработана структурная схема и программно-аппаратный комплекс, позволяющий производить автоматический контроль состояния режущего инструмента, выполнять своевременную замену изношенного инструмента и обеспечивать требуемые параметры шероховатости поверхности шарниров рабочего оборудования строительно-дорожных машин. Разработки защищены патентами № 166356, № 143324.

6. Проведены экспериментальные исследования и апробация полученных результатов в реальных условиях эксплуатации, которые подтвердили справедливость теоретических изысканий. По результатам испытаний и экспериментальных исследований установлено, что предлагаемые решения обеспечивают повышение долговечности рабочего оборудования строительно-дорожных машин (по показателю гамма-процентного ресурса на 18-25%). По результатам экономических расчетов, затраты на изготовление износостойкого элемента из серого чугуна составили 292 руб., а на изготовление двухкомпонентной защиты из износостойкого чугуна со стальным основанием 400 руб без учета стоимости припоя. Таким образом, снижение затрат составляет 27%.

На основании разработанных теоретических и экспериментальных положений в настоящей работе предложено решение научно-технической про-

блемы повышения долговечности рабочего оборудования строительного дорожных машин, имеющей важное народнохозяйственное и социальное значение. Направлением для дальнейших исследований является развитие системы планирования ремонта и технического обслуживания рабочего оборудования строительного дорожных машин за счет совершенствования разработанных теоретических и риск-ориентированных моделей на основе реальной эксплуатационной информации, получаемой с бортовых компьютеров СДМ и создания цифровых двойников рабочего оборудования строительного дорожных машин.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Авдонькин, Ф.Н. Текущий ремонт автомобилей / Ф.Н. Авдонькин. – М.: Транспорт, 1978. – 269 с.
2. Агеев, Е.В. Повышение качества ремонта и восстановления деталей современных транспортных средств / Е.В. Агеев, Е.В. Агеева // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2011. – №3. – С. 503-508.
3. Анализ коррелограмм профилей поверхностей, обрабатываемых резанием : свид. о государственной регистрации программы для ЭВМ / Остапчук А.К., Овсянников В.Е., Рогов Е.Ю.; заявитель и патентообладатель Уральский государственный университет путей и сообщения. – №2012611805; дата рег. 17.02.2012.
4. Анализ погрешностей формы деталей типа тел вращения : свид. о государственной регистрации программы для ЭВМ / Остапчук А.К., Овсянников В.Е., Рогов Е.Ю.; заявитель и патентообладатель Уральский государственный университет путей и сообщения. – №2012611803; дата рег. 17.02.2012.
5. Апсин, В.П. Специальный курс ремонта автотранспортных средств : учебное пособие / В.П. Апсин и др. – Оренбург : изд-во ИПК ГОУ ОГУ, 2008. – 172 с.
6. Арефьева, Л.П. Анизотропия поверхностной энергии и барического коэффициента поверхностной энергии полиморфных фаз металлических кристаллов : 01.04.07 / Л.П. Арефьева; [Место защиты: КабГУ им. Х.М. Бербекова]. - Нальчик, 2009. - 153 с.
7. Артемьев, К. А. Теория резания грунтов землеройно-транспортными машинами: учебное пособие / К.А. Артемьев; Сибирский автомобильно-дорожный институт им. В. В. Куйбышева, Омск: ОмПИ, 1989. – 80 с. ил.
8. Барлоу, Р. Математическая теория надежности: Пер. с англ. под ред. Б.В. Гнеденко / Р. Барлоу, Ф. Прошан. – М.: Советское радио, 1969. – 488 с.

9. Баловнев, В.И. Дорожно-строительные машины и комплексы : учебник для ВУЗов / В.И. Баловнев, А.Б. Ермилов, А.Н. Новиков. – М.: Машиностроение, 1988. – 384 с.

10. Безъязычный, В.Ф. Назначение режимов резания по заданным параметрам качества поверхностного слоя / В.Ф. Безъязычный. – Ярославль, 1978. – 86 с.

11. Бурумкулов, Ф.Х. Влияние физико-механических свойств и остаточных напряжений электроискровых покрытий на износостойкость соединений / Ф.Х. Бурумкулов, М.А. Окин, В.И. Иванов // Ремонт, восстановление, модернизация. – 2009. – №2. – С. 17-23.

12. Вальков, В.М. Контроль в ГАП / В.М. Вальков. – Л.: Машиностроение, 1986. – 232 с.

13. Великанов, В.С. Развитие научно-методологических подходов по совершенствованию конструктивных решений карьерных экскаваторов : 05.05.06 / В.С. Великанов; [Место защиты: Уральский гос. горн. ун-т]. – Екатеринбург, 2017. – 239 с.

14. Веселовский, А.А. Термодиффузионное упрочнение деталей гидроцилиндров из серого чугуна алюминием и ванадием в порошковой среде: дис. ... кандидата технических наук : 05.16.01 / А.А. Веселовский; [Место защиты: Магн. гос. техн. ун-т]. – Магнитогорск, 2008. – 147 с.

15. Ветров, Ю.А. Сопротивление грунтов резанию / Ю.А. Ветров. – Киев: Изд. Киевского университета, 1965. – 167 с.

16. Виттенберг, Ю.Р. Шероховатость поверхности и методы ее оценки / Ю.Р. Виттенберг. – Л.: Судостроение, 1971. – 98 с.

17. Густов, Ю.И. Триботехника строительных машин и оборудования : монография / Ю.И. Густов,. – М.: МГСУ, 2011. – 197 с.

18. Густов, Ю.И. Повышение износостойкости рабочих органов и сопряжений строительных машин: дис. ... доктора технических наук : 05.05.04 / Ю.И. Густов; [Место защиты: Моск. Строит. Ин-т]. – Москва, 1994. – 529 с.

19. Девойно, О.Г. Поверхностное упрочнение серого чугуна совместной лазерной и ультразвуковой обработкой / О.Г. Девойно и др. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/5511/%D0%A1.%203%20%206.pdf?sequence=1>.
20. Денисов, А.С. Научные основы формирования структуры эксплуатационно-ремонтного цикла автомобилей : дис. ... доктора технических наук : 05.22.10 / В.А. Денисов; [Место защиты: Саратовский гос. техн. ун-т]. – Саратов, 1999. – 355 с.
21. Денисов, В.А. Восстановление базовых деталей дизельных двигателей с аварийными дефектами покрытиями на основе композиционных материалов : автореферат дис. ... доктора технических наук : 05.20.03 / В.А. Денисов; [Место защиты: Морд. гос. ун-т им. Н.П. Огарева]. – Саранск, 2015. – 390 с.
22. Дехтеринский, Л.В. Капитальный ремонт автомобилей / Л.В. Дехтеринский, Р.Е. Есенберлин. – М.: Транспорт, 1989. – 335 с.
23. Домбровский, Н. Г. Землеройные машины / Н.Г. Домбровский, С.А. Пакратов. – М.: Госстройиздат, 1961. – 476 с.
24. Дюмин, И.Е. Ремонт автомобилей / И.Е. Дюмин, Г.Г. Трегуб. – М.: Транспорт, 1988. – 280 с.
25. Егоров, В.А. Оптические и щуповые приборы для измерения шероховатости поверхности / В.А. Егоров. – М.: Машиностроение, 1965. – 223 с.
26. Елизаветин, М.А. Повышение надежности машин / М.А. Елизаветин. – М.: Машиностроение, 1973. – 430 с.
27. Ефименко, Н.Г. Электроискровое легирование (ЭИЛ) рабочих поверхностей чугунных изделий / Н.Г. Ефименко, И.В. Дошеткина [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://old.khntusg.com.ua>.
28. Задумкин, С.Н. Современные теории поверхностной энергии металлов / С.Н. Задумкин // Поверхностные явления в расплавах и возникающих из них твердых фазах. Нальчик: КБГУ, 1965. – с. 12-17.

29. Зайдес, С.А. Теоретические основы охватывающего поверхностного пластического деформирования, технология и оборудование : дис. ... доктора технических наук : 05.02.08 / С.А. Зайдес; [Место защиты: Иркут. гос. техн. ун-т]. – Иркутск, 1999. – 413 с.
30. Зеленин, А.Н. Основы разрушения грунтов механическими способами / А.Н. Зеленин. – М.: Машиностроение, 1968. – 220 с.
31. Зорин, В.А. Технология машиностроения, производство и ремонт подъёмно-транспортных, строительных и дорожных машин / В.А. Зорин. – М.: Академия, 2010. – 187 с.
32. Зорин, В.А. Основы долговечности строительных и дорожных машин / В.А. Зорин. – М.: Машиностроение, 1986. – 245 с.
33. Износостойкость сопрягающихся деталей механического оборудования наземных транспортных систем / Н.В. Асеев, Е.Н. Асеева, Э.Ф. Крейчи и др. – ВолгГТУ. – Волгоград, 2000. – 99 с.
34. Иванов, В.П. Ремонт машин. Технология, оборудование, организация: Учебник / В.П. Иванов – 2-е изд., перераб. и доп. – Новополюк: УО «ПГУ», 2006. – 468 с.
35. Качество машин: Справочник. В 2 т. Т1 / А.Г. Суслов, Э.Д. Браун, Н.А. Виткевич и др. – М.: Машиностроение, 1995. – 256 с.: ил.
36. Карагодин, В.И. Ремонт автомобилей и двигателей / В.И. Карагодин, Н.Н. Митрохин. – М.: Академия, 2002–496 с.
37. Кашеев, В.И. Процессы в зоне фрикционного контакта металлов / В.И. Кашеев. – М.: Машиностроение, 1978. – 215 с.
38. Кибальченко, А.В. Контроль состояния режущего инструмента / А.В. Кибальченко. – М.: ВНИИТЭМР, 1986. – 44 с.
39. Козочкин, М.П. Виброакустическая диагностика технологических процессов / М.П. Козочкин. – М.: ИКФ "Каталог", 2005. – 196 с.
40. Колмыков, В.И. Поверхностное упрочнение легированных сталей карбидами при цементации: дис. ... доктора технических наук : 05.16.09 / В.И. Колмыков; [Место защиты: Курский гос. ун-т]. – Курск, 1999. – 338 с.

41. Коломойченко, А.В. Технологии повышения долговечности деталей машин восстановлением и упрочнением рабочих поверхностей комбинированными методами : дис. ... доктора технических наук : 05.20.03 / А.В. Коломойченко; [Место защиты: Орловский гос. ун-т]. – Орел, 2011. – 365 с.

42. Комиссаров, А.П. Моделирование механизма рабочего оборудования одноковшового экскаватора / А.П. Комиссаров, В.С. Шестаков // Известия Уральского государственного горного университета. – 2005. №20. – с. 32-39.

43. Концепция комплексного управления надежностью, рисками, стоимостью жизненного цикла на железнодорожном транспорте [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://oac.rgotups.ru/misc/files/39.4.3.pdf>.

44. Костецкий, Б.И. Исследование механизма изнашивания металлов при скольжении по грунту. В сб.: Строительств районах Восточной Сибири и Крайнего Севера / Б.И. Костецкий, С.Д. Лехман. – Красноярск. – 1971. – №6(18). – с.207-216.

45. Крагельский, И.В. Основы расчетов на трение и износ / И.В. Крагельский, Н.М. Добычин, В.С. Комбалов. – М.: Машиностроение, 1974. – 526 с.

46. Крагельский, И.В. Трение и износ / И.В. Крагельский. – М.: Машиностроение, 1968. – 480 с.

47. Крагельский, И.В. Узлы трения машин: Справочник / И.В. Крагельский, Н.М. Михин. – М.: Машиностроение, 1984. – 280 с.

48. Крамаренко, Г.В. Техническая эксплуатация автомобилей : Учебник для ВУЗов / Г.В. Крамаренко. – М.: Транспорт, 2009. – 488 с.

49. Кроновер, Р.М.: Фракталы и Хаос в динамических системах: Основы теории / Р.М. Кроновер. – М.: Постмаркет, 2000. – 352 с.

50. Крыхтин, Ю.И. Повышение эксплуатационных свойств фрикционных устройств механических трансмиссий лёгких гусеничных машин с большой удельной мощностью: дис. ... канд. техн. наук. Волгоград, 2013. 311 с.

51. Кузнецов, Е.С. Исследование эксплуатационной надежности автомобилей / Е.С. Кузнецов. – М-во автомоб. транспорта и шосс. дорог РСФСР. Гос. науч.-исслед. ин-т автомоб. транспорта "НИИАТ". – М.: Транспорт, 1969. – 153 с.

52. Кузнецова, В.Н. Развитие научных основ взаимодействия контактной поверхности рабочих органов землеройных машин с мерзлыми грунтами: дис. ... докт. техн. наук : 05.05.04 / В.Н. Кузнецова; [Место защиты: Сибирская гос. автод. академия]. – Омск, 2009. – 259 с.

53. Кузнецова, В.Н. Обоснование параметров коронок зубьев землеройных машин с повышенной износостойкостью: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.04 / В.Н. Кузнецова; [Место защиты: Сибирская гос. автод. академия]. – Омск, 2001. – 202 с.

54. Лагерев, И.А. Моделирование рабочих процессов манипуляционных систем мобильных многоцелевых транспортно-технологических машин и комплексов: монография / И.А. Лагерев. – Брянск: РИО БГУ, 2016. – 371 с.: ил.

55. Левковец, П.Р. Качество ремонта и технического обслуживания автомобилей в АТП / П.Р. Левковец, В.Н. Городницкий, П.Я. Калита – Киев: Техника, 1999. – 96 с.: ил.

56. Легирование железа через газовую хлоридную фазу / Ю.Г. Гуревич [и др.]. – Свердловск: Академия наук СССР. Уральское отделение, 1992. – 190 с.

57. Ли, Р.И. Ремонт и утилизация автомобилей и тракторов [Электронный ресурс] : лабораторный практикум / Р.И.Ли. – Электрон. текстовые данные.— Липецк: Липецкий государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2015. – 157 с. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/74414.html>.

58. Лукинский, В.С. Прогнозирование надежности автомобилей / В.С. Лукинский, Е.И. Зайцев. – Л.: Политехника, 1991. – 224 с.: ил.

59. Львов, В.П. Основы абразивной износостойкости деталей строительных машин / В.П. Львов. – М.: Машиностроение, 1986. – 178 с.

60. Лялякин, В.П. Методы повышения ресурса деталей дизельных двигателей при их восстановлении : дис. ... доктора технических наук : 05.20.03 / В.П. Лялякин; [Место защиты: ВНИИТУВИД «Ремдеталь»]. – Москва, 1996. – 54 с.
61. Макхамов, К.Х. Расчет износостойкости машин : учебное пособие / К.Х. Макхамов. – Ташкент: ТашГТУ, 2002. – 144 с.
62. Минкевич, А.Н. Химико-термическая обработка металлов и сплавов / А.Н. Минкевич. – М.: Машиностроение, 1985. – 432 с.
63. Молодык, Н.В. Восстановление деталей машин : справочник / Н.В. Молодык, А.С. Зенкин. – М.: Машиностроение, 1989. – 480 с.
64. Недорезов, Н. А. Резание и ударное разрушение грунтов / Н.А. Недорезов, Д.И. Федоров, А.И. Федулов, Ю.М. Хамчуков. – Новосибирск: Наука, 1965. – 135 с.
65. Немчинский, А.Л. Тепловые расчеты термической обработки / А.Л. Немчинский. – Л.: Судостроение, 1953. – 105 с.
66. Нефедов, И.С. Восстановление изношенных деталей машин при помощи дополнительных ремонтных деталей, изготовленных методами аддитивных технологий / И.С. Нефедов // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2018. – №11. – С. 15-17.
67. Новиков, А. Н. Восстановление и упрочнение деталей автомобилей : учебное пособие / А.Н. Новиков, М.П. Стратулат, А.Л. Севостьянов. – Орел: ОрелГТУ, 2006. – 334.
68. Овсянников, В.Е. Анализ процесса механической обработки и прогнозирование точности методами нелинейной динамики / В.Е. Овсянников, А.К. Остапчук, Е.Ю. Рогов // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2009. – №9 (63). – С. 23-26.
69. Овсянников, В.Е. Алгоритмический анализ процессов диагностирования систем автомобилей / В.Е. Овсянников, В.И. Васильев // Вестник КузГТУ. – 2015. – №2 (108). – С. 109-111.

70. Овсянников, В.Е. Диффузионное хромирование деталей из феррито-перлитного серого чугуна / В.Е. Овсянников, Ю.Г. Гуревич, В.А. Фролов // Машиностроение и инженерное образование. – 2011. – №2 (27). – С. 2-10.

71. Овсянников, В.Е. Исследования состояния технологической системы с применением методов нелинейной динамики / А.К. Остапчук, В.Е. Овсянников // Материалы 6-й международной научно-технической конференции «Проблемы качества машин и их конкурентоспособности». – Брянск, 2008. – с 324-326.

72. Овсянников, В.Е. К вопросу применимости расчетного метода оценки сопротивления износу деталей после термодиффузионного упрочнения / В.Е. Овсянников, В.И. Васильев // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2018. – №3 (61). – С. 412-420.

73. Овсянников, В.Е. Метод оценки погрешности формы деталей гидравлических систем транспортных машин / В.Е. Овсянников, А.К. Остапчук, Е.Ю. Рогов // Транспорт Урала. – 2011. – №2 (29). – С. 38-40.

74. Овсянников, В.Е. Методологические основы численного анализа устойчивости систем / В.Е. Овсянников, В.Ю. Терещенко // Вестник Курганского государственного университета. – 2011. – №20. – С. 94-97.

75. Овсянников, В.Е. Научные основы обеспечения шероховатости поверхности на базе анализа случайных процессов: Монография / В.Е. Овсянников, А.К. Остапчук. – Курган: Изд-во Курганского гос. ун-та, 2012.- 188 с.

76. Овсянников, В.Е. Оценка параметров алгоритмов диагностирования систем автомобилей в условиях высокой степени неопределенности исходных данных / В.Е. Овсянников, В.И. Васильев // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2017. – №3 (55). – С. 94-99.

77. Овсянников, В.Е. Поверхностная закалка деталей из феррито-перлитного серого чугуна / В.Е. Овсянников, Ю.Г. Гуревич, В.А. Фролов, П.А. Суханов // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2012. – №10 (94). – С. 3-5.

78. Овсянников, В.Е. Применение теории случайных процессов для моделирования параметров качества поверхности / В.Е. Овсянников, А.К. Остапчук, Е.Ю. Рогов // Транспорт Урала. – 2011. – №2 (29). – С. 41-45.

79. Овсянников, В.Е. Применение теории фракталов в математическом моделировании и технике: Учебное пособие / В.Е. Овсянников, А.К. Остапчук. – Курган: Изд-во КГУ, 2009. - 64 с.

80. Овсянников, В.Е. Применение фрактальных моделей для описания шероховатости деталей транспортных машин / В.Е. Овсянников, А.К. Остапчук, Е.Ю. Рогов // Транспорт Урала. – 2011. – №4 (31). – С. 17-21.

81. Овсянников, В.Е. Промышленные технологии и инновации в автомобиле и тракторостроении: Учебное пособие / Овсянников В.Е., Орлов В.Н., Шпитко Г.Н. – Курган: Изд-во Курганского гос. ун-та, 2014.- 154 с.

82. Овсянников, В.Е. Разработка элементов технологии повышения долговечности деталей тракторов из серого чугуна / В.Е. Овсянников, В.И. Васильев, А.С. Терехов // Тракторы и сельхозмашины. – 2018. – №2. – С. 73-77.

83. Овсянников, В.Е. Термодинамика реакций на поверхности металлов и сплавов / В.Е. Овсянников, Ю.Г. Гуревич // Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2012. Т.2 – №1 (65). – С. 69-73.

84. Овсянников, В.Е. Технические и инженерно-психологические основы проектирования и конструирования машин: Учебное пособие / В.Е. Овсянников, В.И. Васильев, Г.Н. Шпитко. – Курган: Изд-во Курганского гос. ун-та, 2014.- 102 с.

85. Овсянников, В.Е. Управление качеством обработки при выглаживании на станках с ЧПУ / В.Е. Овсянников, В.Ю. Терещенко // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2013.– №10. – С. 74-78.

86. Огин, П.А. Структура и свойства зон перекрытия при лазерной закалке сталей и чугунов / П.А. Огин // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. – 2015. – №2 (32). – С. 130-135.

87. Озорнин, С.П. Совершенствование организации фирменного сервиса автомобилей, собираемых в России по лицензиям зарубежных автопроизводителей / С.П. Озорнин, А.Г. Яковлев, Д.В. Дубовский // Вестн. Саратовского гос. тех. ун-та, № 2с (71), том 2. – Саратов: СГТУ, 2013. – С. 379-385.

88. Определение корреляционной размерности фазового пространства / Овсянников В.Е., Рогов Е.Ю., Некрасов Р.Ю., Темпель Ю.А.; заявитель и патентообладатель Тюменский индустриальный университет. – №2018611606; дата рег. 02.02.2018.

89. Патент RU № 2176578. Способ упрочнения чугуновых деталей // Поляченко А.В., Евсеенко В.В.; заявитель и патентообладатель Поляченко А.В., Евсеенко В.В.. –Опубл. 10.12.2001. Бюл. № 34.

90. Патент RU № 2269628. Зуб экскаватора и способ его изготовления // Балашов В.Ф., Каждая Г.В., Каждая О.Г.; заявитель и патентообладатель Балашов В.Ф. –Опубл. 10.02.2006. Бюл. № 4.

91. Петрешин, Д.И. Технологическое обеспечение шероховатости обрабатываемых поверхностей деталей машин на основе адаптивного управления : 05.02.08, 05.13.06 / Д.И. Петрешин; [Место защиты: Брянский гос. техн. ун-т]. – Брянск, 2001. – 166 с.

92. Расчет информационной энтропии процесса / Овсянников В.Е., Рогов Е.Ю., Некрасов Р.Ю., Путилова У.С.; заявитель и патентообладатель Тюменский индустриальный университет. – №2018611608; дата рег. 02.02.2018.

93. Расчет параметров корреляционной модели профиля поверхностей, обрабатываемых резанием / Остапчук А.К., Овсянников В.Е., Рогов Е.Ю.; заявитель и патентообладатель Уральский государственный университет путей и сообщения. – №2012611804; дата рег. 17.02.2012.

94. Рейш, А.К. Повышение износостойкости строительных и дорожных машин / А.К. Рейш. – М.: Машиностроение, 1988. – 178 с.

95. Репин, С.В. Методология совершенствования эксплуатации строительных машин на основе информационных технологий : дис. ... доктора тех-

нических наук : 05.05.04 / С.В. Репин: [Место защиты: С.-Петерб. гос. архитектур.-строит. ун-т]. – Санкт-Петербург, 2006. – 339 с.

96. Саати, Т.Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т.Л. Саати. – М.: Радио и связь, 1993. – 278 с.

97. Савинкин, В.В. Развитие теории энергоэффективности одноковшовых экскаваторов: дис. ... докт. техн. наук : 05.05.04 / В.В. Савинкин; [Место защиты: Сибирская гос. автод. академия]. – Омск, 2016. – 390 с.

98. Савинкин, В.В. Повышение долговечности восстановленных деталей элементов гидропривода строительно-дорожных машин: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.04 / В.В. Савинкин; [Место защиты: Сибирская гос. автод. академия]. - Омск, 2009. - 228 с.

99. Сафонов, И.А. Разработка термодинамической модели и исследование механизма формирования пассивной пленки на сплавах железо-хром и никель-хром применительно к нержавеющей сталям в воде высоких параметров : 05.17.03 / И.А. Сафонов; [Место защиты: МИСИС]. – Москва, 2011. – 180 с.

100. Сато, Ю. Обработка сигналов. Первое знакомство / Ю. Сато. – М.: Додэка-XXI, 2002. – 176 с.

101. Свидетельство об отраслевой регистрации разработки №10387. Вычисление взаимной корреляции v1.0. // Остапчук А.К., Овсянников В.Е., Рогов Е.Ю. – Зарегистрирован 18.04.2008.

102. Свидетельство об отраслевой регистрации разработки №10374. Расчет показателя Ляпунова v1.0. // Остапчук А.К., Овсянников В.Е., Рогов Е.Ю. – Зарегистрирован 18.04.2008.

103. Свидетельство об отраслевой регистрации разработки №10377. Фрактальный анализ временных рядов v1.0. // Остапчук А.К., Овсянников В.Е., Рогов Е.Ю. – Зарегистрирован 18.04.2008.

104. Свидетельство об отраслевой регистрации разработки №11738. Конвертация звукового файла в текстовый формат v1.0. // Остапчук А.К., Овсянников В.Е., Рогов Е.Ю. – Зарегистрирован 18.11.2008.

105. Свидетельство об отраслевой регистрации разработки №11371. Определение оптимального режима резания при точении v1.0. // Остапчук А.К., Овсянников В.Е., Рогов Е.Ю. – Зарегистрирован 12.09.2008.

106. Свидетельство об отраслевой регистрации разработки №19972. Виртуальный стенд для моделирования алгоритмов работы операторов технологических машин // Овсянников В.Е., Васильев В.И. – Зарегистрирован 16.02.2014.

107. Свидетельство об отраслевой регистрации разработки №19973. Оценка функционального состояния оператора // Овсянников В.Е., Васильев В.И. – Зарегистрирован 16.02.2014.

108. Сенин, П.В. Повышение надежности мобильной сельскохозяйственной техники при ее необезличенном ремонте: дис. ... доктора технических наук : 05.20.03 / П.В. Сенин; [Место защиты: Морд. гос. ун-т им. Н.П. Огарева]. – Саранск, 2000. – 352 с.

109. Серебровский, В.И. Электроосаждение двухкомпонентных покрытий на основе железа и их химико-термическая обработка для упрочнения и восстановления деталей машин: дис. ... доктора технических наук : 05.20.03 / В.И. Серебровский; [Место защиты: Курский гос. ун-т]. – Курск, 2004. – 371 с.

110. Синельников, А.Ф. Основы технологии производства и ремонт автомобилей / А.Ф. Синельников. – М.: Академия, 2010. – 412 с.

111. Синельников, А.Ф. Основы технологии производства и ремонта наземных транспортно-технологических машин и комплексов / А.Ф. Синельников. – М.: Академия, 2014. – 310 с.

112. Синельникова, В.С. Алюминиды / В.С. Синельникова. – Киев: Наукова думка, 1965. – 365 с.

114. Слинко, Д.Б. Обеспечение эффективности наплавочных технологий при упрочнении рабочих органов почвообрабатывающих машин / Д.Б. Слинко, Д.А. Капошко // Ремонт. Восстановление. Модернизация, 2018. – № 11. – С. 43 – 48.

115. Смоленцев, И.К. Основы теории вейвлетов. Вейвлеты в MATLAB / И.К. Смоленцев. – М.: ДМК Пресс, 2005. – 304 с.
116. Степанова, Т.Ю. Технологии поверхностного упрочнения деталей машин: учебное пособие / Т.Ю. Степанова. – Иван. гос. хим.-технол. ун-т.-Иваново, 2009. – 64с.
117. Строительный комплекс России [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.gks.ru/bgd/regl/B11_04/IssWWW.exe/Stg/d09/1-stroit.htm.
118. Тарасов, В.В. Исследование абразивной износостойкости серого чугуна с криогенным упрочнением / В.В. Тарасов и др. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://cryotech.ru/articles_and_publications/1118/.
119. Тененбаум, М. М. Сопротивление абразивному изнашиванию // М.М Тененбаум. – М.: Машиностроение ,1976. – 270 с.
120. Терехов, В.А. Нейросетевые системы управления: учебное пособие для вузов / В.А. Терехов, Д.В. Ефимов, И.Ю. Тюкин. – М.: Высш. Шк. 2002. – 183 с. ил.
121. Ткачев, В.Н. Методические рекомендации по исследованию износостойкости материалов рабочих органов почвообрабатывающих машин / В.Н, Ткачев. — М.: «ВИМ», 1998. – 32 с.
122. Ульман, И.Е. Ремонт машин / И.Е. Ульман. – М.: Колос, 1982. – 482 с.
123. Фёдоров, Д.И. Рабочие органы землеройных машин / Д.И. Федоров. – М.: Машиностроение, 1990. – 359 с.
124. Хандеев, Н.Т. Определение интенсивности изнашивания режущих элементов землеройных машин и дифференцирование норм их расхода с учетом грунтового фона: дис. ... кандидата технических наук : 05.05.04 / Н.Т. Хандеев; [Место защиты: Алма-атинский дорожный институт]. – Алма-Ата, 1984. - 227 с.
125. Хохлов, А.Л. Улучшение эксплуатационных показателей автомобилей нанесением покрытий на детали цилиндропоршневой группы бензино-

вых двигателей : дис. ... доктора технических наук : 05.20.03 / А.Л. Хохлов ; [Место защиты: Пензенский гос. агр. Ун-т]. – Пенза, 2017. – 318 с.

126. Хрущов, М.М. Исследования приработки подшипниковых сплавов и цапф / М.М. Хрущов. – М.-Л. 1946.

127. Черноиванов, В.И. Восстановление деталей машин (Состояние и перспективы) / В.И. Черноиванов, И.Г. Голубев. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2010. – 376 с.

128. Чудаков, К.П. Передовые методы ремонта строительных машин: Учебное пособие / К.П. Чудаков, И. В. Петров, А. М. Крылов. – М.: Профтехиздат, 1967. – 303 с.

129. Шадричев, В.А. Основы технологии автостроения и ремонт автомобилей / В.А. Шадричев. – М.: Машиностроение, 1976. – 560 с.

130. Шор, Я.Б. Статистические методы анализа и контроля качества и надёжности / Я.Б. Шор. – М.: Советское радио, 1962. – 553 с.

131. Штовба, С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB / С.Д. Штовба. – М.: Горячая линия Телеком, 2007. – 288 с.

132. Щербаков В.С. Снижение динамических воздействий на одноковшовый экскаватор : монография / В.С. Щербаков, П.А. Корчагин. – Омск: СибАДИ, 2000.– 147 с.

133. Cikara, D. Technological Principles of Making Wear Resistant, High-alloyed Cr-Mo steel castings, BSc thesis, Faculty of Technology and Metallurgy, University of Belgrade, 1988.

134. Fishman, S.G. and Dhingra, F.R. Cast Reinforced Metal Composites, ASM International, Detroit, 1998.

135. Hoxhlov, A.L. Laboratory researches of the metallized sleeves of cylinders / A.Sh.Nurutdinov, A.L.Hoxhlov, I.R. Salakhutdinov // Science and Education: Materials of the III international research and practice conference. - S. Munchen. - 2013. - P. 149-152.

136. Inamura T., Senda T., Sata T. Computer control of chattering in turning operation. Annals of the CIRP. Vol125/I, 1977 pp 181-186.

137. Influence of oxidized layer on the thermal factor of the piston of explosion engine / D.M. Maryin, A.L.Hokhlov, A.A. Glushchenko, D.A. Uhanov // Science and World. – Volgograd: Publishing House «Scientific survey», 2014. - No.1 (5), - P . 108-109.

138. Kirk D.E. Optimal Control Theory. An introduction. – Dover Publication Inc., Mineola, New York, 2004.

139. Kohonen T. Self-organizing maps/ TeuvoKohonen. – 3 ed. – Berlin; Heidelberg; New York; Barcelona; Hong Kong; London; Milan; Paris; Singapore; Tokyo; Springer, 2001.

140. Metallization of a working surface of a sleeve of cylinders // A.Sh.Nurutdinov, A.L.Hokhlov, I.R. Salakhutdinov, A.A.Hokhlov // Modern Scientific Achievements - 2013: materials IX of the international scientific and practical conference. –Czech Republic: Prague, 2013. – P . 3-6.

141. Mortensen A. and Clynn, T.W. Metal-matrix composites: Challenges and opportunities in European White Book on Fundamental Research in Material Science, Max-Planck-Institut für Metallforschung, Stuttgart, pp. 210-213, 2001.

142. Ovsyannikov V.E. Surface hardening of parts from ferrite-pearlite gray iron / Ovsyannikov V.E., Gurevich Y.G., Marfitsyn V.V., Frolov V.A. // Metal science and heat treatment. – 2011. – pp. 318-321.

143. Ovsyannikov V.E. Development of technology for strengthening gray iron components by heating with iron scale / Ovsyannikov V.E., Gurevich Y.G, Frolov V.A. // Metallurgist. – 2012. – pp. 526-529.

144. Ovsyannikov V.E. Diffusion chromizing of grey iron by reaction with chromiumoxide /Ovsyannikov V.E., Gurevich Y.G, Frolov V.A. // Metallurgist. – 2012. – pp. 854-858.

145. Ovsyannikov V.E. Using surface diffusion hardening in the manufacturing and repair technology of industrial vehicle components / Ovsyannikov V.E., Vasiliev V.I., Ziganshin R.A. // International journal of mechanical engineering and technology. – 2017. - №9. –pp. 399-406.

146. Ovsyannikov V.E. Determination of quenching modes after thermomodification hardening of parts from gray cast iron / Ovsyannikov V.E., Vasiliev V.I., Nekrasov R.Yu // Proceeding of the international conference issues of mechanical engineering (AIME). – 2017. – pp. 537-542.

147. Ovsyannikov V.E. Peculiar features of formation of surface roughness profile upon mechanical processing of iron parts of handling machines after diffusion alloying / Ovsyannikov V.E., Vasiliev V.I., Ziganshin R.A., Terekhov A.S. // International journal of mechanical engineering and technology. – 2018. – №3. – pp. 1061-1067.

148. Ovsyannikov V.E. Influence of diffusional surface alloying on the hardened-layer thickness for gray-iron machine parts / Ovsyannikov V.E., Vasiliev V.I., Nekrasov R.Y, Tempel Y.A. // Russian engineering research. – 2018. – №48 – pp. 901-903.

149. Roethel F., Dobovsek M., Grabes I. Acoustic Emission of Grinding. *Strojniskivestnik – Mechanical journal*, Ljubljana. Vol 23. №11-22 pp 1-5, 1977.

150. Ross S.M. *Stochastic Processes. Second Edition.* – New York – Chichester – Brisbane – Toronto – Singapore, 1997.

151. Ruelle D. *Chance and Chaos.* – Princeton University Press, 1991.

152. Tabor M. *Chaos and Integrability in nonlinear dynamics an introduction.* – Columbia University New York, New York. – 1988.

Приложения

Приложение А
АКТЫ О ВНЕДРЕНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ
(обязательное)

УТВЕРЖДАЮ
 Первый проректор Курганского
 государственного университета
 канд. техн. наук, доцент Т.Р. Змызгова

_____ 2021 г.



АКТ
 о внедрении в учебный процесс кафедры «Автомобильный транспорт»
 результатов диссертационной работы Овсянникова В.Е.

Комиссия в составе директора политехнического института КГУ кандидата технических наук, доцента Давыдовой М.В., заведующего кафедрой «Автомобильный транспорт» кандидата технических наук, доцента Шабурова В.Н., кандидата технических наук, доцента Вершининой О.Г. составила настоящий акт о том, что результаты докторской диссертации Овсянникова В.Е. используются в учебном процессе для подготовки бакалавров и магистров по направлениям подготовки 23.03.03 – «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» (направленность подготовки: Автомобильный сервис) и 23.04.03 – «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» (направленность: Автомобильное хозяйство и сервис).

Результаты теоретических и экспериментальных исследований, выполненных Овсянниковым В.Е., применяются при чтении лекций, проведении практических и лабораторных работ по дисциплинам «Основы работоспособности технических систем», «Основы технологии производства и ремонта транспортно-технологических машин и комплексов», «Методы восстановления деталей и сборочных единиц при сервисном обслуживании», «Современные направления развития ТО и ремонта транспортно-технологических машин и комплексов», «Инновационные технологии и их применение на транспорте», а также в процессе курсового и дипломного проектирования.

Настоящий акт утвержден на заседании кафедры «Автомобильный транспорт», протокол № 1 от 28.08.2021 года.

Председатель комиссии, директор
 Политехнического института КГУ,
 канд. техн. наук, доцент

Давыдова М.В.

Члены комиссии:
 канд. техн. наук, доцент
 канд. техн. наук, доцент

Вершинина О.Г.
 Шабуров В.Н.

Продолжение прил. А

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе
ФГБОУ ВО «СибАДИ»
 С.В. Мельник
« 10 » 12 2021г.



АКТ

О внедрении результатов диссертационной работы Овсянникова В.Е. по теме «Повышение долговечности рабочего оборудования строительно-дорожных машин» в учебный процесс

Настоящим актом подтверждается внедрение в учебный процесс, осуществляемый в федеральном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)» созданных на основе результатов, полученных в ходе выполнения научно-исследовательской (диссертационной) работы, учебных пособий:

- Овсянников, В.Е. Промышленные технологии и инновации в автомобиле и тракторостроении: Учебное пособие / Овсянников В.Е., Орлов В.Н., Шпитко Г.Н. – Курган: Изд-во Курганского гос. ун-та, 2014.- 154 с.

- Овсянников, В.Е. Технические и инженерно-психологические основы проектирования машин: Учебное пособие / В.Е. Овсянников, В.И. Васильев, Г.Н. Шпитко. – Курган: Изд-во Курганского гос. ун-та, 2014.- 102 с.

Указанные издания используются студентами, обучающимися по направлениям подготовки 23.03.02 «Наземные транспортно-технологические комплексы», 23.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства» при изучении дисциплин «Конструкция и теория наземных транспортно-технологических машин. Строительные и дорожные машины», «Основы технологии машиностроения и производства транспортно-технологических машин», «Технические основы создания машин» и «Основы технологии машиностроения. Производство подъемно-транспортных, строительных и дорожных машин».

Зав. кафедрой «Подъемно-транспортные
машины, механика и гидропривод»
д.т.н., проф.



Н.С. Галдин

Продолжение прил. А

АКТ

Об использовании результатов диссертационной работы
на соискание ученой степени доктора технических наук

Овсянникова Виктора Евгеньевича

Настоящий акт составлен о том, что результаты научно-исследовательской работы соискателя ученой степени доктора технических наук Овсянникова Виктора Евгеньевича приняты к внедрению на АО «Курганский завод дорожных машин».

Описание деталей, входящих в состав приводов строительно-дорожных машин

В конструкциях приводов строительно-дорожных машин весьма распространенными элементами являются пары «втулка-палец», которые являются опорами движущихся частей машин. Для повышения долговечности таких пар используются методы поверхностного упрочнения.

Использование втулок из серого чугуна с упрочненным слоем, легированным хромом или молибденом дает следующие преимущества по отношению к традиционным методам упрочнения:

- толщина упрочненного слоя на порядок выше, чем при цементации, что позволяет производить ремонтное растачивание деталей без повторного упрочнения;

- обратный характер распределения микротвердости в слое дает возможность повысить надежность пары трения за счет благоприятного характера износа;

- втулки из серого чугуна с упрочненным слоем на 15-35% дешевле втулок из стали.

В результате внедрения опор движущихся частей машины с втулками из серого чугуна с упрочненным слоем имеется возможность:

Продолжение прил. А

- Повысить долговечность и надежность узлов;
- Повысить эффективность ремонта и восстановления при обработке в ремонтный размер;
- Снизить затраты на изготовление втулок на 15-35%.

Генеральный директор



Федулов М.В.

Продолжение прил. А

АКТ

Производственных испытаний износостойких элементов защиты ковшей
мини-погрузчиков, разработанных в рамках диссертационной работы
Овсянникова Виктора Евгеньевича

Комиссия в составе:

Председатель - Главный инженер Кисленко Сергей Петрович

Члены комиссии:

Главный конструктор Сунгуров Илья Владимирович

Главный технолог Брюхов Владимир Анатольевич

Начальник бюро надежности Михалев И.И.

составила настоящий акт о том, что разработанные в диссертационной работе
Овсянникова В.Е. износостойкие элементы защиты ковшей мини-
погрузчиков, прошли производственные испытания. Ковши устанавливаются
на мини-погрузчики Termit 1000. Испытания проходили в ходе выполнения
работ по перегрузке щебня при дорожном строительстве.

В результате испытаний установлено, что использование износостойких
элементов защиты ковшей мини-погрузчиков позволяет повысить
долговечность рабочих органов по сравнению с традиционными
конструкциями из стали 110Г13Л на 15-30%.

Председатель:

Главный инженер

Кисленко С. П.

Члены комиссии:

Главный конструктор

Сунгуров И. В.

Главный технолог

Брюхов В. А.

Начальник бюро надежности

Михалев И.И.

Продолжение прил. А

Общество с ограниченной ответственностью
«РЕГИОНАЛЬНАЯ ТРАНСПОРТНАЯ КОМПАНИЯ»

АКТ

Об использовании результатов диссертационной работы на соискание ученой степени доктора технических наук Овсянникова Виктора Евгеньевича


Настоящий акт составлен о том, что результаты научно-исследовательской работы соискателя ученой степени доктора технических наук Овсянникова Виктора Евгеньевича приняты к внедрению на ООО «Региональная транспортная компания» в виде методики определения потребности в запасных частях для рабочих органов специальной техники.

Описание разработанной методики прогнозирования надежности рабочих органов строительно-дорожных машин

Разработанная методика дает возможность оценивать динамику изнашивания режущей кромки рабочих органов строительно-дорожных машин (зубьев ковшей экскаваторов, ножей бульдозеров и т.д.). На основе учета динамики износа при работе, как с насыпными, так и со связными грунтами имеется возможность прогнозировать надежность рабочих органов до 1.5 раз точнее по сравнению с традиционными методиками. Использование предлагаемой методики позволяет прогнозировать наступление предельного состояния и своевременно планировать замену режущих элементов рабочих органов строительно-дорожных машин.

Директора  Жданов А.А.
М.П. 

Продолжение прил. А


СпецТехСервис

Общество с ограниченной ответственностью «СпецТехСервис»
 117114, Москва, ул. Давыдовская, дом 2, корпус 5
 ИНН 50/01 000127946, ОГРН/ОГРНИП 1045003000127
 Тел: +7(919)777-15-85, сайт: www.sts-service.ru

АКТ


Об использовании результатов диссертационной работы на соискание ученой степени доктора технических наук
 Овсянникова Виктора Евгеньевича


Комиссия в составе: председатель Евдокимов И.В. – генеральный директор
 члены Кальменев Д.А. – технический директор
 Николаев С.С. – зам. генерального директора
 Евсеев Ю.А. – руководитель СЦ

составила настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы на соискание ученой степени доктора технических наук в части разработки технологии производства и ремонта втулок шарниров рабочего оборудования из чугуна внедрены в виде технических предложений, включенных в перспективный план развития.

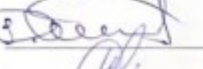
Использование указанных разработок позволит увеличить долговечность шарниров рабочего оборудования при производстве и в условиях ремонта. Кроме того, применение материалов с упроченным слоем, имеющим обратное распределение твердости по толщине слоя, дает возможность получить благоприятный характер изнашивания и позволит повысить долговечность на 20-30%.

Подписи членов комиссии:







(Евдокимов И.В.)



(Кальменев Д.А.)



(Николаев С.С.)



(Евсеев Ю.А.)

✉ sts-service.co@yandex.ru

☎ +7(919)777-15-85

📞 +7(919)777-15-85



Общество с ограниченной ответственностью «СпецТехСервис»
107044, Москва, ул. Аэропортская, дом 1, стр. 1004
ИНН 77/05127945 ОГРН 1077704099344
тел. +7(919)777-15-85 www.sts-service.ru

АКТ

О принятии к внедрению результатов диссертационной работы
Овсянникова Виктора Евгеньевича

Комиссия в составе: председатель Евдокимов И.В. – генеральный директор
члены Кальменев Д.А. – технический директор
Николаев С.С. – зам. генерального директора
Евсеев Ю.А. – руководитель ЦС

составила настоящий акт о том, что разработанные в диссертационной работе
Овсянникова В.Е. износостойкие элементы защиты рабочих органов
строительно-дорожных машин приняты к внедрению на «СпецТехСервис».

Описание конструкции износостойких защитных элементов

Износостойкие элементы защиты рабочих органов строительно-дорожных
машин выполнены из чугуна с поверхностным упрочнением. При этом
толщина упроченного слоя составляет до 3 мм. Защитные элементы могут
быть установлены на рабочие органы машин, в частности режущие элементы
ковшей посредством ручной дуговой сварки.

Преимущества износостойких элементов по сравнению с аналогами:


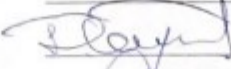


- использование более дешевых марок серого чугуна вместо легированных износостойких чугунов;
- отсутствие необходимости использовать дорогостоящее оборудование (лазеры, реакторы и т.д.);
- получение твердости, износостойкости и прочности деталей, сопоставимой с износостойкими марками чугунов и сталь 110Г13Л;

В результате внедрения данной методики становится возможным:

- повышение долговечности рабочих органов до 25%;
- возможность оперативного ремонта рабочих органов в полевых условиях.

Подписи членов комиссии:



 (Евдокимов И.В.)
 (Кальменев Д.А.)
 (Николаев С.С.)
 (Евсеев Ю.А.)

Продолжение прил. А



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ
ТЮМЕНСКАЯ ОБЛАСТЬ
Акционерное Общество Тюменское областное
дорожно-эксплуатационное предприятие
ДОРОЖНОЕ РЕМОНТНО-СТРОИТЕЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ-4

627070 с.Омутинское
ул.Привокзальная, 104
Тел: (34544) 3-22-54
Факс: (34544) 3-22-54

ИНН 7203175930 КПП 723150001
ОКПО 03435419, ОГРН 1067203269726
р/сч 40702810167210100961
Западно-Сибирский банк СБ РФ г.Тюмени
к/с 30101810800000000651 БИК 047102651

06.10.2021г.

№ 147

АКТ

Об использовании результатов диссертационной работы на соискание ученой степени доктора технических наук
Овсянникова Виктора Евгеньевича

настоящий акт удостоверяет, что результаты диссертационной работы на соискание ученой степени доктора технических наук в части разработки технологии ремонта режущих элементов рабочих органов строительно-дорожных машин с использованием износостойких вставок из серого чугуна с упрочненным слоем, приняты к внедрению в виде технических предложений, включенных в перспективный план развития предприятия.

Использование указанных разработок позволит увеличить ресурс работы режущих элементов рабочих органов строительно-дорожных машин после ремонта и восстановления за счет закрепления на них износостойких элементов. Применение материалов с упрочненным слоем позволяет повысить долговечность после ремонта на 20-30%.

Директор ДРСУ-4 АО «ТОДЭП»



А.В.Патлин

Продолжение прил. А

ИНН 4501194594 КПП 450101001 ОГРН 1144501003338

**Общество с ограниченной ответственностью
« Зауральский Инструментальный Завод »**



Утверждаю
Директор ООО «ЗИЗ»
Терещенко В.Ю.

« 1 » 05 2016 г.

АКТ

Производственных испытаний методики прогнозирования ресурса работы режущего инструмента, используемого при изготовлении и ремонте деталей автотранспортных средств и строительного дорожных машин, полученной в рамках диссертационной работы Овсянникова Виктора Евгеньевича

Комиссия в составе: председатель Главный Инженер Терещенко Ю.Ю.

члены:

Зам Директора по производству Сидельников В.В.

Зам Директора по качеству Кайзер А.И.

составила настоящий акт о том, что разработанная в диссертационной работе Овсянникова В.Е. методика прогнозирования ресурса работы режущего инструмента, используемого при изготовлении и ремонте деталей автотранспортных средств и строительного дорожных машин, прошла производственные испытания.

В результате испытаний установлено, что применение данной методики позволяет достоверно производить оценку степени износа режущего инструмента в процессе обработки и прогнозировать ресурс его работы.

председатель Главный Инженер

Терещенко Ю.Ю.

члены:

Зам Директора по производству

Сидельников В.В.

Зам Директора по качеству

Кайзер А.И.



Приложение Б
ПАТЕНТЫ РФ
(обязательное)

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11)**200 311** ⁽¹³⁾ **U1**(51) МПК
E02F 9/28 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
E02F 9/28 (2020.08); *E02F 9/2808* (2020.08)

(21)(22) Заявка: 2020113147, 26.03.2020

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
26.03.2020Дата регистрации:
16.10.2020Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: 26.03.2020

(45) Опубликовано: 16.10.2020 Бюл. № 29

Адрес для переписки:
640000, г. Курган, ул. Ленина, 30а, кв. 27,
Овсянникову Виктору Евгеньевичу

(72) Автор(ы):

Овсянников Виктор Евгеньевич (RU),
Васильев Валерий Иванович (RU)

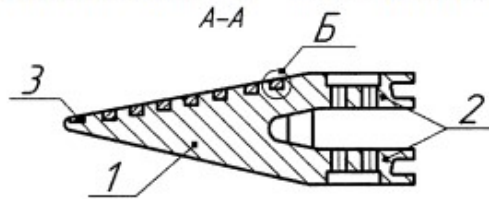
(73) Патентообладатель(и):

Овсянников Виктор Евгеньевич (RU),
Васильев Валерий Иванович (RU)(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2107779 C1, 27.03.1998. RU 39148
U1, 20.07.2004. RU 45741 U1, 27.05.2005. RU
2269628 C2, 10.02.2006. CN 206090687 U,
12.04.2017.(54) **Зуб ковша экскаватора**

(57) Реферат:

Зуб ковша экскаватора содержит корпус, хвостовик, изготовленные из стали, и вставки, выполненные в виде мелких деталей из серого чугуна, подвергнутого термодиффузионному упрочнению, в форме параллелепипеда размерами

30×30×8 мм, с упрочненным слоем толщиной от 1.5 до 2.5 мм и слоем чистого феррита на поверхности вставки на всех гранях вставки, что позволяет повысить ресурс работы за счет теневого эффекта и самозатачивания.



Фиг. 2

RU 200311 U1

RU 200311 U1

RU 200 311 U1

Полезная модель относится к машиностроению и может быть использована в конструкциях зубьев ковшей экскаваторов.

Известен зуб рабочего органа землеройной машины, содержащий хвостовик, корпус и твердосплавную вставку (RU №129374, E02F 9/28).

5 Недостатком данной конструкции является небольшой срок службы зубьев рабочего органа землеройной машины.

Наиболее близким аналогом по совокупности существенных признаков является зуб ковша экскаватора, включающий корпус, хвостовик, выполненные из стали, и вставку. Вставка выполнена в виде мелких деталей из износостойкого чугуна
10 параллелепипедной и цилиндрической формы с обратной конусностью и расположенных внутри стальной основы по рабочим поверхностям. Вставки параллелепипедной формы расположены в острие зуба в один ряд с интервалом 0,5-1,5 их ширины, а цилиндрические - равномерно на остальной рабочей поверхности в рядах с межцентровым расстоянием, равным 1,5-3,0 диаметрам вставок (RU №2269628, 01.12.2003, E02F 9/28).

15 Недостатками указанного выше технического решения являются невысокий срок службы зуба землеройной машины и невысокий эффект самозатачивания. Это объясняется следующим.

В конструкции зуба (прототип) используются вставки из износостойкого чугуна, причем зуб изготавливается как армированная отливка. В качестве армирующих
20 элементов используются вставки из износостойкого чугуна, которые заливаются расплавленной сталью. Однако чугун имеет температуру плавления до 1200°C, а сталь от 1350°C. Это приведет к тому, что произойдет расплавление поверхностного слоя вставки и снижение износостойкости.

В конструкции зуба (прототип) предлагается использовать вставки в виде цилиндра
25 диаметром 30 мм и параллелепипеда с размерами 20×30×10 мм. Применение вставок данной формы не является оптимальным, т.к. с одной стороны усложняет процесс изготовления зуба в связи с необходимостью производства вставок разной формы. А с другой, при использовании вставок цилиндрической формы площадь контакта с абразивной средой снижается, что в свою очередь негативно сказывается на
30 износостойкости.

Для увеличения срока службы зуба землеройной машины и обеспечения эффекта самозатачивания предлагается зуб ковша экскаватора, включающий корпус, хвостовик, изготовленные из стали, и вставки. Вставки расположены только на одной стороне
35 зуба и выполнены в виде мелких деталей из серого чугуна в форме параллелепипеда размерами 30×30×8 мм, с упрочненным слоем толщиной от 1.5 до 2.5 мм, и слоем чистого феррита на поверхности вставки на всех гранях вставки.

На фиг. 1 изображен зуб ковша экскаватора (вид сверху). На фиг. 2 изображен зуб в разрезе А-А. На фиг. 3 приведена структура износостойкой вставки. На поверхности вставки имеется слой чистого феррита (поз. 4 фиг. 3), под ним располагается
40 упрочненный слой с перлитной структурой (поз. 5 фиг. 3) и сердцевина из серого чугуна (поз. 6 фиг. 3).

Зуб ковша экскаватора состоит из корпуса 1, хвостовика 2 и износостойких вставок 3. При этом вставки расположены только на одной стороне зуба, что позволяет добиться эффекта самозатачивания. Вставки изготовлены из серого чугуна, подвергнутого
45 термодиффузионному упрочнению посредством нагрева в контакте с оксидом легирующего элемента. Термодиффузионное упрочнение серого чугуна (RU 2493289, 24.04.2012, C23C 10/36) позволяет получать на поверхности чугуна слой чистого феррита с содержанием легирующего элемента до 25%. При этом температура плавления данного

RU 200 311 U1

слоя превышает 1400°C, что дает возможность избежать расплавления поверхностного слоя износостойкой пластины при изготовлении зуба. Под слоем чистого феррита располагается слой перлитной структуры (соответствующий высокоуглеродистой стали) с включениями графита толщиной до 2,5 мм. Полученная структура позволяет
5 сочетать высокую степень сопротивления абразивному износу характерную для чугуна (т.к. в структуре присутствуют включения графита), а также обеспечивает повышенную работоспособность в условиях циклических нагрузок и удара (т.к. упроченный слой имеет перлитную структуру). Дополнительным преимуществом является ускорение процесса приработки зуба за счет быстрого изнашивания ферритного слоя на
10 поверхности износостойкой вставки.

При этом износостойкие вставки имеют форму параллелепипеда с размерами 30×30×8 мм (при этом площадь вставки на 25% больше, чем цилиндрической, а возможность
15 расположения вставок по поверхности зуба остается той же). Причем упроченный слой нанесен на вставки со всех сторон. При этом первый ряд вставок расположен с интервалом 0,5-1,5 ширины вставки, а последующие - равномерно в рядах с межцентровым расстоянием, равным 1,5-3,0 ширины вставки. Такая форма и
расположение вставок дает возможность защитить поверхность зуба от истирания на протяжении всего периода износа вставок по толщине за счет теневого эффекта.

20 Применение предлагаемой конструкции зуба ковша экскаватора дает возможность повысить ресурс работы зуба более чем в 2 раза и получить более высокий эффект самозатачивания.

(57) Формула полезной модели

25 Зуб ковша экскаватора, включающий корпус, хвостовик, изготовленные из стали, и вставки, отличающийся тем, что вставки расположены только на одной стороне зуба и выполнены в виде мелких деталей из серого чугуна в форме параллелепипеда размерами 30×30×8 мм, с упроченным слоем толщиной от 1,5 до 2,5 мм, и слоем чистого феррита на поверхности вставки на всех гранях вставки.

30

35

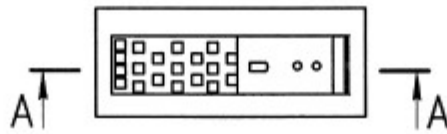
40

45

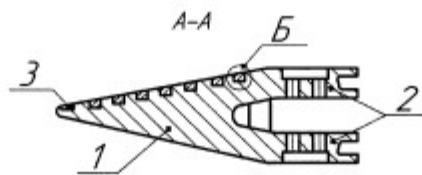
Продолжение прил. Б

RU 200 311 U1

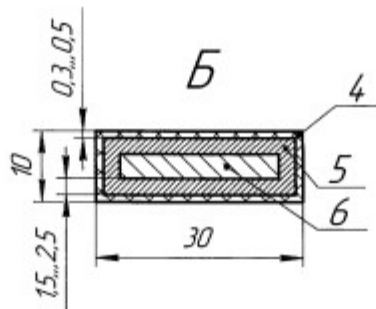
1



Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3

Продолжение прил. Б

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11)**200 310**⁽¹³⁾ **U1**(51) МПК
E02F 7/04 (2006.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ**(52) СПК
E02F 7/04 (2020.08)

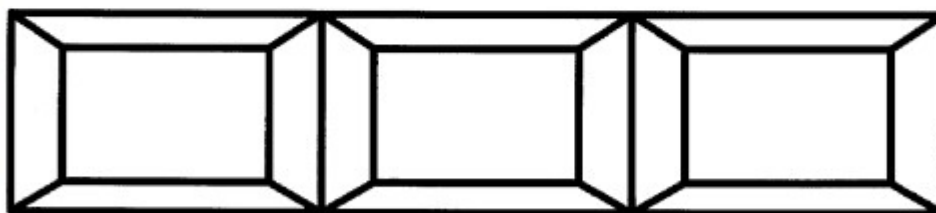
(21)(22) Заявка: 2020113145, 26.03.2020

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
26.03.2020Дата регистрации:
16.10.2020Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: 26.03.2020

(45) Опубликовано: 16.10.2020 Бюл. № 29

Адрес для переписки:
640000, г. Курган, ул. Ленина, 30а, кв. 27,
Овсянникову Виктору Евгеньевичу(72) Автор(ы):
Овсянников Виктор Евгеньевич (RU),
Васильев Валерий Иванович (RU)(73) Патентообладатель(и):
Овсянников Виктор Евгеньевич (RU),
Васильев Валерий Иванович (RU)(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2669704 C2, 15.10.2018. EA 28802
B1, 31.01.2018. RU 2683607 C2, 29.03.2019. RU
2666820 C2, 12.09.2018. EP 2149639 A1,
03.02.2010. GB 2288376 A, 18.10.1995.

(54) Защита ковша экскаватора

(57) Реферат:
Защита ковша экскаватора предназначена для
использования в конструкциях ковшей
экскаваторов и включает основание и рабочие
части, выполненные в виде плиток,
изготовленных из серого чугуна, закрепленные
на основании дуговой сваркой, основание ирабочая часть на верхней и нижней гранях имеют
упрочненный слой толщиной от 1,5 до 3 мм, и
ферритную кайму, находящуюся на поверхности
сплава, что позволит повысить ресурс работы на
15-25% за счет наличия упрочненного слоя
толщиной до 12 мм.

Фиг. 1

RU 200310 U1

RU 200310 U1

RU 200 310 U1

Полезная модель относится к машиностроению и может быть использована в конструкциях ковшей машин для разработки грунта, в частности экскаваторов.

Известны защитные системы ковшей экскаваторов и погрузчиков, (футеровочные плиты) изготавливаемые Компанией «FKGroup»

5 (utterkraft.ru/zaschity-kovshey-eksikatorov-i-pog).

Недостатками являются невысокий срок службы защитных систем ковша и сложность процесса монтажа и демонтажа футерующих элементов.

Наиболее близким аналогом по совокупности существенных признаков является защита ковша экскаватора футерующими элементами из биметалла установкой плитки
10 для защиты дна ковша экскаватора (<https://grs-ufa.ru/prodaga-techniki/navesnoe-oborudovanie/kovshi-ryhliteli-i-udliniteli/futeruyushchie-elementy-iz-bhch>).

Недостатками указанного выше технического решения являются недостаточно
высокий срок службы защитных систем ковша и сложность процесса монтажа и
демонтажа футерующих элементов. В футерующих элементах используется
15 биметаллические пластины, верхний слой которых изготовлен из белохромистого
чугуна, а нижний слой из стали 3. При этом белохромистый чугун обеспечивает
сопротивление износу, а стальная подложка используется для образования сварного
соединения со стенками ковша. При изготовлении данных элементов требуется сложная
технология наплавки чугуна на стальную основу. При изнашивании верхнего слоя из
20 белохромистого чугуна, оставшаяся стальная накладка не обеспечивает должной
защиты от износа, следовательно, возникает необходимость в ее удалении, для
последующей установки нового элемента футеровки.

Для увеличения срока службы ковша и упрощения процесса монтажа и демонтажа
футерующих элементов предлагается защита ковша экскаватора, включающая
25 основание, выполненное из серого чугуна, закрепленное на ковше сваркой и рабочие
части, выполненные в виде плиток, изготовленных из серого чугуна, закрепленные на
основании посредством сварки. Основание и рабочая часть на верхней и нижней гранях
имеют упрочненный слой толщиной 1.5...3 мм, и ферритную кайму, находящуюся на
поверхности сплава, при этом основание и рабочая часть соединены посредством
30 дуговой сварки.

Защита ковша экскаватора изображена на фиг. 1, изображена рабочая часть (вид
сверху), выполненная в виде плитки; на фиг. 2 изображена плитка в разрезе. Защита
ковша экскаватора включает в себя основание 1 и рабочую часть 2 (фиг 2), которые
соединены между собой посредством сварного соединения 5. На основание 1
35 приваривают ручной дуговой сваркой плитки 2 для защиты дна ковша экскаватора.

Основание и рабочая часть изготовлены из серого чугуна, подвергнутого
термодиффузионному упрочнению посредством нагрева в контакте с оксидом
легирующего элемента (титана, хрома или молибдена). Данная обработка (RU 2493289,
24.04.2012, С23С 10/36) позволяет получать на поверхности чугуна слой чистого феррита
40 с содержанием легирующего элемента до 25% (поз. 3, фиг. 2). Наличие данного слоя
дает возможность сваривать элементы между собой посредством ручной дуговой сварки
с катетами шва до 2.5 мм. Под слоем чистого феррита располагается слой перлитной
структуры (соответствующий высокоуглеродистой стали) с включениями графита
толщиной до 2.5 мм (поз. 4, фиг. 2). Данная структура обеспечивает сопротивление
45 износу и защиту от ударных нагрузок.

Увеличение ресурса работы на 15-25% футерующих элементов достигается за счет
того, что упрочненный слой наносится на верхнюю и нижнюю стороны как основания,
так и рабочей части элемента. При этом суммарная толщина упрочненного слоя

Продолжение прил. Б

RU 200 310 U1

составляет 12 мм.

(57) Формула полезной модели

5 Защита ковша экскаватора, включающая основание, закрепленное на ковше сваркой, и рабочие части, закрепленные на основании, выполненные в виде плиток, отличающаяся тем, что основание и рабочая часть изготовлены из серого чугуна, на верхней и нижней гранях имеют упрочненный слой толщиной 1.5...3 мм, и ферритную кайму, находящуюся на поверхности сплава, при этом основание и рабочая часть соединены посредством дуговой сварки.

10

15

20

25

30

35

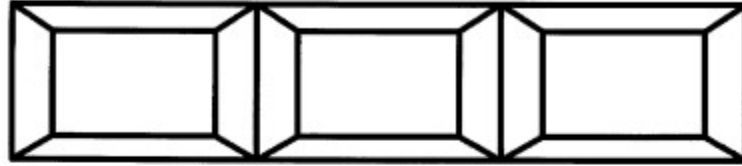
40

45

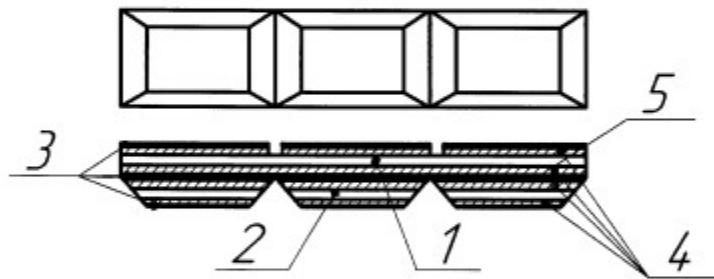
Продолжение прил. Б

RU 200 310 U1

1



Фиг. 1



Фиг. 2

Продолжение прил. Б

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(19) **RU** (11) **2 614 227**⁽¹³⁾ **C1**

(51) МПК
B22F 9/16 (2006.01)
C21B 11/00 (2006.01)
C21D 6/00 (2006.01)
C21B 3/00 (2006.01)
C21C 1/08 (2006.01)

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2015142310, 05.10.2015

(24) Дата начала отчета срока действия патента:
05.10.2015Дата регистрации:
23.03.2017Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: 05.10.2015

(45) Опубликовано: 23.03.2017 Бюл. № 9

Адрес для переписки:
640669, г. Курган, ул. Гоголя, 25, Курганский
государственный университет, НИО

(72) Автор(ы):

Овсянников Виктор Евгеньевич (RU),
Фролов Виктор Александрович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования
"Курганский государственный университет"
(RU)(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: SU 129306 A1, 10.10.1960. SU 706193
A1, 30.12.1979. UA 61689 A, 15.11.2003. WO
1992013664 A1, 20.08.1992.

(54) Способ получения дробы из чугуна посредством переработки стальной стружки

(57) Реферат:

Изобретение относится к металлургии, а именно к получению чугунной дробы. Стальную стружку смешивают с графитом, смесь размещают в отверстиях фильеры и нагревают в печи до температуры 1150-1200°C, обеспечивают науглероживание стали с превращением ее в

чугун, расплавляют чугун, а затем проводят охлаждение его в воде с получением дробы. Обеспечивается переработка стальной стружки с получением дробы со структурой белого чугуна. 2 ил., 1 пр.

RU 2 614 227 C1

RU 2 614 227 C1

Продолжение прил. Б

RUSSIAN FEDERATION

FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY(19) **RU** (11) **2 614 227**⁽¹³⁾ **C1**(51) Int. Cl.
B22F 9/16 (2006.01)
C21B 11/00 (2006.01)
C21D 6/00 (2006.01)
C21B 3/00 (2006.01)
C21C 1/08 (2006.01)(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2015142310, 05.10.2015

(24) Effective date for property rights:
05.10.2015Registration date:
23.03.2017Priority:
(22) Date of filing: 05.10.2015

(45) Date of publication: 23.03.2017 Bull. № 9

Mail address:
640669, g. Kurgan, ul. Gogolya, 25, Kurganskij
gosudarstvennyj universitet, NIO

(72) Inventor(s):

Ovsyannikov Viktor Evgenevich (RU),
Frolov Viktor Aleksandrovich (RU)

(73) Proprietor(s):

Federalnoe gosudarstvennoe byudzhetnoe
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego
professionalnogo obrazovaniya "Kurganskij
gosudarstvennyj universitet" (RU)(54) **METHOD OF SHOT PRODUCTION FROM CAST IRON BY PROCESSING STEEL CHIP**

(57) Abstract:

FIELD: metallurgy.

SUBSTANCE: steel chip is mixed with graphite,
the mixture is placed in the holes of the die and heated
in the oven upto the temperature of 1150-1200°C,
providing carburization of steel to convert it into thecast iron, melting the cast iron, and then perform its
cooling in water to obtain the shot.EFFECT: it is provided the processing of steel chips
to produce the shot with the structure of white cast iron.
2 dwg, 1 ex

R U 2 6 1 4 2 2 7 C 1

R U 2 6 1 4 2 2 7 C 1

RU 2 614 227 C1

Изобретение относится к металлургии, а именно к получению дроби из чугуна.

Металлическая дробь нашла достаточно широкое применение. Одним из наиболее часто используемых на практике методов получения дроби, является метод, основанный на расплавлении металла, разделении струи металла на части, объем которых
5 соответствует дроби и охлаждению в воде или другой среде. С другой стороны, проблема переработки отходов машиностроения (стальной стружки) является весьма острой, поэтому решение задачи по получению дроби из стружки является актуальным и может принести определенный эффект.

Известен способ получения чугунной металлической дроби (SU №706193, 30.12.79, В22D 23/08), который предполагает распыление струи расплавленного металла газом.
10 К основным недостаткам данного способа можно отнести необходимость в специальном оборудовании для плавления и распыления струи металла, а также невозможность использования стальной стружки в качестве сырья.

Наиболее близким аналогом по совокупности существенных признаков является способ получения металлической дроби (RU 2063305, В22F 9/06, 10.07.96). В рамках
15 данного способа также предполагается получение струи расплавленного металла, с последующим его разделением при помощи фильеры с калиброванными отверстиями. Однако данный способ также не позволяет применять стружку в качестве сырья.

Задачей, на решение которой направлено заявленное изобретение, является создание
20 способа получения чугунной дроби посредством переработки отходов производства (стальной стружки).

Суть предлагаемого технического решения заключается в том, что стальная стружка подвергается нагреву при температуре 1150-1200°C в контакте с графитом. При этом происходит науглероживание, превращение стали в чугун и расплавление. После
25 расплавления осуществляется охлаждение в воде с получением структуры белого чугуна.

Пример выполнения способа получения дроби из стальной стружки.

На дно контейнера 1 засыпался песок и укладывалась фильера 2, в отверстия которой помещалась смесь стружки и графита. Фильера также сверху засыпалась песком (фиг. 1). Контейнер нагревался до температуры 1150-1200°C в печи, после чего содержимое
30 охлаждалось в воде. В результате была получена дробь (фиг. 2). Измерения твердости показали, что она соответствует белому чугуну.

Предлагаемый способ получения дроби из стальной стружки дешевле и проще аналогов, т.к.:

- не требует специального оборудования для распыления струи металла;
- 35 - способ реализуется при температуре 1150-1200°C, а значит, не требует металлургических печей для плавления металла;
- в качестве исходного сырья используются отходы производства.

(57) Формула изобретения

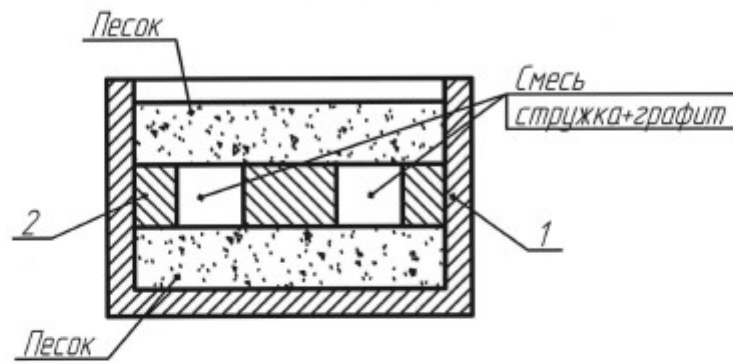
40 Способ получения чугунной дроби из стальной стружки, отличающийся тем, что стальную стружку смешивают с графитом, смесь размещают в отверстиях фильеры и нагревают в печи до температуры 1150-1200°C, обеспечивают науглероживание стали с превращением ее в чугун, расплавляют чугун, а затем проводят охлаждение его в воде с получением дроби.

45

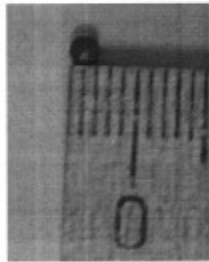
RU 2 614 227 C1

1

Способ получения дробь из чугуна посредством
переработки стальной стружки



Фиг 1 – Схема реализации способа



Фиг 2 – Получаемая дробь

Продолжение прил. Б

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ(19) **RU** (11) **166 356**⁽¹³⁾ **U1**
(51) МПК
B23B 25/06 (2006.01)

(12) ТИТУЛЬНЫЙ ЛИСТ ОПИСАНИЯ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2015142377/02, 05.10.2015

(24) Дата начала отчета срока действия патента:
05.10.2015

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 05.10.2015

(45) Опубликовано: 20.11.2016 Бюл. № 32

Адрес для переписки:

640669, г. Курган, ул. Гоголя, 25, Курганский
государственный университет, НИО

(72) Автор(ы):

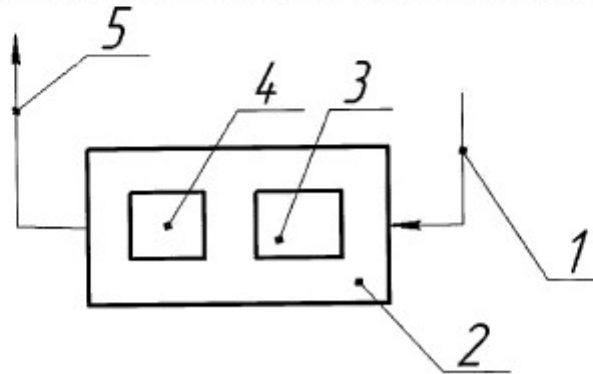
Овсянников Виктор Евгеньевич (RU),
Рогов Евгений Юрьевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования
"Курганский государственный университет"
(RU)(54) УСТРОЙСТВО АВТОМАТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПОГРЕШНОСТИ
ФОРМЫ ДЕТАЛИ В ПОПЕРЕЧНОМ СЕЧЕНИИ

(57) Формула полезной модели

Устройство для автоматического обеспечения параметров погрешности формы детали в поперечном сечении при обработке на станке, содержащее терминальную ЭВМ и соединенную с ней управляющую ЭВМ, отличающееся тем, что терминальная ЭВМ выполнена с возможностью фильтрации акустического сигнала от режущего инструмента, закрепленного на станке, в диапазоне от 6 до 12 кГц и вычисления площади спектра, а управляющая ЭВМ - с возможностью сравнения площадей спектров обрабатываемой и эталонной деталей с последующей выработкой управляющего воздействия на рабочие органы станка для внесения коррекций в процесс обработки.



RU 166356 U1

RU 166356 U1

Продолжение прил. Б

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(19) **RU** (11) **2 486 031** (13) **C1**

(51) МПК
B22F 9/04 (2006.01)
B22F 1/00 (2006.01)
C22C 33/02 (2006.01)

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: **2012115387/02**, **17.04.2012**
(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
17.04.2012
Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: **17.04.2012**
(45) Опубликовано: **27.08.2013** Бюл. № 18
(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: **SU 1668448 A1, 07.08.1991, RU 2090313**
C1, 20.09.1997, RU 2133172 C1, 20.07.1999, JP
554011166 A, 25.01.1980, JP 54-028712 A,
03.03.1979.
Адрес для переписки:
640669, г.Курган, ул. Гоголя, 25, Курганский
государственный университет, НИО

(72) Автор(ы):
Гуревич Юрий Григорьевич (RU),
Овсянников Виктор Евгеньевич (RU),
Фролов Виктор Александрович (RU),
Сушаков Павел Александрович (RU)
(73) Патентообладатель(и):
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования
"Курганский государственный университет"
(RU)

(54) СПОСОБ ПОДГОТОВКИ ПОРОШКА НА ОСНОВЕ ЧУГУННОЙ СТРУЖКИ

(57) Реферат:
Изобретение относится к порошковой металлургии, а именно к получению порошка на основе железа, содержащего небольшое количество углерода. Может использоваться для получения стального порошка на основе переработки отходов металлообрабатывающей промышленности - чугушной стружки.

Порошок, полученный измельчением и прокаливанием чугушной стружки, смешивают с порошком железной окалины, нагревают до 900-1100°C и выдерживают 4-8 часов. Обеспечивается упрощение процесса получения порошка и повышение производительности. 1 ил., 1 табл., 1 пр.

RU 2 4 8 6 0 3 1 C 1

RU 2 4 8 6 0 3 1 C 1

Продолжение прил. Б

RUSSIAN FEDERATION

FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 486 031** ⁽¹³⁾ **C1**

(51) Int. Cl.

B22F 9/04 (2006.01)**B22F 1/00** (2006.01)**C22C 33/02** (2006.01)(12) **ABSTRACT OF INVENTION**(21)(22) Application: **2012115387/02, 17.04.2012**(24) Effective date for property rights:
17.04.2012

Priority:

(22) Date of filing: **17.04.2012**(45) Date of publication: **27.06.2013 Bull. 18**

Mail address:

**640669, g.Kurgan, ul. Gogolja, 25, Kurganskij
gosudarstvennyj universitet, NIO**

(72) Inventor(s):

Gurevich Jurij Geger'evich (RU).**Ovajannikov Viktor Evgen'evich (RU).****Frolov Viktor Aleksandrovich (RU).****Sukhanov Pavel Aleksandrovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federal'noe gosudarstvennoe budzhetnoe
obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego
professional'nogo obrazovanija "Kurganskij
gosudarstvennyj universitet" (RU)**(54) **METHOD OF MAKING POWDER ON BASIS OF IRON CHIPS**

(57) Abstract:

FIELD: process engineering.

SUBSTANCE: invention relates to powder metallurgy, particularly, to production of iron-based powder with minor amount of carbon. It may be used for making steel powder from machining wastes, that

is, iron chips. Powder made by grinding and baking of iron chips is mixed with iron scale powder to be heated 900-1100°C and cured for 4-8 hours.

EFFECT: simplified process, higher efficiency.

1 dwg, 1 tbl, 1 ex

RU 2 486 031 C1

RU 2 486 031 C1

Продолжение прил. Б

RU 2 486 031 C1

Изобретение относится к порошковой металлургии, а именно к способам получения порошков, в частности к получению порошка, содержащего небольшое количество углерода, и может быть использовано для получения стального порошка на основе переработки отходов металлообрабатывающей промышленности - чугунной стружки.

Процесс подготовки порошка является основополагающим в порошковой металлургии. При этом одним из требований является содержание углерода в порошке $0.1 < C < 0.5\%$. Большинство известных на сегодняшний день способов подготовки порошков основывается на отжиге в среде водорода или водяных паров.

Известен способ подготовки порошка (см. Патент №2196659 на изобретение РФ В22F 1/00, С22С 33/02. Способ подготовки порошка на основе железа. / Арвидсон Йохан. // Б.И. - №15 - 2003), основанный на отжиге железосодержащего порошка в среде водорода или водяного пара в печи при температуре 800-1200°C. Основными недостатками данного способа являются низкая производительность, необходимость использования специальных газообразных сред, применения дорогостоящего сырья, а также необходимость применения сложной аппаратуры (ИК анализаторов).

Наиболее близким к заявленному способу подготовки стального порошка по технической сущности является получения стального порошка из порошка прокатной окалины Fe_2O_3 (см. Патент №2006344 на изобретение РФ В22F 9/04, В22F 9/22. Способ получения железного порошка с низкой насыпной плотностью. / Секачев М.А.; Чумаков А.Ф.; Викулов А.С.; Шевченко И.Ф.; Акименко В.Б.; Гуляев И.А. Опубл. 30.01.1994). Сущность способа состоит в том, что железосодержащий порошок получается измельчением прокатной окалины, после чего производится его окисление посредством нагрева и контакта с воздухом в соответствии с химической формулой Fe_2O_3 . Полученный порошок оксида железа восстанавливают в среде нагретого водорода.

К недостаткам данного способа можно отнести сложность технологического процесса, которая заключается в необходимости предварительной очистки шихты (порошка прокатной окалины), низкую производительность процесса и большое количество технологических операций - измельчение прокатной окалины, очистку, предварительное окисление и восстановление, необходимость в использовании специальных восстановительных сред, а также повышенную опасность процесса (водород является взрывоопасным).

Цель изобретения - упрощение технологии подготовки стального порошка. Поверхность железа способствует диссоциации оксидов. Поэтому цель изобретения достигается за счет того, что порошок чугуна, полученный посредством измельчения и последующего прокаливания стружки из чугуна СЧ20, нагревают до температуры 900-1100°C в контакте с железной окалиной (FeO), и выдерживают при этой температуре 4-8 часов. В результате происходит восстановление оксидов железа на поверхности чугуна и окисление углерода, марганца и кремния основы чугуна.

Пример выполнения способа подготовки порошка на основе чугунной стружки
Был взят порошок серого чугуна СЧ20 (Химический состав чугуна, %: С - 3,6; Si - 2,2; Mn - 0,7; S - 0,12; P - 0,15). Исходный порошок был получен измельчением чугунной стружки, полученной в производственных условиях, в шаровой мельнице и предварительным отжигом в течение 30 мин с целью удаления смазочно-охлаждающей жидкости.

Порошки окалины (FeO) и серого чугуна в течение 15 мин смешивались в шаровой мельнице, помещались в контейнер (фиг.1) и нагревались до температур 900-1100°C.

Продолжение прил. Б

RU 2 486 031 C1

Результаты химического анализа порошков, полученных при помощи предлагаемого способа и аналога, приведены в таблице.

	T, °C	t, ч	C, %	Mn, %	Si, %
5	Известный способ (аналог)				
	1200	4	0,40	-	-
	1200	12	0,05	-	-
10	Предлагаемый способ				
	900	8	0,137	0,18	0,19
	1000	4	0,100	-	-
	1000	8	0,022	0,12	0,15
	1100	4	0,015	-	-
	1100	8	0,014	0,12	0,14

Таким образом, предложенный способ позволяет значительно упростить процесс подготовки порошка и существенно повысить производительность.

Предлагаемый способ подготовки порошка на основе чугунной стружки значительно проще и дешевле известных способов, так как не требует:

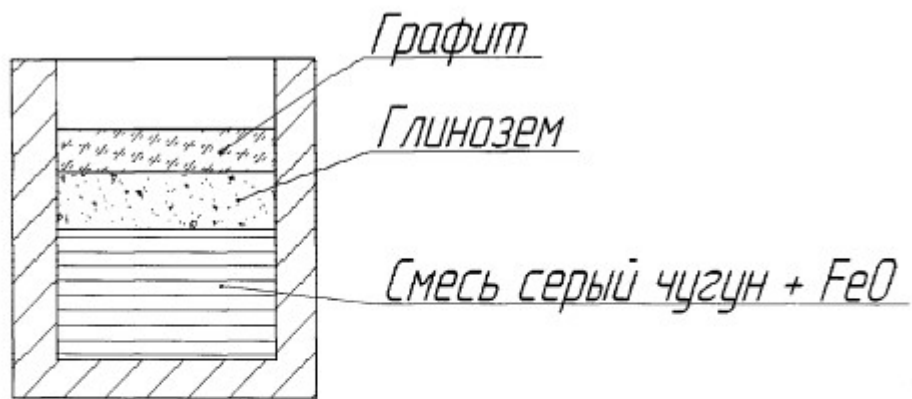
- специальных печей, обеспечивающих замкнутое пространство и использования специальных сред;
- основан на использовании дешевого исходного сырья - железной окалины и чугунной стружки;
- обеспечивает значительно большую производительность по сравнению с известными аналогами.

Формула изобретения

Способ получения порошка на основе чугунной стружки, характеризующийся тем, что исходный порошок, полученный измельчением и прокаливанием чугунной стружки, перемешивают с порошком железной окалины, нагревают до температуры 900-1100°C и выдерживают при этой температуре 4-8 ч.

Продолжение прил. Б

RU 2 486 031 C1



Фиг.1

Продолжение прил. Б

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ(19) **RU** (11) **2 493 289** (13) **C1**(51) МПК
C23C 10/36 (2006.01)
C23C 10/60 (2006.01)

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: **2012116651/02**, **24.04.2012**(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
24.04.2012

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: **24.04.2012**(45) Опубликовано: **20.09.2013** Бюл. № **26**(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: **SU 676048 A**, **07.03.1982**. **SU 804715 A**,
15.02.1981. **SU 1622423 A1**, **23.01.1991**. **RU**
2439171 C2, **10.01.2012**. **JP 2003170262 A**,
17.06.2003.

Адрес для переписки:

640669, г.Курган, ул. Гоголя, 25, Курганский
государственный университет, НИО

(72) Автор(ы):

Гуревич Юрий Григорьевич (RU),
Овсянников Виктор Евгеньевич (RU),
Фролов Виктор Александрович (RU),
Сушаев Павел Александрович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

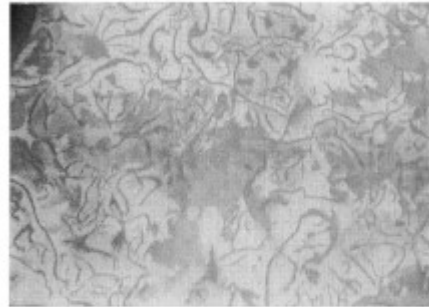
**Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования
"Курганский государственный университет"**
(RU)

(54) СПОСОБ ДИФфуЗИОННОГО ТИТАНИРОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ЧУГУНА

(57) Реферат:

Изобретение относится к металлургии, а именно к диффузионному титанированию металлов, в частности к диффузионному титанированию чугуна, и может быть использовано в машиностроении. Способ диффузионного титанирования изделий из чугуна включает насыщение его поверхности титаном при нагреве до 1000-1100°C в контакте с оксидом титана, выдержку при этой температуре 2-4 часа с последующим быстрым охлаждением в закалочной среде. Обеспечивается повышение износостойкости и жаропрочности деталей машин из серого

чугуна. 3 ил., 1 табл., 1 пр.



Фиг.1

RU 2 4 9 3 2 8 9 C 1

RU 2 4 9 3 2 8 9 C 1

Продолжение прил. Б

RUSSIAN FEDERATION

FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 493 289** ⁽¹³⁾ **C1**(51) Int. Cl.
C23C 10/36 (2006.01)
C23C 10/60 (2006.01)(12) **ABSTRACT OF INVENTION**(21)(22) Application: **2012116651/02, 24.04.2012**(24) Effective date for property rights:
24.04.2012

Priority:

(22) Date of filing: **24.04.2012**(45) Date of publication: **20.09.2013 Bull. 26**

Mail address:

**640669, g.Kurgan, ul. Gogolja, 25, Kurganskij
gosudarstvennyj universitet, NIO**

(72) Inventor(s):

**Čurevich Jurij Gejgor'evich (RU),
Ovsjannikov Viktor Evgen'evich (RU),
Frolov Viktor Aleksandrovič (RU),
Sukhanov Pavel Aleksandrovič (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federal'noe gosudarstvennoe bjudžetnoe
obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego
professional'nogo obrazovanija "Kurganskij
gosudarstvennyj universitet" (RU)**(54) **METHOD OF DIFFUSION TITANISING OF CAST IRON PRODUCTS**

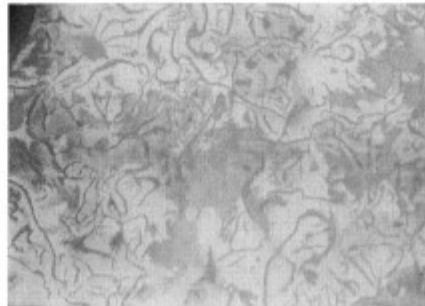
(57) Abstract:

FIELD: metallurgy.

SUBSTANCE: method of diffusion titanising of cast iron products includes saturation of the surface with titanium upon heating to 1000-1100°C in contact with titanium oxide, exposure at this temperature during 2-4 hours with further quick cooling in hardening medium.

EFFECT: improving wear resistance and heat resistance of machines parts from grey cast iron.

3 dwg, 1 tbl, 1 ex



Фиг.1

RU 2 4 9 3 2 8 9 C 1

RU 2 4 9 3 2 8 9 C 1

RU 2 493 289 C1

Изобретение относится к металлургии, а именно к диффузионному титанированию металлов, в частности к диффузионному титанированию чугуна и может быть использовано в машиностроении для повышения износостойкости и жаропрочности деталей машин из серого чугуна.

5 За последние годы все более широко используют диффузионное насыщение поверхности сплавов различными металлами. Для твердого или парофазового метода используют твердые частицы (или порошки) титана или ферротитана.

10 Перенос титана к поверхности изделий осуществляется через хлоридную или фторидную фазы, возникающую в результате взаимодействия титана с хлористым аммонием (NH_4Cl) или фтористым аммонием (NH_4F), или путем контактирования частиц титана с поверхностью изделия (см. Защитные покрытия на металлах. Киев, Наукова думка, 1973, вып.7, с.116-119, ил.ч).

15 К основным недостаткам этого способа можно отнести: применение специальных печей; применение газообразных хлоридов или фторидов; применение дорогого порошкообразного титана или ферротитана, получение которых (обычно методом дробления кусков титана или ферротитана) является трудоемкой операцией, необходимость создания вакуума.

20 Известен способ диффузионного титанирования чугуна (см. Земсков Г.В, Коган Р.Л., Шевченко И.М. Защитные покрытия на металлах. Киев.: Наукова думка, 1971), основанный на образовании летучего соединения TiCl_4 и последующей адсорбцией титана вглубь сплава. Данный способ характеризуется значительными потерями диффузанта (хлорида титана), большой длительностью процесса упрочнения (более 12 часов) и низкой толщиной упрочненного слоя (до 150 мкм).

25 Известен способ диффузионного титанирования деталей из чугуна при следующем соотношении компонентов, масс. %: 96-97% титана, остальное - фтористый аммоний (см. Шаповалов В.П., Горбунов Н.С. Диффузионное титанирование стали. В кн.: Защитные покрытия на металлах. Киев, Наукова думка, 1973, вып.7, с.116-119, ил.ч).

30 Однако данный способ является трудоемким, требует наличия специального оборудования - реакторов, в которых создается вакуум, и обеспечивает низкую толщину упрочненного слоя, которая составляет максимум 120 мкм (см. Шаповалов В.П., Горбунов Н.С. Диффузионное титанирование стали. В кн.: Защитные покрытия на металлах. Киев, Наукова думка, 1973, вып.7, с.116-119, ил.ч).

35 Известен способ диффузионного титанирования сталей в газообразных активаторах (K_2TiF_6 - гексафтортитанат калия) (см. Гурьев, А.М. Влияние состава насыщающей среды на структуру и свойства диффузионного слоя при титанировании сталей [Текст] / Б.Д. Лыгденев // Известия вузов. Физика. - 2001. - №11. С.269-270). Титанирование с добавкой данного активатора дает в 2-3 раза большую толщину карбидного слоя по сравнению с фторидами алюминия, аммония, кальция. Суть способа состоит в том, что насыщение поверхностного слоя железуглеродистого сплава производится через газообразную среду, при этом калий и фтор, растворяют атомы титана и служат их переносчиками для доставки в зону диффузии, что способствует более глубокому проникновению атомов вглубь сплава. Однако использование данного способа для упрочнения чугунов мало оправдано ввиду того, что возрастание количества углерода способствует образованию карбидов титана, препятствующих дальнейшей диффузии. Таким образом, при увеличении содержания углерода с 0.08 до 0.8% максимально достигаемая толщина упрочненного слоя падает с 600 до 200 мкм (см. Гурьев, А.М. Влияние состава насыщающей среды на структуру и свойства диффузионного слоя при титанировании сталей [Текст] / Б.Д. Лыгденев //

Продолжение прил. Б

RU 2 493 289 C1

Известия вузов. Физика. - 2001. - №11. С.269-270), т.о. использовать данный способ для упрочнения чугунов нецелесообразно.

5 Целью изобретения является совершенствование технологии диффузионного титанирования изделий из чугуна за счет отказа от специальных газообразных сред и повышение толщины упрочненного слоя. Для достижения поставленной цели, детали из чугуна в контакте с оксидом титана TiO_2 нагревают до температуры 1000-1100°C, выдерживают при этой температуре 2-4 часа, извлекают из печи, после чего производится быстрое охлаждение в закалочной среде.

10 В результате взаимодействия углерода чугуна с оксидом титана происходит диффузия восстановленного титана в железо и на поверхности изделия образуется твердый раствор титана в γ - железе и карбидная фаза.

15 Пример выполнения способа диффузионного титанирования серого чугуна с феррито-перлитной основой (твердость 140-160 НВ).

20 В качестве образца была взята цилиндрическая деталь диаметром 20 мм и высотой 20 мм из феррито-перлитного серого чугуна СЧ20 состава: 3,4%С; 2,2% Si; 0,6% Mn; <0,3%P и <0,3%S, твердостью 140 НВ. Исходная структура чугуна феррито (60-90%)-перлитная (40-10%) основа с равномерно распределенным пластинчатым графитом завихренной формы длиной 30-120 мкм. Площадь, занятая графитом составляет 8-12% (фиг.1).

25 Деталь была помещена в стальной контейнер объемом 0,5 дм³ в засыпке порошком оксида титана TiO_2 , нагрета до температуры 1000-1100°C, выдержана при этой температуре 2-4 ч, после чего производилось быстрое охлаждение в закалочной среде (воде).

30 После такого диффузионного титанирования на поверхности детали был обнаружен слой высокопрочного чугуна с шаровидным графитом (фиг.2), быстрое охлаждение в воде привело к образованию мартенситной структуры. Эксперименты показали, что толщина слоя высокопрочного чугуна (фиг.3) и его твердость зависят от температуры нагрева и времени выдержки при данной температуре (см. таблицу).

Таким образом, предложенный способ позволяет значительно упростить процесс диффузионного титанирования серого чугуна и повысить его производительность.

35 Таблица

Состав	Содержание, масс.%	Режим титанирования		Толщина слоя, мкм	Твердость, НRC	Примечание
		T, °C	t, ч			
Известный состав (аналог)						
1	97Ti+3NH ₄ F	1000	3	90	-	Чугун СЧ21
40 2	97Ti+3NH ₄ F	1000	4	120	-	Чугун СЧ21
Предлагаемый состав						
4	100TiO ₂	1000	2	90	52-54	Чугун СЧ20
5		1000	4	250	53-55	Чугун СЧ20
6		1100	2	470	52-54	Чугун СЧ20
45 7		1100	4	880	52-55	Чугун СЧ20
8		1150	Чугун расплавился			

Предлагаемый способ диффузионного титанирования чугуна значительно проще и дешевле известных способов, так как не требует:

- 50
- специальных печей, обеспечивающих замкнутое пространство для восстановительной атмосферы и газообразных хлоридов или фторидов;
 - обеспечивает восстановление оксидов титана;
 - значительно увеличивает толщину диффузионного слоя более чем в 12 раз по

Продолжение прил. Б

RU 2 493 289 C1

сравнению с аналогами.

Формула изобретения

5 Способ диффузионного титанирования изделий из чугуна, отличающийся тем, что
изделия нагревают в контакте с порошком оксида титана до температуры 1000-
1100°C, выдерживают при этой температуре 2-4 ч с последующим быстрым
охлаждением в закалочной среде.

10

15

20

25

30

35

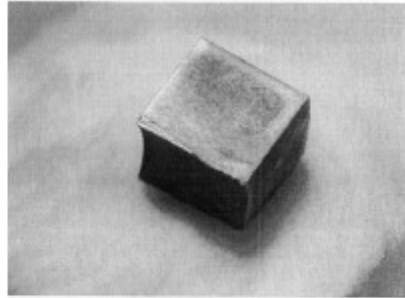
40

45

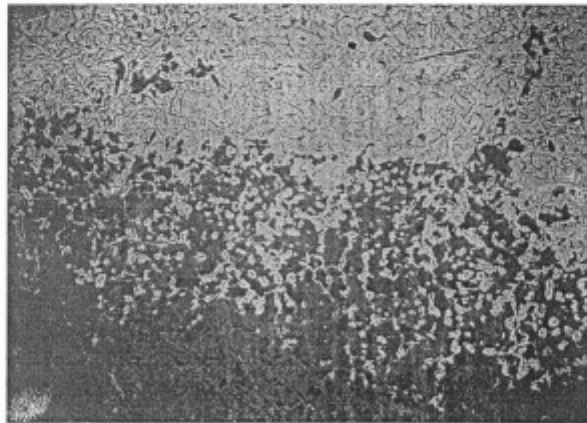
50

Продолжение прил. Б

RU 2 493 289 C1



Фиг. 2



Фиг. 3

Продолжение прил. Б

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ(19) **RU** (11) **143 324** (13) **U1**(51) МПК
G01B 11/00 (2006.01)

(12) ТИТУЛЬНЫЙ ЛИСТ ОПИСАНИЯ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2013158369/28, 26.12.2013

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
26.12.2013

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 26.12.2013

(45) Опубликовано: 20.07.2014 Бюл. № 20

Адрес для переписки:

620034, г. Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66,
УрГУПС, ОДиА, Л.Б. Никулиной

(72) Автор(ы):

Рогов Евгений Юрьевич (RU),
Остапчук Александр Константинович (RU),
Овсянников Виктор Евгеньевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования "Уральский
государственный университет путей
связи" (УрГУПС) (RU)

(54) УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОЦЕНКИ ПОГРЕШНОСТЕЙ ФОРМЫ ТЕЛ ВРАЩЕНИЯ В ПОПЕРЕЧНОМ СЕЧЕНИИ

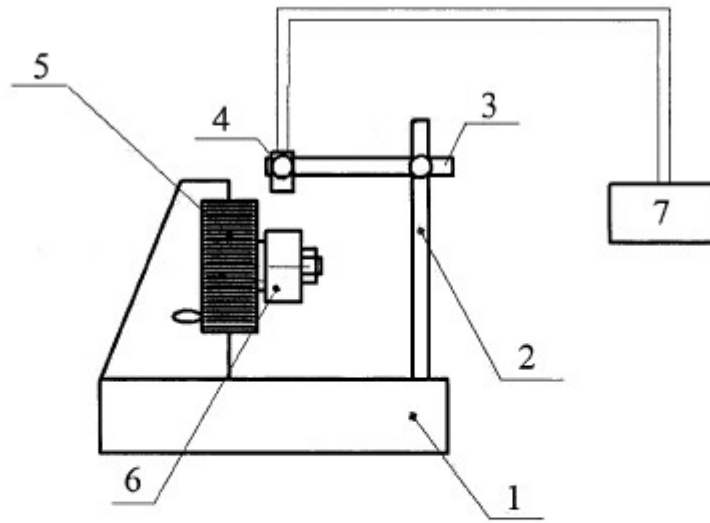
(57) Формула полезной модели

Устройство для оценки погрешностей формы тел вращения в поперечном сечении, включающее станину, шпиндельный узел, отличающееся тем, что на станине дополнительно установлена Г-образная стойка, на конце поперечной стороны которой неподвижно установлен оптический датчик, при этом поперечная сторона перемещается по вертикальной стороне стойки, а открытая сторона оптического датчика направлена на проверяемую деталь, датчик подключен к ЭВМ со специальным программным обеспечением на основе рядов Фурье-преобразования.

RU 143324 U1

RU 143324 U1

Продолжение прил. Б



RU 143324 U1

RU 143324 U1

Продолжение прил. Б

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ(19) **RU** (11) **182 687**⁽¹³⁾ **U1**
(51) МПК
F16D 13/62 (2006.01)

(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
F16D 13/62 (2006.01)

(21)(22) Заявка: 2018111350, 29.03.2018

(24) Дата начала отчета срока действия патента:
29.03.2018

Дата регистрации:
28.08.2018

Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: 29.03.2018

(45) Опубликовано: 28.08.2018 Бюл. № 25

Адрес для переписки:
640020, г. Курган, ул. Советская, 63, стр. 4,
Курганский государственный университет,
НИО

(72) Автор(ы):
Овсянников Виктор Евгеньевич (RU),
Васильев Валерий Иванович (RU)

(73) Патентообладатель(и):
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Курганский государственный
университет" (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2569863 C2, 27.11.2015. US
4388423 A1, 14.06.1983. US 4432922 A1,
21.02.1984.

(54) ТОРМОЗНАЯ ЛЕНТА

(57) Реферат:
Полезная модель относится к
машиностроению и может быть использована в
тормозных устройствах машин различного
назначения.

Технический результат

Предложенная конструкция тормозной ленты,
содержащая колодки, изготовленные из
ферритоперлитного серого чугуна, подвергнутого
термодиффузионному упрочнению, позволяет
повысить ресурс работы за счет улучшения
характеристик сопротивляемости динамическим

нагрузкам и упрощения процесса приработки,
приводящего к формированию оптимальных
параметров пары трения.

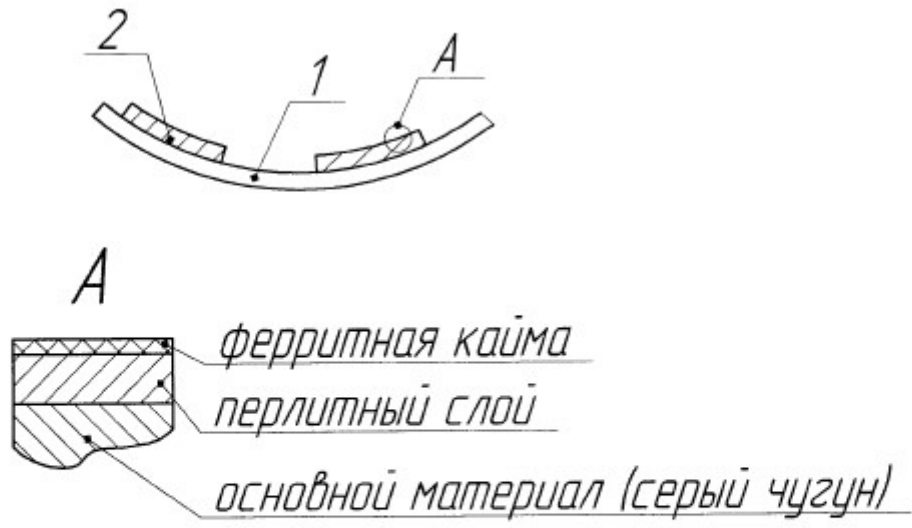
Сущность полезной модели

Тормозная лента, включающая колодки,
изготовленные из серого чугуна, отличающаяся
тем, что колодки имеют упрочненный слой
толщиной до 1 мм с перлитной структурой и
включениями графита и ферритную кайму,
находящуюся на поверхности сплава.

RU 182687 U1

RU 182687 U1

Продолжение прил. Б



Фиг.1

RU 182687 U1

RU 182687 U1

Продолжение прил. Б

RU 182 687 U1

Полезная модель относится к машиностроению и может быть использована в тормозных устройствах машин различного назначения.

Наиболее близким аналогом по совокупности существенных признаков является диск (RU №2569863, 02.12.2011, С22С 37/10, F16D 65/12).

5 В реализации данного тормозного диска предполагается использование тормозной ленты, которая изготовлена из легированного чугуна, содержащего хром и молибден. Наличие легирующих элементов в чугуне тормозной ленты дает возможность повысить износостойчивость и сопротивление коррозии.

К недостаткам указанного выше технического решения можно отнести следующее:

10 - процесс приработки пары трения тормозная лента - барабан будет иметь неблагоприятный характер, т.к. легированный чугун обладает достаточно высокой твердостью, кроме того в ходе работы тормозного механизма будет происходить процесс отбеливания чугуна;

15 - пара трения тормозная лента - барабан работает в условиях динамических нагрузок, т.е. испытывает воздействие циклических напряжений и ударов, а чугун не эффективно работает в таких условиях.

Задачей, на решение которой направлена заявленная полезная модель, является создание тормозной ленты, которая обеспечивает быстрый и эффективный процесс приработки, а также высокую работоспособность в условиях динамических и циклических нагрузок.

20 Указанную выше задачу можно решить за счет использования в конструкции тормозной ленты колодок (поз. 2 на Фиг. 1), которые изготовлены из серого чугуна, подвергнутого термодиффузионному упрочнению посредством нагрева в контакте с оксидом легирующего элемента. Термодиффузионное упрочнение серого чугуна (RU 2493289, 24.04.2012, С23С 10/36) позволяет получить на поверхности легированный упрочненный слой перлитной структуры (соответствующий высокоуглеродистой стали) с включениями графита толщиной до 3 мм. Полученная структура позволяет сочетать высокую степень сопротивления абразивному износу характерную для чугуна (т.к. в структуре присутствуют включения графита), а также обеспечивает повышенную работоспособность в условиях циклических нагрузок и удара (т.к. упрочненный слой имеет перлитную структуру). Кроме того на поверхности упрочненного слоя имеется ферритная кайма толщиной до 0.1 мм (см. Гуревич Ю.Г., Овсянников В.Е., Фролов В.А. Влияние катализатора (железа) на взаимодействие оксидов с основой ферритоперлитного серого чугуна, обеспечивающее закалку и диффузионное легирование: Монография. - Курган: Изд-во КГУ, 2013. - 102 с), которая обладает 35 низкой твердостью. Наличие данной каймы обеспечивает улучшение процесса приработки.

(57) Формула полезной модели

40 Тормозная лента, включающая колодки, изготовленные из серого чугуна, отличающаяся тем, что колодки имеют упрочненный слой толщиной до 1 мм с перлитной структурой и включениями графита и ферритную кайму, находящуюся на поверхности серого чугуна.

45

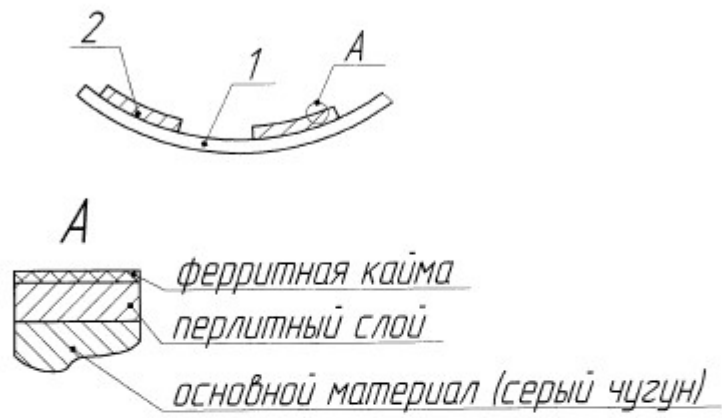
Продолжение прил. Б

RU 182 687 U1

1

Тормозная лента

Фиг.1



Авторы

В.Е. Овсянников

В.И. Васильев

Продолжение прил. Б

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(19) **RU** (11)**186 172** (13) **U1**

(51) МПК
F27D 3/12 (2006.01)
C21D 1/00 (2006.01)

(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
F27D 3/12 (2006.01)

(21)(22) Заявка: 2018111308, 29.03.2018

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
29.03.2018

Дата регистрации:
11.01.2019

Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: 29.03.2018

(45) Опубликовано: 11.01.2019 Бюл. № 2

Адрес для переписки:
640020, г. Курган, ул. Советская, 63, стр. 4,
Курганский государственный университет,
НИО

(72) Автор(ы):

Овсянников Виктор Евгеньевич (RU),
Васильев Валерий Иванович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Курганский государственный
университет" (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 44674 U1, 05.11.2004. RU
2058516 C1, 20.04.1996. SU 989291 A1,
15.01.1983. JP 2009270758 A, 19.11.2009.

(54) УСТРОЙСТВО ДЛЯ ДИФФУЗИОННОГО ЛЕГИРОВАНИЯ

(57) Реферат:

Полезная модель относится к термической
обработке и может быть использована при
реализации процесса термодиффузионного
упрочнения чугунов посредством нагрева в
контакте с оксидами легирующих элементов.

Задачей, на решение которой направлена
заявленная полезная модель, является создание
устройства, дающего возможность эффективной
реализации процесса термодиффузионного
упрочнения чугунов посредством нагрева в
контакте с оксидами легирующих элементов с
минимальным количеством дефектов
диффузионного слоя.

Технический результат:

Предложенное устройство позволяет

эффективно реализовывать процесс
термодиффузионного упрочнения изделий из
серого чугуна в любой печи за счет того, что в
конструкции устройства предусмотрено наличие
вставок из графита, которые окисляясь, выделяют
газ СО, создавая тем самым восстановительную
атмосферу.

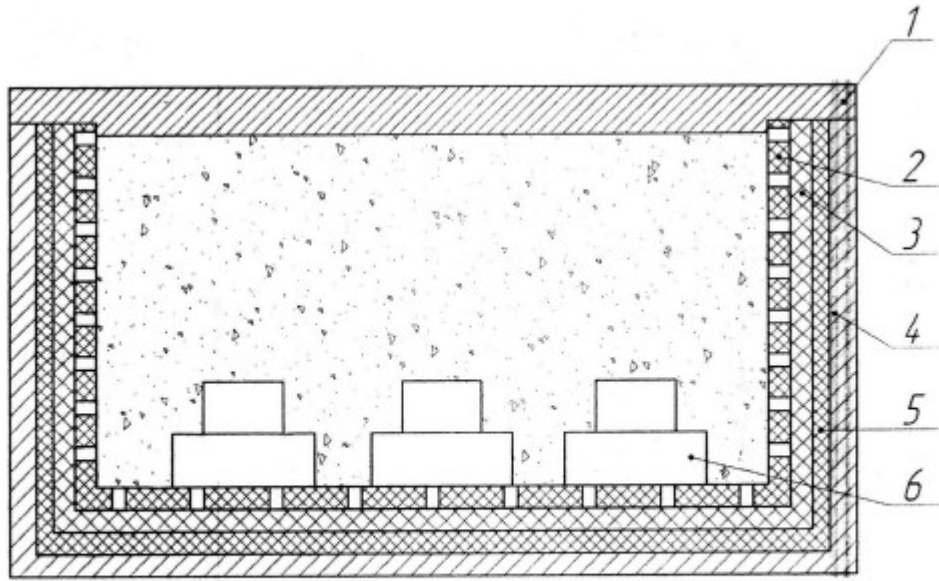
Сущность полезной модели:

Устройство для диффузионного легирования,
содержащее ящик, который закрывается
крышкой, отличающееся тем, что стенки ящика
выполнены в виде комбинации слоев металла,
графита и изоляционных прокладок, одна из
которых выполнена пористой.

RU 186172 U1

RU 186172 U1

Продолжение прил. Б



Фиг.1

RU 186172 U1

RU 186172 U1

Продолжение прил. Б

RU 186 172 U1

Полезная модель относится к термической обработке и может быть использована при реализации процесса термодиффузионного легирования чугунов посредством нагрева в контакте с оксидами легирующих элементов.

Наиболее близким аналогом по совокупности существенных признаков является устройство (RU №44674, 05.11.2004, C21D 1/00).

Данное устройство используется для термической и химико-термической обработки изделий и дает возможность, например, производить цементацию с последующей закалкой без необходимости извлечения деталей из приспособления. Данная схема реализуется посредством использования плавких вставок.

К недостаткам указанного выше устройства можно отнести следующее:

- использование плавких вставок вызывает необходимость дополнительной операции удаления остатков вставок из отверстий;

- данное устройство не обеспечивает создание восстановительной атмосферы, а, следовательно, пригодность к применению рассматриваемой конструкции при реализации процесса термодиффузионного упрочнения чугунов посредством нагрева в контакте с оксидами легирующих элементов ограничена (необходимо использование специальных печей, где имеется возможность создания восстановительной атмосферы дополнительно).

Задачей, на решение которой направлена заявленная полезная модель является, создание устройства, дающего возможность эффективной реализации процесса термодиффузионного легирования чугунов посредством нагрева в контакте с оксидами легирующих элементов с минимальным количеством дефектов диффузионного слоя.

При осуществлении полезной модели поставленную задачу можно решить за счет достижения технического результата, который заключается в создании восстановительной атмосферы.

Схема реализации полезной модели (фиг. 1) включает в себя металлический ящик 4, который закрывается крышкой 1. Ящик обложен пластинами из графита 3, которые окисляясь, образуют восстановительную атмосферу из оксида углерода. Пластины из графита изолированы от ящика 4 и деталей 6 посредством прокладок 5 и 2. Причем одна из прокладок выполнена пористой (прокладка 2), для того, чтобы газ СО поступал в активную зону. Прокладки используются, чтобы предотвратить процесс под плавления деталей и ящика от контакта с графитовыми пластинами. Внутри ящика засыпается оксид легирующего элемента.

(57) Формула полезной модели

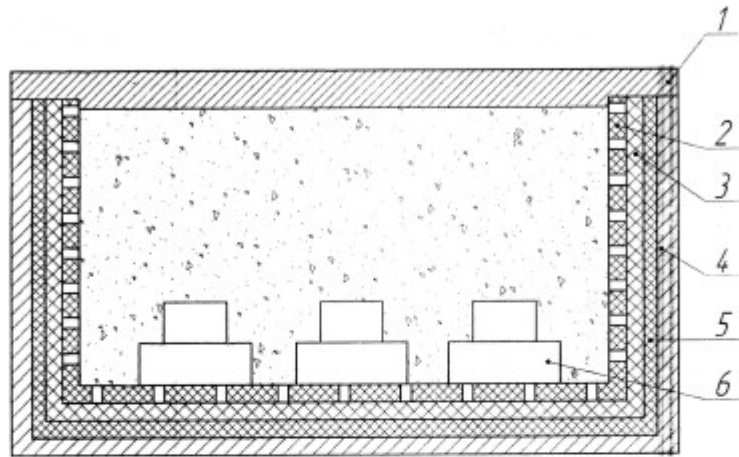
Устройство для термодиффузионного легирования деталей из чугуна, выполненное в виде металлического ящика с крышкой, отличающееся тем, что стенки металлического ящика обложены пластинами из графита, которые изолированы от стенок ящика прокладками, расположенными слоями, один из которых выполнен пористым для образования восстановительной атмосферы из газа СО в активной зоне ящика, внутри которого засыпан оксид легирующего элемента.

Продолжение прил. Б

RU 186 172 U1

1

Устройство для диффузионного легирования
Фиг. 1



Приложение В

СВИДЕТЕЛЬСТВА О РЕГИСТРАЦИИ РАЗРАБОТОК

(обязательное)

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2018611606

Определение корреляционной размерности фазового пространства

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тюменский индустриальный университет» (ТИУ) (RU)*

Авторы: *Овсянников Виктор Евгеньевич (RU), Рогов Евгений Юрьевич (RU), Некрасов Роман Юрьевич (RU), Темпель Юлия Александровна (RU)*

Заявка № 2017662677

Дата поступления 06 декабря 2017 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 02 февраля 2018 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Излиев

Продолжение прил. В

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2018611608

Расчет информационной энтропии процесса

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тюменский индустриальный университет» (ТИУ) (RU)*

Авторы: *Овсянников Виктор Евгеньевич (RU), Рогов Евгений Юрьевич (RU), Некрасов Роман Юрьевич (RU), Путилова Ульяна Сергеевна (RU)*

Заявка № 2017662675

Дата поступления 06 декабря 2017 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 02 февраля 2018 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Излиев Г.П. Излиев



Продолжение прил. В

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО
о государственной регистрации программы для ЭВМ
№ 2018613869

Расчет показателя Херста по данным временного ряда

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тюменский индустриальный университет» (ТИУ) (RU)*

Авторы: *Овсянников Виктор Евгеньевич (RU), Рогов Евгений Юрьевич (RU), Некрасов Роман Юрьевич (RU), Темпель Ольга Александровна (RU)*

Заявка № **2017662676**
Дата поступления **06 декабря 2017 г.**
Дата государственной регистрации
в Реестре программ для ЭВМ **26 марта 2018 г.**



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

 **Г.П. Иванов**

Продолжение прил. В

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2012611805

**Анализ коррелограмм профилей поверхностей,
обрабатываемых резанием**

Правообладатель(ли): **Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уральский государственный университет путей сообщения» (ФГОУ ВПО УрГУПС) (RU)**

Автор(ы): **Остапчук Александр Константинович,
Овсянников Виктор Евгеньевич, Рогов Евгений Юрьевич (RU)**

Заявка № **2011619942**

Дата поступления **23 декабря 2011 г.**

Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ
17 февраля 2012 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Б.П. Симонов



Продолжение прил. В

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2012611803

Анализ погрешностей формы деталей типа тел вращения

Правообладатель(ли): **Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уральский государственный университет путей сообщения» (ФГОУ ВПО УрГУПС) (RU)**

Автор(ы): **Останчук Александр Константинович, Овсянников Виктор Евгеньевич, Рогов Евгений Юрьевич (RU)**

Заявка № **2011619940**

Дата поступления **23 декабря 2011 г.**

Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ
17 февраля 2012 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Б.Л. Симонов



Продолжение прил. В

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2012611804

Расчет параметров корреляционной модели профиля
поверхностей, обрабатываемых резанием

Правообладатель(ли): **Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уральский государственный университет путей сообщения» (ФГОУ ВПО УрГУПС) (RU)**

Автор(ы): **Остапчук Александр Константинович, Овсянников Виктор Евгеньевич, Rogov Евгений Юрьевич (RU)**

Заявка № 2011619941

Дата поступления 23 декабря 2011 г.

Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ
17 февраля 2012 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Б.П. Симонов

