

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ»**

На правах рукописи

КОРОЛЁВ Илья Анатольевич

**МЕТОДИКА КВАЛИМЕТРИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ
ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ ВЫСОКОХРОМИСТЫХ СТАЛЕЙ
ДЛЯ ПРОЦЕССА ХОЛОДНОЙ ШТАМПОВКИ**

Специальность:

05.02.23 - «Стандартизация и управление качеством продукции»

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

Санкт-Петербург, 2014

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
РАЗДЕЛ 1 – ОБЗОР АКТУАЛЬНЫХ АСПЕКТОВ РАЗВИТИЯ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ, ЛЕГИРОВАНИЯ И ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ВХИС	12
1.1 Истоки необходимости развития управления качеством ВХИС	12
1.2 Актуальные направления легирования и термической обработки ВХИС	13
1.3 Современный этап развития управления качеством ВХИС	22
1.4 Обзор периодической литературы по управлению качеством ВХИС.....	37
1.5 Обзор стандартов по управлению деловой деятельностью в области качества и общего управления.....	42
1.6 Классификация показателей качества и методов их оценки	44
1.7 Выводы по главе 1	56
РАЗДЕЛ 2 – РАЗРАБОТКА МЕТОДИЧЕСКОГО АППАРАТА ИССЛЕДОВАНИЯ КАЧЕСТВА ВХИС ДЛЯ ПРОЦЕССА ХОЛОДНОЙ ШТАМПОВКИ	57
2.1 Материалы исследований.....	57
2.2 Инструмент квалиметрической оценки – циклограмма качества	61
2.3 Инструмент квалиметрической оценки – секторные диаграммы.....	62
2.4 Инструмент квалиметрической оценки – горизонтальные гистограммы.	64
2.5 Инструмент квалиметрической оценки – корреляционный анализ по диаграмме разброса.....	65
2.6 Инструмент квалиметрической оценки – функция желательности	67
2.7 Инструмент квалиметрической оценки – планирование эксперимента ...	70
2.8 Разработка методики оценки качества ВХИС	75
2.9 Экономическая оценка ВХИС	83
2.10 Выводы по главе 2.....	85

РАЗДЕЛ 3 – РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ЭКСПЕРИМЕНТОВ	86
3.1 Циклограмма качества ВХИС.....	86
3.2 Секторные диаграммы ВХИС.....	87
3.3 Горизонтальные гистограммы ВХИС	91
3.4 Корреляционный анализ по диаграмме разброса ВХИС	93
3.5 Функция желательности ВХИС.....	100
3.6 Планирование эксперимента ВХИС	104
3.7 Практическая реализация результатов эксперимента по влиянию легирования и термической обработки ВХИС.....	107
3.8 Выводы по главе 3.....	108
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	109
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	111

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Постановлением Правительства Российской Федерации от 15 апреля 2014 г. N 328 "Об утверждении государственной программы Российской Федерации "Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности", целью которой является создание в Российской Федерации конкурентоспособной, устойчивой, структурно-сбалансированной промышленности (в структуре отраслей, относящихся к предмету Программы), способной к эффективному саморазвитию на основе интеграции в мировую технологическую среду, разработки и применения передовых промышленных технологий, нацеленной на формирование и освоение новых рынков инновационной продукции, эффективно решающей задачи обеспечения экономического обеспечения и обороноспособности страны. Данное диссертационное исследование затрагивает следующие области промышленности, включенные в соответствующие подпрограммы: "Автомобильная промышленность"; "Сельскохозяйственное машиностроение, машиностроение для пищевой и перерабатывающей промышленности"; "Машиностроение специализированных производств (строительно-дорожная и коммунальная техника, пожарная, аэродромная, лесная техника)"; "Ускоренное развитие ОПК"; "Транспортное машиностроение"; "Силовая электротехника и энергетическое машиностроение"; "Металлургия"; "Развитие системы технического регулирования, стандартизации и обеспечение единства измерения"; "Развитие промышленности редких и редкоземельных металлов".

Улучшение качества продукции, условий работы и эффективности труда зависят от постоянного развития машиностроения и металлообработки в мире, которые требуют дальнейшего совершенствования технологических процессов, методов организации и управления производством, а также комплексной механизации и автоматизации производственных процессов. Одну из основных проблем развития качества процессов холодной штамповки составляют материалы, из которых изготовлены инструмент и технологическая оснастка. Особенно актуальна задача улучшения качества за счет повышения

стойкости инструмента при обработке новых и труднодеформируемых материалов. Повышение стойкости инструмента позволяет улучшить качество производимых деталей, сократить простои оборудования, время на переналадку, затраты на изготовление и ремонт, а также снижение себестоимости производимой продукции.

Не менее актуальной задачей является улучшение качества за счет рационального и экономного расходования инструментальных сталей, что достигается совершенствованием химического состава существующих и разработкой новых экономичных сталей, обладающих высоким комплексом эксплуатационных свойств.

В области холодной штамповки выбор инструментальных сталей для штампового инструмента, в основном, решается методом экспертных оценок в пользу традиционных инструментальных сталей. При этом оценка материала основывается на знаниях экспертов и опыте их работы в исследовании материалов для холодной штамповки. Но, наряду с экспертным методом, в данной области актуальна разработка дополнительных квалиметрических методов оценки качества материалов, поскольку экспертный метод предоставляет только субъективную оценку и может характеризоваться несогласованностью мнений экспертов.

Комплексная оценка инструментальных высокохромистых сталей для процесса холодной штамповки представляет особый интерес, т.к. они применяются для изготовления штампового инструмента, который, в свою очередь, широко применяется для производства деталей транспортных средств, корпусных деталей бытовой и компьютерной техники, а также элементов строительных конструкций. Именно поэтому исследования, направленные на разработку методики квалиметрической оценки инструментальных высокохромистых сталей для процесса холодной штамповки являются актуальными.

Данное диссертационное исследование решает один из важнейших аспектов развития квалиметрии, а именно, совершенствование технологии оценивания качества. В настоящей работе проводится комплексное исследова-

ние по управлению качеством инструментальных высокохромистых сталей (далее - ВХИС) в зависимости от различного легирования сильными карбидообразующими и редкоземельными элементами при переменном содержании углерода. Разработана методика квалитметрической оценки ВХИС для процесса холодной штамповки на примере сталей типа X12 с пониженным содержанием углерода и сталей типа X8 повышенной теплостойкости, обеспечивающие многократное повышение стойкости инструмента, что позволяет значительно улучшить качество инструмента холодного деформирования.

Значительное число работ в области управления качеством и квалитметрической оценки разнородной продукции и услуг, опубликовано в разное время такими отечественными учеными как Г. Г. Азгальдов, Ю.П. Адлер, В.Н. Азаров, С.А. Айвазян, С.А. Атрошенко, В.М. Балашов, В.В. Бураков, А. Г. Варжапетян, А.В. Гличев, О.П. Глудкин, Е.А. Горбашко, В.Д. Дурнев, Г.И. Коршунов, В.П. Ларин, В.А. Липатников, Н.Н. Рожков, Е.Г. Семенова, В. К. Федюкин, А.П. Ястребов. Среди работ зарубежных авторов необходимо отметить ставшие классическими в области управления качеством работы таких ученых, как Э. Голдратт, Э. Деминг, У. Детмер, Д. Джуран, К. Ишикава, А. Фейгенбаум, Д. Харрингтон, У. Шухарт, К. Янг.

Цель работы и задачи исследования. Целью работы является повышение качества оценки ВХИС путем разработки методики квалитметрической оценки ориентированной на процессы повышения качества ВХИС для холодной штамповки. Для реализации поставленной цели необходимо выполнение следующих задач:

- определить основные показатели качества ВХИС для процесса холодной штамповки посредством анализа механических характеристик при испытаниях основных эксплуатационных свойств этих сталей;
- исследовать современные квалитметрические инструменты и улучшить некоторые из них применительно к задаче оценивания качества ВХИС для процесса холодной штамповки;
- разработать комплексную модель выбора инструментов оценки качест-

ва ВХИС для процесса холодной штамповки;

- разработать методику оценки качества ВХИС для процесса холодной штамповки.

Объектом исследования являются показатели качества: твердость, стойкость, прочность на изгиб, ударная вязкость ВХИС для процесса холодной штамповки.

Предметом исследования являются квалиметрические инструменты оценки ВХИС.

Методы исследования. При решении поставленных задач использовались: методы статистического анализа информации, квалиметрические методы оценки качества объектов, экспериментальные методы исследования материалов.

Тематика работы соответствует областям исследования: 1. «Методы анализа, синтеза и оптимизации, математические и информационные модели состояния и динамики качества объектов», 2. «Стандартизация, метрологическое обеспечение, управление качеством и сертификация», 3. «Методы стандартизации и менеджмента (контроль, управление, обеспечение, повышение, планирование) качества объектов и услуг на различных стадиях жизненного цикла продукции», 4. «Квалиметрические методы оценки качества объектов, стандартизации и процессов управления качеством», 11. «Основные положения и содержание Всеобщего Управления Качеством (TQM)» паспорта специальности 05.02.23.

На защиту выносятся следующие основные результаты и положения:

- уточненная номенклатура критериев оценки показателей качества ВХИС для процесса холодной штамповки по сравнению со стандартными критериями оценки твердости и карбидной неоднородности;
- расширены возможности применения современных квалиметрических инструментов в области оценивания качества ВХИС для процесса

холодной штамповки, улучшен расчет комплексного показателя желательности модифицированный путем введения коэффициента экономической целесообразности;

- впервые разработанная комплексная модель выбора инструментов оценки качества ВХИС для процесса холодной штамповки;
- впервые разработанная методика оценки качества ВХИС для процесса холодной штамповки.

Научная новизна исследования:

- определены основные показатели качества ВХИС для процесса холодной штамповки на основе проведенного анализа механических характеристик при испытаниях основных эксплуатационных свойств: стойкость инструмента, ударная вязкость, прочность на изгиб, твердость и карбидный балл;
- расширены возможности современных квалитметрических инструментов: функции желательности (улучшен расчет комплексного показателя желательности модифицированный путем введения коэффициента экономической целесообразности), планирования эксперимента, циклограммы качества, секторных диаграмм, горизонтальных гистограмм, корреляционного анализа по диаграмме разброса применительно к задаче оценивания качества ВХИС для процесса холодной штамповки;
- впервые разработана комплексная модель выбора инструментов оценки качества ВХИС для процесса холодной штамповки;
- впервые разработана методика оценки качества ВХИС для процесса холодной штамповки.

Практическая значимость работы Применение результатов диссертационного исследования позволило повысить качество и систематизировать процесс выбора ВХИС для холодной штамповки, что обеспечило эффективное перевооружение предприятия по производству, в частности, твердость инструментальной стали повысилась на 3%, стойкость инструмента увеличилась в 2-4 раза в зависимости от марки стали, прочность на изгиб — на 20-

30%, ударная вязкость выросла в среднем на 80% и в 2 раза снизилась карбидная неоднородность стали.

Теоретическая значимость работы заключается в том, что в ней определены основные показатели качества ВХИС, уточнена номенклатура критериев оценки показателей качества ВХИС, исследованы и уточнены возможности современных квалитметрических инструментов, модифицирован расчет комплексного показателя желательности, разработана методика оценки качества ВХИС для процесса холодной штамповки. Сформулированы конкретные предложения по совершенствованию стандартизации в области использования квалитметрической оценки ВХИС для процесса холодной штамповки. В результате проведенной работы сформулированы теоретически значимые выводы и предложения по совершенствованию методики оценки ВХИС.

Достоверность научных результатов, содержащихся в работе, определяется корректностью применения математического аппарата, инструментов и методов оценки качества, применением метрологически поверенных приборов и установок для проведения экспериментов, адекватностью экспертных оценок, публикацией и обсуждением основных результатов исследований.

Апробация работы. Научные результаты и положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях и семинарах: на одиннадцатой всероссийской научно-практической конференции «Управление качеством» 2012 г., МАТИ, Москва; на международной конференции «Живучесть и конструкционное материаловедение. ЖИВКОМ-2012» ИМАШ РАН, Москва; на «Юбилейных 20 Петербургских чтениях по проблемам прочности, посвященных памяти профессора В.А. Лихачева» СПбГУ 2012, СПб; на конференции - семинаре «Актуальные направления в механике сплошных сред», 2012 г., СПб; на «Четвертом научном конгрессе студентов и аспирантов ИНЖЭКОН – 2011», СПб; на «Пятом научном конгрессе студентов и аспирантов ИНЖЭКОН - 2012», СПб; на 25-й Междуна-

родной конференции «Математическое моделирование в механике деформируемых сред и конструкций. Методы граничных и конечных элементов», 2013 г., СПб.

Публикации. По основным материалам исследований опубликовано 13 печатных работ, из которых 5 - в ведущих рецензируемых научных изданиях.

Список работ, опубликованных в изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Королёв И.А. Квалиметрическая оценка работоспособности высокохромистых инструментальных сталей / С.А. Атрошенко, И.А. Королёв // Заводская лаборатория, 2012, №10 Т.78. С. 64-69.
2. Королёв И.А. Использование метода секторных диаграмм для оценки качества высокохромистых инструментальных сталей // Вестник ИНЖЭКОНА, серия технические науки // 2012, №8 (59). С. 144-146.
3. Королёв И.А. Оценка качества высокохромистых инструментальных сталей / С.А. Атрошенко, И.А. Королёв // Научное Обозрение, 2012, №1. С. 63-71.
4. Королёв И.А. Оценка механических характеристик высокохромистых инструментальных сталей методом корреляционного анализа по диаграмме разброса / С.А. Атрошенко, И.А. Королёв // Качество. Инновации. Образование., 2013, №1. С.80-84.
5. Королёв И.А. Модифицированная квалиметрическая оценка / С.А. Атрошенко, И.А. Королёв // Научное Обозрение, 2014, №8.

Список остальных работ, опубликованных по теме диссертации:

1. Королёв И.А. Циклограмма качества как метод оценки высокохромистых инструментальных сталей типа X12 и X8 / С.А. Атрошенко, И.А. Королёв // XI -Всероссийская научно-практическая конференция "Управление качеством" - МАТИ 2012: тез. докл. – М.: МАТИ, 2012, С. 39.
2. Королёв И.А. Оценка механических характеристик высокохромистых инструментальных сталей методом секторных диаграмм / С.А. Атрошенко, И.А. Королёв // Живучесть и конструкционное материаловедение ЖИВ-

КОМ-2012: тез. докл. – М.: ИМАШ РАН, 2012, Том II-С.14 - 19.

3. Королёв И.А. Квалиметрическая оценка прочностных и пластических характеристик высокохромистых инструментальных сталей / С.А. Атрошенко, И.А. Королёв // Юбилейные XX Петербургские чтения по проблемам прочности, посвященные памяти профессора В.А. Лихачева: тез. докл. – СПб.: СПбГУ, 2012. Ч.II-С.137-139.

4. Королёв И.А. Оценка механических характеристик высокохромистых инструментальных сталей методом горизонтальных гистограмм / С.А. Атрошенко, И.А. Королёв // Актуальные направления в механике сплошных сред - 2012 г.: тез. докл. – СПб.: СПбГУ, 2012, С.9.

5. Королёв И.А. Управление качеством высокохромистых инструментальных сталей методом планирования эксперимента / С.А. Атрошенко, И.А. Королёв // Народное Хозяйство, 2013, №1. С.162-167.

6. Королёв И.А. Функция желательности как метод оценки качества инструментальных высокохромистых сталей / С.А. Атрошенко, И.А. Королёв // IV научный конгресс студентов и аспирантов ИНЖЭКОН - 2011: тез. докл. – СПб.: СПбГИЭУ, 2011, С.14.

7. Королёв И.А. Циклограмма качества как метод оценки механических характеристик высокохромистых инструментальных сталей / С.А. Атрошенко, И.А. Королёв // V научный конгресс студентов и аспирантов ИНЖЭКОН - 2012: тез. докл. – СПб.: СПбГИЭУ, 2012, С.12.

8. Королёв И.А. Использование метода планирования эксперимента и функции желательности при оценке качества высокохромистых инструментальных сталей / С.А. Атрошенко, И.А. Королёв // 25-я Международная конференция ВЕМ-FEM 2013: тез. докл. – СПб.: ИМАШ РАН, 2013.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, выводов, списка использованной литературы из 72 наименований. Основная часть работы изложена на 118 страницах машинописного текста, содержит 14 рисунков, 22 таблицы.

Раздел 1 – Обзор актуальных аспектов развития управления качеством, легирования и термической обработки ВХИС

1.1 Истоки необходимости развития управления качеством ВХИС

В период с 1976 г. по 1992 г. производство стали на душу населения в России было практически таким же, как и в США. При этом валовой внутренний продукт (ВВП) на душу населения в России в этот период был ниже в 7 раз. В 1990 г. семь ведущих стран мира (Япония – США – Франция – Канада – Англия – Италия – Германия) произвели 317 млн. т. стали в год, а Советский Союз – 161 млн. т. Конечный продукт металлургии – готовый прокат. Металлургия России унаследовала от Советского Союза около двух третей мощностей – 67 млн. т. годового проката.

В производстве инструментальные стали занимают одну из лидирующих позиций. В период с 1980 по 1990 гг. в Советском Союзе было произведено более 15 млн. т. инструментальных сталей. В среднем в год, в Советском Союзе производилось 5 млн. т. конструкционных и 1,5 млн. т. инструментальных сталей [1].

Инструментальные стали [2] – это большая группа сталей, которые в результате термической обработки и легирования обладают высокой твердостью, прочностью и износостойкостью, необходимыми для обработки материалов резанием и давлением. Многие инструментальные стали, кроме того, обладают теплостойкостью, т. е. способностью сохранять эти свойства при нагреве, часто возникающем в рабочей кромке инструментов, например, при резании с повышенной скоростью, при деформировании в горячем состоянии и т. д.

Инструментальные стали вследствие их высокой износостойкости и прочности, которую они в отличие от цементованных или азотированных сталей сохраняют на значительную глубину, широко используют и для других изделий. Они применяются для подшипников качения, измерительных инструментов, пружин многих типов, деталей топливной аппаратуры, а так-

же для ряда деталей станков и машин, например, некоторых шестерен, ходовых винтов, червяков и т. д.

1.2 Актуальные направления легирования и термической обработки ВХИС

Несмотря на то, что исследованию карбидной неоднородности инструментальных сталей, посвящено достаточное количество работ, число исследований по их комплексному легированию – снижению содержания углерода и дополнительному легированию рядом элементов в инструментальных сталях весьма ограничено. Также еще более ограниченным является и число работ по термической обработке ВХИС. Работ по созданию методики квалитетической оценки ВХИС оптимизированных легированием и термической обработкой, вообще не существует на данный момент в российской и даже мировой практике, хотя мировая обстановка описанная выше, дает уже не только предпосылки для создания таких методик, но и четко указывает на необходимость их разработки и внедрения в массовое и серийное производство.

В работе «Низкотемпературная нитроцементация штамповых сталей и наплавленных покрытий для повышения долговечности штампового инструмента» [3], проводилось исследование влияния низкотемпературной нитроцементации для штамповых сталей в том числе для стали типа X12M. Основным выводом в данной работе по нитроцементации стали типа X12M, автор делает следующее:

а) на высоколегированных сталях, таких как X12M, 6X6B3MФС, глубина нитроцементованных слоёв получается в несколько раз меньше, чем у менее легированных штамповых сталей 5ХГМ, 5ХНМ, У7. На всех сталях нитроцементованные слои имеют две зоны: карбонитридную зону на поверхности, отличающуюся высокой твёрдостью, и зону азотистого твёрдого раствора под карбонитридами.

б) Износостойкость нитроцементованных штамповых сталей, испытанная в условиях реальной эксплуатации штампов, превышает износостойкость тех же сталей после традиционной термической обработки в 1,5-2 раза (в зависимости от степени легирования). Ударная вязкость штамповых сталей в результате нитроцементации несколько понижается[3].

Т.о. автору удалось в своей работе улучшить некоторые показатели инструментальной штамповой стали за счет усовершенствования режимов химико-термической обработки, тем не менее, по-прежнему остается открытым вопрос комплексного легирования и методики квалитметрической оценки ВХИС.

В работе «Разработка оптимального легирующего комплекса и режимов термического упрочнения штамповых сталей» [4], проводилось исследование прочностных и пластических характеристик новой экспериментальной марки стали для горячего деформирования (штамповки) 70ХЗГ2ФТР, автор приводит результаты исследования:

а) Анализ исследований закаленной стали позволил определить оптимальную температуру закалки, соответствующую 1050 °С, так как при этой температуре формируется удовлетворительный размер зерна (для штампов горячего деформирования должен быть не менее 9 балла по ГОСТ 5632-82) и необходимое количество остаточного аустенита предположительно для появления при последующем высокотемпературном отпуске явления вторичной твердости.

б) На основании исследований степени разупрочнения структуры при отпуске экспериментальной стали можно заключить, что оптимальным температурным интервалом отпуска является 500-600 °С, так как в этом интервале происходит интенсивное выделение карбидных частиц, что играет важнейшую роль в обеспечении эксплуатационных свойств стали [4].

В данной работе автор исследовал режимы термической обработки для инструментальных сталей горячего деформирования и на основе статистического пакета обработки информации предложил режимы термической обработки

оптимальные, по его мнению, для разработанной марки стали. Тем не менее, по-прежнему остается открытым вопрос комплексного легирования, режимов термической обработки и методики квалитетической оценки ВХИС, т.к. применение статистических пакетов обработки данных не всегда оправдано из-за уникальных характеристик различных инструментальных сталей.

В следующей работе под названием «Экономнолегированные стали для литых штампов горячего деформирования и их термоциклическая и химико-термоциклическая обработка» [5], автор провел подробнейшее исследование инструментальных сталей для горячего деформирования, исследовал и предложил оптимальные режимы химико-термической обработки инструментальной стали в результате чего пришел к выводам:

Большими достоинствами химико-термической обработки с помощью обмазок является возможность осуществления упрочнения рабочих поверхностей изделий практически любой формы и габаритов без использования специального оборудования. Используя обмазки различных составов, можно изменять свойства поверхностных слоев изделий, одновременно защищая их от окисления и обезуглероживания. Существенного повышения долговечности изделий из сплавов на основе железа за счет их диффузионного насыщения с помощью обмазок можно ожидать в случаях, когда основными причинами их выхода из строя является: изнашивание, разгар, поверхностное разрушение вследствие контакта с агрессивными средами.

Чтобы выбрать метод насыщения для повышения стойкости инструмента, необходимо детально изучить условия его эксплуатации. Если в процессе изнашивания инструмент испытывает динамические воздействия, необходимы процессы, обеспечивающие формирование диффузионных слоев, обладающих наряду с повышенной твердостью невысоким фактором хрупкости. В диффузионных боридных покрытиях такого типа должна содержаться минимальная доля борида BeB. В связи с этим для повышения долговечности рабочих деталей горячепрессовых, а также вырубных штампов из углеродистых и низколегированных сталей целесообразно применение термоцикличе-

ского борирования. Данный вид покрытия может использоваться и для оснастки, работающей в условиях циклически изменяющихся температур в сочетании с высоким изнашиванием. Это в первую очередь относится к металлоформам для получения отливок из черных и цветных металлов.

Совмещение диффузионного насыщения из обмазок с нагревом и выдержкой под традиционно применяемую термообработку или проведение насыщения в режиме ТЦО сокращает общую длительность производственного цикла. Кроме того, обмазка обеспечивает защиту поверхностей изделий от окисления и обезуглероживания при длительных высокотемпературных воздействиях печной среды. В результате исключаются операции окончательной механической обработки, необходимые для удаления обезуглероженного поверхностного слоя пониженной твердости.

Вопрос о возможности использования совмещенного технологического процесса решается для каждого конкретного случая с учетом следующих требований: точность получаемых деталей, качество структуры основы, свойства получаемого поверхностного слоя и его поведение в условиях эксплуатации. Производственные испытания показывают, что более половины кузнечных штампов из номенклатуры машиностроительных заводов могут успешно изготавливаться с использованием совмещенного процесса.

Температурно-временные параметры совмещенного технологического процесса диффузионного упрочнения определяются, с одной стороны, скоростью формирования боридного слоя необходимой толщины, а с другой - заданными параметрами термической обработки инструмента и ее результатами: величиной зерна, твердостью и др.

В результате лабораторных и производственных экспериментов установлены температуры для процессов термодиффузионного упрочнения, обеспечивающие оптимальные сочетания свойств подслоя и матрицы литых сталей после закалки: 5ХНМ и 5ХНВ- 880-900 °С, 5ХНМВФ - 900-930°С, 45Х2МНФ -950-970°С, деформированной стали Х12М и других сталей этого класса - 1000 -1050°С [5].

И здесь, по-прежнему остается открытым вопрос комплексного легирования, режимов термической обработки и методики квалитметрической оценки ВХИС для холодного деформирования, т.к. термическая обработка и легирование ВХИС типа X12 и X8 не осуществляется только рассмотренными способами экономного легирования, ХТО и предложенными способами их оценки.

На примере следующих работ «Влияние атомного строения легирующих компонентов на превращения аустенита и разработка режимов термической обработки стали X12М» [6], «Упрочнение высокохромистых сталей и покрытий химико-термической обработкой для повышения стойкости в условиях коррозионно-механического изнашивания» [7], «Разработка и исследование высокостойких литейных хромистых сталей для пресс-форм литья под давлением алюминиевых сплавов» [8], посвященных исследованию влияния термической обработки и легирования инструментальных сталей для улучшения прочностных, пластических и эксплуатационных свойств можно смело утверждать, что для оценки качества существующих и создаваемых материалов необходима современная методика квалитметрической оценки.

Вышерассмотренные работы относились к Металлургии (по отраслям) — (ВАК 05.16.01), далее будут рассмотрены и проанализированы работы за период 10-15 лет, относящиеся к специализации Материаловедение (по отраслям) — (ВАК 05.02.01).

Итак, в работе «Повышение эксплуатационных свойств инструментальных сталей методами термоциклической обработки» [9], автор рассматривает актуальные вопросы повышения прочностных и пластических характеристик штампового и иного инструмента из сталей типа X12, X12М, X12МФ и их заменителей, работающих со значительными динамическими нагрузками в условиях сильного износа. Предлагаются методы термоциклической обработки и описаны недостатки вышерассмотренной ХТО, основные выводы по данной работе:

Установлены основные закономерности влияния температурно-временных параметров термоциклической обработки на физико-механические свойства инструментальной стали.

Построена математическая модель в виде аналитических зависимостей связывающих физико-механические свойства (твердость, ударная вязкость, прочность) с технологическими параметрами термоциклической обработки (количество циклов, температура и время) инструментальных сталей (X12M, 5X2NMФ и др.).

Установлено, что в сталях с различной исходной структурой формирование оптимального комплекса физико-механических свойств, сочетающего высокую твердость и прочность с достаточной пластичностью и ударной вязкостью, происходит при циклировании в интервале, где максимальная температура в цикле равна температуре закалки, а минимальная - температуре минимальной устойчивости переохлажденного аустенита данной стали. Сталь X12M при твердости 60 - 62 HRC и прочности 5000 МПа после ТЦО по оптимальным режимам имеет значения ударной вязкости $KC = 0,8 — 0,9$ МДж/м².

Исследования показали, что циклический нагрев и охлаждение во время ХТО значительно (до 2-х раз) ускоряют процесс диффузионного насыщения поверхности сталей бором независимо от их состава и исходного структурного состояния (литое состояние, деформированное и т.д.) [9].

Работа, посвященная исследованию свойств ВХИС после термоциклической обработки и выбора оптимальных режимов, не решает всех актуальных на сегодняшний день задач по комплексному легированию редкоземельными металлами, выбору оптимальных режимов термической обработки, разработки методики квалитетической оценки высокохромистых сталей и экономического обоснования.

В работе «Закономерности формирования структуры и свойств инструментальных сталей для холодного деформирования в процессе циклического

теплого воздействия»[10], на примере ВХИС типа X12, снова рассмотрены и предложены методы термоциклической обработки, основные выводы из проделанной работы:

На основании изучения условий работы, проведен анализ причин разрушения инструмента для холодного деформирования металлов. Показано, что большое влияние имеет хрупкое и малоцикловое разрушение. Поставлена задача по минимизации и устранению причин такого разрушения инструмента.

В качестве упрочняющей технологии, повышающей механические свойства углеродистых и легированных холодноштамповых сталей, предложен метод циклического теплового воздействия (ТЦО), как окончательная термическая обработка. Выбраны режимы термоциклической обработки, позволившие выделить основные параметры ТЦО и их влияние на механические свойства инструментальных сталей.

Методом математического планирования эксперимента построены математические модели, связывающие технологические факторы и механические свойства стали У8. Проведена улучшение режимов ТЦО для этой стали. Значение ударной вязкости стали У8, обработанной по оптимальным режимам составило более 300Дж/см, (при стандартной обработке - 40 Дж/см) при твердости 58-60HRC. Значения ударной вязкости стали X12M после ТЦО возрастают в полтора раза при сохранении твердости и прочности. Улучшение комплекса физико-механических свойств стали привело к повышению эксплуатационной стойкости инструмента, испытывающего высокие динамические нагрузки от 1,5 до 3 раз.

В результате ТЦО происходят следующие основные изменения: изменяется структура, размеры и морфология карбидов; одновременно снижается уровень внутренних напряжений; основным местом зарождения являются большие частицы карбидов, основным путём распространения трещин - межфазные границы « α -фаза - карбид» и внутрифазовые границы в α -фазе. Измельчение и перераспределение карбидов затрудняет, во-первых, зарождение микротрещин и, во-вторых, распространение их по указанным выше тра-

екториям. В сочетании с уменьшением внутренних полей напряжений указанные эффекты повышают ударную вязкость в результате ТЦО и последующего низкого отпуска. Благодаря тому, что параметры мартенситной и дислокационной структуры меняются при ТЦО незначительно, сохраняется высокое сопротивление деформированию стали. Таким образом, роль ТЦО проявляется через комплексный характер изменения параметров микроструктуры и внутренних напряжений.

Показаны изменения микроструктуры заэвтектоидной легированной инструментальной стали X12M, происходящие в результате циклического теплового воздействия: измельчение крупных и образование новых карбидов глобулярной формы; уменьшение содержания углерода в мартенситной фазе, уменьшение содержания остаточного аустенита.

Разработана технология термоциклической обработки штампов холодного деформирования [10].

Данная работа также не решает всех актуальных на сегодняшний день задач по комплексному легированию редкоземельными металлами, выбору оптимальных режимов термической обработки, разработки методики квалитетической оценки высокохромистых сталей и экономического обоснования выбранных решений.

И наконец, в работе «Теоретические и экспериментальные основы экономного легирования высокопрочных инструментальных сталей» [11], рассматриваются вопросы, связанные с легированием и использованием инструментальных сталей в производстве, также рассмотрены некоторые аспекты, связанные с качеством сталей, вот важные выводы, сделанные в ходе работы:

Качество инструментального материала определяется комплексом механических и физико-химических свойств: пределом прочности, твёрдостью, пределом выносливости, адгезией с обрабатываемым материалом, коэффициентом линейного расширения, коэффициентом диффузии, теплопроводностью, скоростью окисления.

Эффективность развития машиностроительного производства во многом определяется применением прогрессивных технологий получения изделий холодной пластической деформации: накатка и шлиценкатка, чистовая вырубка, высадка и выдавливание, особенно на высокоскоростных станках автоматах и роторно-конвейерных линиях. Расширение области применения холодной штамповки объясняется более рациональным использованием металла, повышением точности и механических свойств деталей, а также высокой производительностью процесса.

Установлено влияние содержания углерода, вольфрама и молибдена на ударную вязкость стали 7ХГ2ВМ (ЭП472) и внесены рекомендации в ГОСТ 595073 по уточнению химического состава стали, что позволило повысить ударную вязкость, необходимую для изготовления штампов, пресс-форм, деталей прецизионного машиностроения с минимальными объемными изменениями как при закалке, так и в эксплуатации.

Изучена и определена закономерность соотношения основных легирующих элементов (%) $Cr:Mo:V:Si = 4:2:1:1$ для создания экономнолегированной вторичнотвердеющей стали эвтектоидного состава - 6Х4М2ФС (Ди55), А.с. № 633923, которая введена в ГОСТ 5950-00.

Установлено, что предел усталости инструментальных сталей различных структурных классов 7ХГ2ВМ, 6Х4М2ФС, Х12М и Р6М5 находится в определенной зависимости между твердостью и прочностью. Предел усталости возрастает с повышением твердости до 60 НРС. При дальнейшем повышении твердости предел усталости снижается так же, как и прочность.

Критическое рассмотрение изучаемой проблемы показало, что холодноштамповочный инструмент не работает при нагрузках, соответствующих пределу усталости, а преждевременно выходит из строя из-за разрушений по малоцикловой усталости.

Впервые экспериментально установлено, что максимальные значения малоцикловой усталости достигаются при твердости инструмента 56-60 НРС и высокой прочности стали (менее 4000 МПа). При этом наивысшее значение

обеспечивается при дисперсионном твердении стали, т.к. выделившиеся карбиды упрочняют матрицу и блокируют движение дислокаций.

На основании установленной связи между статической и циклической прочностью инструментальных сталей с разрушением инструмента разработаны, запатентованы и внедрены в производство новые технологии термической обработки для повышения эксплуатационной стойкости инструмента высадки, вырубки, пробивки, шлиценакатки, вытяжки, штамповки в 1,5 - 3,0 раза закалкой из межкритического интервала температур, термоциклической и химико-термической обработки [11].

Вывод: Проанализировав вышеуказанные работы, написанные за последние годы, можно сделать вывод, что существует необходимость дальнейших исследований в области оптимизации термической обработки и легирования ВХИС. Для оценки улучшаемых материалов и абсолютно новых экспериментальных инструментальных сталей, необходима разработка методики квалиметрической оценки, т.к. использованные в приведенных работах методы исследования качества материалов дают частную оценку, а не дифференциальную (комплексную).

1.3 Современный этап развития управления качеством ВХИС

Квалиметрия – это научная дисциплина, изучающая методологию и проблематику комплексного количественного оценивания качества любых объектов: одушевленных или неодушевленных; предметов или процессов; продуктов труда или продуктов природы; имеющих материальный или духовный характер; имеющих искусственное или естественное происхождение и т.д. Квалиметрия — следствие процесса квантификации познания. Всеобщий и императивный характер тенденции увеличения сферы применения квантификации как одного из важнейших инструментов познания очень точно сформулировал Галилей: «Надо измерять все измеримое и делать измеримым то, что пока еще не поддается измерению». В наше время по существу ту же

мысль, но несколько иначе выразил отечественный математик Д.Б. Юдин: «Качество — это еще не познанное количество».

Актуальные аспекты развития квалиметрии:

- расширение сферы применения (по отраслям народного хозяйства);
- углубление анализа (по степени охвата решаемых в отрасли задач);
- совершенствование технологии оценивания качества[12].

Итак, современные тренды, проблемы и задачи по термической обработке и легированию ВХИС для штампового инструмента были рассмотрены нами выше в п.1.1.2, теперь мы возвращаемся к науке управления качеством.

Как упоминалось выше, на сегодняшний день не существует методики квалиметрической оценки ВХИС оптимизированных легированием и термической обработкой, хотя потребности, как для массового, так и для серийного производства существовали раньше и продолжают существовать. Глобализация рынков, бурный экономический рост оставляют только сильнейших производителей, способных выпускать конкурентно-способную продукцию за счет оптимизации издержек производства и непрерывного совершенствования организационных, технических, производственных, кадровых, экономических, финансовых, управленческих систем и процессов.

Рассмотрим работы за последние 10-15 лет, посвященные разработке методики управления качеством и оценим сложившиеся тренды в этой области.

В работе «Методологические основы повышения качества нефтегазопромысловых работ» [13], рассматриваются проблемы нефтегазопромысловой отрасли, в частности отсутствие современных эффективных методов управления качеством энергетического комплекса и, как следствие, неспособность к конкуренции с зарубежными компаниями. Автор указывает на необходимость разработки методики управления качеством нефтегазопромысловых работ и ее внедрения для получения наибольшей эффективности с применением системного подхода. Основные выводы по данной работе:

Показано, что при ежегодном объеме нефтегазопромысловых работ в сотни млрд. рублей управление их качеством является для отечественных сервис-

ных компаний основным фактором обеспечения конкурентоспособности, в том числе на зарубежном рынке.

Разработаны иерархические модели качества и основанная на них методология количественной оценки качества работ по строительству и ремонту скважин, учитывающая функциональность (технологическую и организационную), безопасность и экономическую эффективность работ.

Методология количественной оценки качества работ по строительству и ремонту скважин позволяет осуществлять: а) приоритезацию ключевых направлений улучшения качества, б) формирование оперативных и стратегических целей в области качества, в) оптимизацию качества нефтегазопромысловых работ, г) мониторинг достижения поставленных целей в заданных временных рамках.

Разработан инструментарий управления качеством нефтегазопромысловых работ (сеть по повышению качества) на основе интегрированной сетевой проектной работы по повышению качества. Система по повышению качества охватывает ключевых участников производственного процесса (рабочих, мастеров и специалистов) и обеспечивает: надежный и постоянный контроль качества; привлечение всего персонала к управлению качеством и его мотивацию на более высокий уровень качества; создание непрерывной цепочки позитивных изменений в области качества. Создание сети по повышению качества обеспечивает эффективность и прозрачность бизнес-процессов, повышает управляемость компанией, ее прибыльность и капитализацию.

Впервые разработана методика расчета минимально-достаточных ресурсов специализированных служб, управляющих на производстве качеством нефтегазопромысловых работ (служба качества, служба супервайзинга и т.д.), учитывающая номенклатуру и объемы работ в соответствии с функционалом данных служб, а также эффективный фонд рабочего времени их сотрудников. Процедура вычислений может быть автоматизирована (в том числе на базе использования электронных таблиц MS Excel).

Методика расчета минимально-достаточных ресурсов специализированных служб, управляющих качеством, успешно внедрена в службах качества ОАО «ЮНГ», ОАО «СНГ», ОАО «ТН», а также в службе супервайзинга нефтяной компании «ТНК-ВР».

Система по повышению качества внедрена в ОАО «ЮНГ», ОАО «СНГ», ОАО «ТН» с экономическим эффектом свыше 0,5 млрд. руб., который получен путем снижения отказов скважинного оборудования по техническим причинам за 3 года с 34% до 14% (в среднем ежегодно было предотвращено от 600 до 700 отказов) [13].

В следующей работе «Методологические основы автоматизированного контроля качества датчиков давления» [14], поставлена и решена актуальная в научном отношении и практически важная проблема разработки теоретических основ, синтеза средств и методов автоматизированного оперативного контроля качества датчиков давления в процессе их производства и эксплуатации. При решении данной проблемы впервые разработана концепция и научно обоснована методология автоматизированного контроля качества датчиков давления и получены следующие основные результаты.

Проведен системный анализ и реинжиниринг процесса контроля качества датчиков давления воздуха с применением современных инструментов управления качеством продукции (структурный анализ по разработанной методологии, развертывание функции качества и квалиметрический анализ), который выявил актуальность в совершенствовании методологии и технических средств.

Разработана структура прецизионной системы контроля качества датчиков давления на основе автоматизированной системы задания давления, включающей блок пневморегуляторов постоянного перепада. Впервые теоретически доказано и обосновано применение пневморегуляторов постоянного перепада давлений для расширения диапазона задаваемых давлений и повышения точности.

Проведен анализ погрешности автоматизированной системы задания давления, в результате которого выявлены ее основные составляющие, и экспериментально определена ее погрешность, которая не превышает 20 Па в диапазоне от 0,7 до 100 кПа и 0,015% верхней границы шкалы в диапазоне от 100 до 285 кПа, что доказывает соответствие погрешности АСЗД рабочему эталону 1-го разряда, поверочной схемы для средств измерений абсолютного давления, и возможность использования - АСЗД в качестве прецизионного инструмента рабочего эталона 1-го разряда при автоматизированном контроле качества приборов измерения давления.

Впервые предложена и теоретически исследована математическая модель для расчета расходных характеристик регулирующего органа при течении воздуха с постоянными перепадами давлений. Математическая модель приведена к расчетному уровню и может быть использована для решения практических задач проектирования систем автоматизированного контроля качества датчиков давления.

Разработана новая математическая модель двухконтурной автоматизированной системы задания давления для определения аналитической зависимости между величиной перепада давлений на регулирующем органе и параметрами режима контроля.

Математическое, алгоритмическое, программное и аппаратное обеспечение реализованы в экспериментальном образце автоматизированной системы задания давления, являющейся основным компонентом системы контроля качества датчиков давления. Предлагаемые решения защищены патентом РФ на полезную модель (Заявка № 2010147209 от 18.11.2010, положительное решение опубликовано 06.05.2011 на <http://fips.ru>).

Применен многомодельный подход к анализу и аналитическому описанию функции преобразования датчика давления с учетом множества состояний контролируемых параметров качества.

Научно обоснована точность средств измерения (задания) давления, обеспечивающая достоверность автоматизированного контроля качества, а именно:

соответствие метрологических характеристик датчиков давления требуемым при определенном соотношении погрешностей эталонного и контролируемого приборов [14].

В работе «Разработка метода создания и управления качеством наукоемкой продукции» [15], рассмотрен вопрос разработки метода создания и управления качеством наукоемкой продукции, обеспечивающего высокую конкурентоспособность на мировом рынке продукции. Основные результаты и выводы:

На базе проведенных исследований и разработок, предложен новый, отличный от существующих в отечественном самолетостроении, метод создания и управления качеством наукоемкой продукции, обеспечивающий высокую конкурентоспособность на мировом рынке продукции.

Отличительными особенностями предложенного метода, созданного в результате систематизации совокупности и последовательности нижеперечисленных инновационных процессов, являются:

- создание, объединенного организационно и территориально, проектного коллектива, включающего, наряду с отечественными, специалистов более чем 20 зарубежных фирм - соисполнителей, силами которого, выполнено электронное описание продукции и осуществлен выпуск документации в режиме CALS технологий, с ответственным участием фирм - соисполнителей в работах на всех этапах жизненного цикла продукции;
- создание эффективной системы управления проектом, включающей автоматизированную систему и адаптированный к ней метод комплексной поэтапной отчетности и контроля качества «Стадия - Проход»;
- разработка сводного плана бизнес - процессов, содержащего конкретные формулировки бизнес - процессов для каждого направления деятельности, на всех этапах жизненного цикла, в том числе, связанных с управлением качеством, сертификацией и рисками, с четким разграничением зон ответственности участников процесса;

- разработка и внедрение процессов и форм гармонизации систем менеджмента качества головного и зарубежных исполнителей.

Разработана функциональная модель предложенного метода в среде IDEF0, обеспечившая формализацию метода и повышение его качества, за счет уточнения последовательности действий, определения необходимых информационных, материальных и производственных ресурсов.

Подтверждена эффективность разработанного метода, с помощью расчетов по оценке конкурентоспособности продукции.

Реализованная система международного сотрудничества обеспечивает возможность широкого использования компетенций зарубежных фирм в области новейших прогрессивных технологий, программного обеспечения, маркетинга, послепродажного обслуживания, возможность ускорения международной сертификации ВС и выхода на мировой рынок.

Метод создания и управления качеством наукоемкой продукции внедрен в ЗАО «Гражданские самолеты Сухого» в процессе разработки регионального самолета «Суперджет 100», его сертификации, серийного производства и эксплуатации, в том числе в форме ряда нормативных документов, созданных с участием автора [15].

В следующей работе «Разработка методики статистического управления процессами при измерении характеристик качества с помощью порядковой шкалы» [16], цель исследования заключается в повышении стабильности процессов за счет создания методической базы для статистического управления процессами при измерении характеристик качества с помощью порядковой шкалы. Основные результаты работы:

Полученные в настоящей работе результаты создают методическую базу для статистического управления процессами при использовании порядковой шкалы измерения характеристик качества и способствуют повышению стабильности процессов.

В результате исследования моделей и методов управления качеством:

- выявлена проблема реализации модели статистического управления процессами и модели процессного подхода в тех случаях, когда измерения невозможно выполнить с помощью технических средств, обусловленная отсутствием методической базы для управления характеристиками качества процессов, измеряемыми с помощью порядковой шкалы;

- сделан вывод о том, что существует большой класс процессов, характеристики качества которых невозможно измерить с помощью количественных шкал. Такие процессы могут встречаться не только в сфере услуг, но и в сфере производства, когда точное измерение характеристики качества процесса становится технически и экономически нецелесообразным;

Предложен метод оценки стабильности процесса с применением непараметрических критериев определения сдвига характеристик качества. Указанный метод основан на интеграции контрольных карт Шухарта с непараметрическими критериями при использовании порядковой шкалы измерения характеристик качества.

В рамках предложенного метода разработаны контрольные карты непараметрических критериев сдвига, применимые для характеристик качества, измеряемых с помощью порядковой шкалы.

Разработана методика статистического управления процессами с применением порядковой шкалы, основанная на использовании разработанного автором метода оценки стабильности процесса, а также включающая научно обоснованный подход к формированию операциональных определений характеристик качества и требований к их выбору.

Разработаны рекомендации по выбору методов анализа характеристик качества для управления процессом, а также предложена классификация методов по этапам цикла Шухарта-Деминга, дополненная применением непараметрических методов анализа, позволяющих работать с характеристиками, измеренными в порядковой шкале [16].

В работе «Квалиметрическая оценка управленческих решений в системе менеджмента качества» [17], целью являлось создание методики квалимет-

рической оценки качества управленческих решений и рисков от их возможной реализации. Результаты и основные выводы представлены ниже. В диссертации решена актуальная научная задача - разработана и научно обоснована методика квалиметрической оценки качества управленческих решений и рисков от их возможной реализации, которая может быть составной частью автоматизированной системы управления предприятием в рамках системы менеджмента качества. Методика может использоваться как основа регламента для оценки качества УР.

Установлены единичные показатели качества управленческих решений. С использованием анкетирования и электронного опроса определены весовые коэффициенты для каждого критерия.

Предложено для определения бальных оценок использовать комплексный показатель качества, понятие допуска на величины параметров, от которых зависит качество единичных показателей и управляющий параметр, например, время реализации решения, масштаб охвата и т.п.

Разработана универсальная методика определения бальных оценок, базирующаяся на аналитических зависимостях, учитывающих предельные значения оцениваемого параметра, тенденцию изменения ситуации и вариацию управляемого параметра. Методика составляет основу научной новизны диссертационной работы. С ее помощью разработаны способы определения бальных оценок для единичных показателей качества управленческих решений.

Разработана общая методика оценки рисков и адаптирована к оценке рисков по отдельным единичным показателям. Для ряда показателей (целенаправленность, своевременность, научная обоснованность, масштабность) общие зависимости скорректированы с учетом особенностей оцениваемого критерия.

Разработан специализированный программно-методический комплекс (ПМК) для квалиметрической оценки качества и рисков принимаемых управленче-

ских решений, который принят к внедрению в компании ООО «Электронные Офисные Системы (проектирование и внедрение)» [17].

В следующей работе «Методика прогнозирования качества покрытия при горячем цинковании проволоки на основе использования статистического анализа и фрактальной геометрии» [18], целью работы является: разработка методики прогнозирования качества покрытия при горячем цинковании проволоки на основе использования методов статистического анализа и геометрии конструктивных фракталов для обеспечения регламентированного уровня качества продукции. Основные результаты представлены ниже.

На основании анализа, существующей технологии горячего цинкования стальной проволоки и проблем нанесения покрытий было показано, что несмотря на развитие уровня технологических процессов и оборудования для цинкования стальной проволоки, в настоящее время возникает ряд проблем, связанных с низким качеством выпускаемой продукции. Были выделены дефекты, наиболее часто возникающие при нанесении цинковых покрытий: отслоение, неравномерность, шелушение, коррозия. А также рассмотрены причины их возникновения.

Анализ требований к цинковому покрытию стальной проволоки позволил определить показатели качества покрытия и оцинкованной проволоки в целом. Было установлено, что основным объективным показателем качества оцинкованной проволоки является масса цинкового покрытия.

Предложена комплексная методика статистического анализа процесса горячего цинкования стальной проволоки, позволяющая оценить стабильность процесса, влияние факторов цинкования, на основной показатель качества, а также установить рациональные значения факторов с целью повышения качества покрытия. Доказана адекватность построенных статистических зависимостей.

Разработана методика прогнозирования структуры цинкового покрытия на основе математической модели геометрии конструктивных фракталов, по-

звolyющая установить соотношение железоцинковых фаз в зависимости от продолжительности погружения проволоки в расплав. Полученные расчетные значения толщины железоцинковых фаз подтверждены проведенным металлографическим анализом образцов оцинкованной проволоки, а также графическим анализом образцов оцинкованной проволоки, а также оценочным расчетом толщины покрытия.

Разработана методика определения рационального скоростного режима движения проволоки в агрегатах горячего цинкования, позволяющая на основании теории нестационарной теплопроводности установить необходимое время пребывания стальной заготовки в расплаве и получить качественное покрытие с необходимым сцеплением основой.

Разработан алгоритм реализации комплексной методики прогнозирования качества цинковых покрытий стальной проволоки. Предложены мероприятия по совершенствованию процесса нанесения: цинковых покрытий на стальную проволоку в условиях агрегата на ОАО «ММК-МЕТИЗ» с целью повышения качества выпускаемой продукции.

В рамках металлографического исследования образцов оцинкованной проволоки доказана эффективность использования приведенных рекомендаций. Разработанные технологические мероприятия в виде рациональных режимов нанесения цинковых покрытий на стальную проволоку, регламентации требований к исходной стали, системы и методики сбора и обработки информации о текущем производстве промышленно опробованы и внедрены в производство на ОАО «Магнитогорский метизнокалибровочный завод «ММК-МЕТИЗ». Ожидаемый экономический эффект от внедрения и повышения качества продукции составит 1,2 млн. руб. [18].

В следующей работе «Разработка методики управления качеством испытательного оборудования в процессе эксплуатации» [19], целью исследования является совершенствование методов управления качеством испытательного оборудования для повышения эффективности и достоверности наземных испытаний авиационной и ракетно-космической техники. Объектом

исследования являются параметры качества оборудования для испытаний авиационной и ракетно-космической техники.

Предметом исследования являются научно-методические подходы к обеспечению требуемого уровня качества, надежности оборудования для испытания перспективных изделий авиационной и ракетно-космической техники. В результате проведения теоретических и экспериментальных исследований поставленные задачи были решены и получены следующие результаты:

Разработаны методики управления качеством, оценки и прогнозирования состояния испытательного оборудования, обеспечивающие повышение эффективности и достоверности наземных испытаний авиационной и ракетно-космической техники.

Выполнен системный анализ проблем обеспечения качества испытаний авиационной и ракетно-космической техники, позволивший разработать методологические принципы моделирования динамики качества испытательного оборудования, контроля и прогнозирования несоответствий в процессе его эксплуатации.

На основе обобщенной схемы испытательного стенда разработана математическая модель для определения фактического состояния систем, учитывающая влияние периодичности и ошибок контроля, интенсивность скрытых и внезапных отказов.

Разработана методика выбора предупреждающих действий, определяющая требования к временным точностным характеристикам системы контроля, и являющаяся инвариантной к конкретной структуре испытательного оборудования и методам контроля.

Выполнено обоснование выбора контролируемых параметров испытательного оборудования и анализ необходимой достоверности контроля и на этой основе разработана методика для определения минимального количества контролируемых параметров, достаточных для определения фактического состояния испытательного оборудования.

Усовершенствован метод оптимизации величин контрольных допусков, снижающий риск принятия ошибочных решений, положенный в основу предложенной процедуры использования суженных допусков для определения периодичности контроля параметров качества и снижения вероятности появления несоответствий.

Разработана методика мониторинга состояния испытательного оборудования, основанная на контроле динамики функциональных параметров с учетом влияния точности их идентификации и определения времени достижения критического состояния.

Все разработки апробированы на практике проведения контроля качества вибрационных стендов, и установок для статических и динамических испытаний элементов авиационной и ракетно-космической техники в промышленных условиях. Применение разработанной методики позволило уменьшить число испытаний на неисправном оборудовании [19].

В следующей работе «Разработка методических рекомендаций по применению квалиметрических методов оценки качества материалов в условиях высокоскоростного нагружения» [20], целью работы являются исследования, направленные на разработку рекомендаций по применению квалиметрических методов для проведения оценки качества материалов в условиях высокоскоростного нагружения. Основные результаты исследования и выводы:

Разработан механизм оценки качества и подбора материалов в условиях высокоскоростного нагружения, основанный на применении квалиметрических методов.

В результате анализа поведения материалов в определенных условиях экспериментального ударного нагружения и существующих подходов к измерению качества объектов разработан такой подход к выбору квалиметрических методов для оценки качества нагруженных материалов, где в качестве определяющих критериев использованы динамические характеристики.

Проведены экспериментальные испытания и анализ результатов для различных материалов и методов нагружения. На основе полученных характеристик разрушения и разработанного подхода составлены показатели качества для различных видов материалов и осуществлен подбор приемлемых квалитметрических методов оценки качества для материалов в условиях ударного нагружения.

Квалитметрические методы оценки качества модифицированы для возможности оценки нагруженных материалов: составлены показатели и их базовые значения, разработаны таблицы градаций, определены коэффициенты весомости. Предлагаемые методы позволяют произвести оценку качества материалов в сложных условиях высокоскоростных ударных явлений.

В соответствии с предложенными методами разработаны алгоритм проведения оценки качества для каждого вида материалов и способа нагружения и методические рекомендации по порядку использования предложенных квалитметрических методов оценки.

Проведено практическое исследование качества материалов в соответствии с разработанными рекомендациями. На основе полученных результатов сформулированы соответствующие выводы [20].

В работе «Разработка методики непрерывного улучшения деятельности организации на основе применения системного подхода и статистического управления процессами» [21], целью работы является повышение эффективности системы менеджмента качества за счет непрерывного улучшения деятельности организации на основе применения системного подхода и статистического управления процессами.

Основные результаты приведены ниже.

Выделены и определены новые системные аспекты, описывающие ошибочные подходы к совершенствованию процессов. Это позволяет менеджерам среднего и высшего звена овладеть идеями дисциплины и методологией Шухарта-Деминга гораздо более простым и естественным образом, легко реализуемым на практике.

Предложена операциональная модель непрерывного улучшения процессов любой организации, заключающаяся в объединении методологий статистического и системного мышления. Данная модель основана на выделении новых процессных архетипов и их практическом анализе с помощью контрольных карт Шухарта.

Разработана модель и проведены оценки значений вероятности принятия решений и действий, приводящих к ухудшению системы. Показано, что если лицо, принимающее решение, не использует статистическое и системное мышление, то вероятности ошибочных решений могут достигать 13 % в случаях, когда с процессом все в порядке, и вмешательства в него не требуется, 26 %, когда процесс оказывается нестабильным, и 50 %, когда процесс невоспроизводим.

Разработан вариант модифицированного цикла Шухарта-Деминга, позволяющий детализировать процедуру его применения, путем включения в него системно-статистического подхода, что в свою очередь существенно повышает эффективность его практического использования.

Разработана структурированная методика, включающая последовательное выявление системных архетипов с помощью контрольных карт Шухарта, а также позволяющая определять цели, уровни и последовательность корректирующих и предупреждающих действий и оценивать их результативность.

Предложенная методика позволяет четко определить уровень и цели вмешательства в процессы, что дает возможность снизить материальные и временные затраты при выполнении корректирующих и предупреждающих действий и улучшении процессов организации.

Предлагаемая методика реализована и адаптирована для применения на двух металлургических предприятиях. Установлено, что практическое применение данной методики позволяет:

- быстрее обнаруживать проблемы и тенденции, завуалированные в процессах производства, и своевременно принимать корректирующие и предупреждающие воздействия;

- устанавливать цели совершенствования, не противоречащие "голосу системы";
 - реально улучшать производство по многим направлениям одновременно.
- [21].

Вывод: Проанализировав вышеуказанные работы, написанные за последние годы, можно сделать вывод, что существует необходимость дальнейших исследований, как в области оптимизации термической обработки, так и легирования ВХИС. Для оценки улучшаемых материалов и абсолютно новых экспериментальных инструментальных сталей, необходима разработка методики квалитметрической оценки, т.к. использованные в приведенных работах методы оценки качества применимы в большинстве случаев для тех объектов исследования, на примере которых и были представлены результаты проделанных работ. В то же время в некоторых работах уже рассмотрены такие квалитметрические инструменты как: паутина качества и дифференциальный метод, метод секторных диаграмм, функция желательности, корреляционный анализ, диаграмма разброса, ранжированный ряд. Но применение данных методов для квалитметрической оценки высокохромистых сталей оптимизированных легированием и термической обработкой нигде еще не было рассмотрено и предложено для практического применения.

1.4 Обзор периодической литературы по управлению качеством ВХИС

Выше были рассмотрены диссертации связанные с термической обработкой, легированием и управлением качеством ВХИС, а также был сделан общий вывод относительно той ситуации, которая сложилась в области легирования, термической обработки и управления качеством ВХИС за последние два десятилетия.

В этой главе мы рассмотрим наиболее значимые публикации в периодической литературе по легированию, термической обработке и самым главным аспектом – управлению качеством ВХИС.

Итак, в статье «Общие закономерности проявления масштабного фактора при определении прочности и твердости металла» [22], авторами установлен общий характер изменения предела текучести, временного сопротивления, предельной равномерной деформации металла при растяжении образцов в зависимости от их исходного диаметра, а также твердости на пределе текучести, твердости на пределе прочности, параметра деформационного упрочнения при вдавливании сферических инденторов в зависимости от их диаметра. Предложены условия подобия, согласно которым количественные соотношения указанных характеристик прочности и твердости остаются постоянными при деформировании металла на макро-, мезо-, микроуровнях.

В статье «Применение принципов оптимального планирования эксперимента при разработке процедур выбора управленческих решений на предприятии» [23], автором рассмотрены модели для автоматизированного формирования управленческих решений в современных корпоративных информационных системах предприятий. Для эффективной настройки моделей используются принципы оптимального планирования эксперимента на месте, принимающем решения. Построены алгоритмы синтеза рандомизированных, композиционных, рототабельных планов экспериментов. Предложены процедуры на основе планирования активного и/или полуактивного экспериментов для предъявления менеджеру ситуаций выбора. Полученные модели представляют собой средства аккумулирования знаний о критериальных предпочтениях менеджеров в ситуациях выбора и используются в системах поддержки принятия управленческих решений на предприятиях.

В статье «Новые возможности современных методов анализа сталей» [24], авторами на примере исследований, проводимых в Лаборатории диагностики материалов ИМЕТ РАН, рассмотрены возможности современных методов определения неметаллических включений в сталях и сплавах и оптимизации внепечной обработки рельсовой стали. Показаны возможности применения комплекса методик — спектрометрии тлеющего разряда, металло-

графического и микрорентгеноспектрального методов для исследования поверхностных слоев в сталях после термохимической обработки.

В статье «Статистические пакеты – инструменты исследователя» [25], автором проанализированы проблемы разработки, внедрения и использования статистических пакетов в России за последние 20 лет. Дан критический анализ популярных в настоящее время пакетов в сопоставлении с результатами современных научных исследований. Намечены перспективы развития работ в области статистического программного обеспечения.

В следующей статье «Методы планирования эксперимента для исследования моющей способности растворов после их электрохимической обработки» [26], авторами описана процедура планирования эксперимента для исследования моющей способности растворов после их электрохимической обработки. Рассмотрены три вида растворов: католит, анолит и их смесь (в соотношении 1:1). Для них установлены оптимальные значения концентрации, напряжения на электродах и скорости потока через электролизер. Выявлены условия, обеспечивающие максимальную моющую способность растворов.

В статье «Экспериментально-расчетный метод идентификации деформационных и прочностных свойств материалов» [27], авторами описан экспериментально-расчетный метод исследования деформационных и прочностных свойств упругопластических материалов при больших деформациях и неоднородном напряженно-деформированном состоянии. Рассмотрено применение данного метода для построения истинных диаграмм деформирования при растяжении образцов до разрушения и при кинетическом внедрении упругого индентора в исследуемый образец.

В статье «Шесть сигм - новая система внедрения математических методов исследования» [28], автором показано, что основное внимание исследователей и управленцев переносится с разработки отдельных математических методов исследования на системы их внедрения в практическую деятельность предприятий и организаций. Обсуждается новая система внедрения ма-

тематических методов исследования “шесть сигм”. Она дает алгоритмы практической деятельности по организации внедрения этих методов.

В статье «Математические методы исследования и теория измерений» [29], автором рассмотрены основные идеи теории измерений. Описаны шкалы наименований, порядка, интервалов, отношений и др. Обосновано требование инвариантности статистических выводов относительно группы допустимых преобразований шкалы измерения. Установлены правила выбора вида средних величин в соответствии с типом шкалы измерения (для данных, измеренных в шкалах порядка, интервалов и отношений).

В статье «Контроль качества изотермической закалки сталей» [30], автором приведены результаты исследований твердости и прочности на разрыв образцов стали 40Х, подвергнутых изотермической закалке, и зависимости от температуры изотермической выдержки. Для перехода к электромагнитному методу контроля исследуется возможность характеризующая прочность образцов по измеренным электромагнитным параметрам. Описана схема экспериментальной установки и показана возможность контроля качества путем использования электромагнитного метода в двухпараметровом варианте.

В статье «Оценка качества технологического процесса на основе структурно-силового анализа прочностной неоднородности материала» [31], авторами описана методика структурно-силового анализа прочностной неоднородности конструкционных материалов, которая основана на применении микромеханической модели акустической эмиссии гетерогенного материала для анализа его разрушения и излучения сигналов акустической эмиссии. На примере образцов сварных соединений показана возможность использования методики для оценки качества технологического процесса.

В статье «Методики и некоторые результаты применения метода акустической эмиссии для оценки эксплуатационных свойств инструментальных материалов» [32], авторами проанализирована работоспособность инструмента в заданных условиях эксплуатации без натуральных испытаний. Для этого созданы условия нагружения, близкие к реальным, и оценена способность

инструментального материала сопротивляться превалирующему механизму разрушения путем контроля физико-механических характеристик, информативно отражающих эксплуатационные свойства.

В статье «Использование инструментов и методов управления качеством в практике управления знаниями машиностроительного предприятия» [33], автором рассмотрены общие черты между всеобщим управлением качеством и управлением знаниями, которые указывают на то, что ряд инструментов и методов управления качеством можно расширить и дополнительно применить в практике управления знаниями.

В статье «Статистический метод прогнозирования показателей качества приборных корпусов радиоэлектронных средств» [34], авторами рассмотрена актуальная проблема повышения качества базовых моделей и размерно-параметрических рядов приборных корпусов радиоэлектронных средств и предложен метод прогнозирования показателей их качества на основе статистических оценок.

Вывод: Проанализировав вышеуказанные статьи периодических изданий, можно утверждать, что методики квалиметрической оценки ВХИС оптимизированных легированием и термической обработкой до сих пор не были нигде рассмотрены и результаты исследований не были представлены. В своей совокупности, рассмотренные выше статьи, представляют методический материал по управлению характеристиками объектов исследований, на примере которых они и были представлены.

Так же, нужно учесть, что за последние годы некоторая часть работ посвящена аналитическим методам управления качеством «Применение методов проверки гипотез для выявления причин снижения качества» [35], «Функции когерентности для выявления причин снижения качества» [36] и др., но, к сожалению, эти работы не имеют отношения к нашей теме. В технической, учебной и научной литературе [37-52] посвященной исследованиям в области управления качеством ВХИС, также наглядно не представлено комплексной методики квалиметрической оценки ВХИС оптимизированных легированием

и термической обработкой, т.о. снова подтверждается необходимость разработки методики квалитетической оценки ВХИС оптимизированных легированием и термической обработкой.

1.5 Обзор стандартов по управлению деловой деятельностью в области качества и общего управления

1. Стандарт ГОСТ ISO 9001-2011 "Системы менеджмента качества. Требования" устанавливает требования к СМК, которые могут использоваться для внутреннего применения организациями, в целях сертификации или заключения контрактов. Направлен на результативность СМК при выполнении требований потребителей. В тоже время в стандарте отсутствуют конкретные методы оценки качества и принципы их применения. Основной идеей стандарта является внедрение "процессного подхода" при разработке, внедрении и улучшении результативности СМК с целью повышения удовлетворенности потребителей путем выполнения их требований. [53]

2. Стандарт ГОСТ Р ИСО/МЭК 15 288-2005 "Информационная технология. Системная инженерия. Процессы жизненного цикла систем" устанавливает общие основы для описания жизненного цикла систем, созданных людьми, определяет детально структурированные процессы и соответствующую терминологию. Определенные совокупности этих процессов могут быть реализованы на любом иерархическом уровне структуры системы. Выбранные из этих совокупностей процессы могут быть использованы в течение всего жизненного цикла, что осуществляется путем вовлечения всех участников, заинтересованных в достижении конечной цели - удовлетворенности заказчиков. Стандарт распространяется на системы, которые созданы человеком и состоят из одного или нескольких следующих элементов: технические средства, программные средства, люди, процессы (например, процесс оценки), процедуры (например, инструкции оператора), основные средства и природные ресурсы (например, вода, объекты живой природы, минералы). Стандарт применим к полному жизненному циклу системы, включая замы-

сел, разработку, производство, эксплуатацию и снятие с эксплуатации, а также приобретение и поставку систем, осуществляемых внутри или вне организации. Процессы жизненного цикла, представленные в стандарте, могут применяться однократно, многократно и рекурсивно по отношению к системе и ее элементам. Существует широкий круг систем, отличающихся назначением, областью применения, сложностью, размером, новизной, адаптируемостью, количественными характеристиками, местом расположения, временем жизни и эволюции. В стандарте описываются процессы, составляющие жизненный цикл любой искусственной системы, создаваемой людьми. Он применим для систем единичного и массового производства и систем, адаптируемых по требованиям заказчика. Стандарт может использоваться организациями, выступающими в роли как поставщиков, так и приобретающих сторон. Он может применяться одной из сторон в индивидуальном порядке или в порядке, согласованном несколькими участниками. Участвующие стороны могут принадлежать одной организации или различным организациям, а результат согласования их действий может варьироваться от неформального соглашения вплоть до официального контракта. Процессы, представленные в стандарте, могут быть использованы как основа для формирования деловой среды, например методов, технических приемов и способов, инструментальных средств и обученного персонала. Стандарт определяет эталонную модель процесса, охарактеризованную в терминах целей и результатов, являющихся итогом успешной реализации процесса. Таким образом, стандарт может применяться в качестве эталонной модели для поддержки оценки процесса. В стандарте не детализируются процессы жизненного цикла в терминах методов и процедур, необходимых для удовлетворения требований и достижения результатов процесса. Стандарт не устанавливает требований к документации в части ее наименований, форматов, явно определенного содержания и среды для записи. Настоящий стандарт не должен противоречить политике, процедурам и нормам любой организации, национальным законам

или регулирующим документам. Каждое такое противоречие должно быть разрешено до начала использования настоящего стандарта. [54]

3. Стандарт ГОСТ Р ИСО/МЭК 31000 - 2010 "Менеджмент риска. Принципы и руководство" - стандарт может использовать любое государственное, частное или общественное предприятие, ассоциация, группа лиц или отдельное лицо. Стандарт не является специфическим для какой-либо промышленности или отрасли. Он может применяться в течение всего жизненного цикла организации и для широкого спектра деятельности, включая стратегии и решения, операции, процессы, функции, проекты, продукцию, услуги и активы.

Несмотря на то что стандарт предоставляет обобщенное руководство, он не предназначен для обеспечения единообразия риск-менеджмента во всех организациях. При создании и применении планов, касающихся инфраструктуры риск-менеджмента, необходимо учитывать различные потребности конкретной организации, ее частные цели, ситуацию, структуру, операции, процессы, функции, проекты, продукты, услуги и активы, а также конкретную практику, принятую в организации. Это следует понимать в том смысле, что настоящий стандарт необходимо использовать для гармонизации процессов управления риском, описанных в существующих и будущих стандартах. Стандарт устанавливает общий подход для поддержки стандартов, распространяющихся на конкретные риски и/или отрасли, и не заменяет эти стандарты [55].

1.6 Классификация показателей качества и методов их оценки

Под показателем качества продукции понимают количественную характеристику одного или нескольких свойств продукции, входящих в ее качество, рассматриваемую применительно к определенным условиям ее создания и эксплуатации или потребления. А свойство продукции – объективная особенность продукции, которая может проявляться при ее создании, эксплуатации или потреблении [1].

Под показателями качества материала понимают взаимосвязанную совокупность показателей, характеризующих его назначение, надежность, безопасность, эстетические свойства, уровень стандартизации и унификации, патентно-правовые аспекты, транспортабельность, экономические и др. параметры. В общей совокупности показателей качества материалов выделяют единичные и комплексные показатели, характеризующие их свойства, а также обобщающие показатели, выражающие уровень их качества [1]. Единичный показатель качества продукции характеризует одно из её свойств, а комплексный – несколько свойств. Единичные и комплексные показатели качества материалов применяются для определения конкретных заданий по улучшению качества с учетом особенностей выпускаемой продукции и характера ее производства. Определяющий показатель качества продукции – это тот, по которому принимают решение оценивать ее качество. Интегральный показатель качества продукции является отношением суммарного полезного эффекта от эксплуатации или потребления продукции к суммарным затратам на ее создание и эксплуатацию или потребление. Обобщающие показатели характеризуют качество выпускаемой продукции независимо от ее вида и назначения. К ним, в частности, может относиться объем и удельный вес производства отдельных видов прогрессивных, высокоэффективных материалов в общем выпуске продукции данной группы, а также величина экономического эффекта от использования материалов повышенного качества [1].

Всю совокупность показателей качества материалов можно классифицировать по различным признакам [1] :

- количеству характеризующих свойств (единичные и комплексные);
- отношению к различным свойствам материалов (показатели прочности, долговечности, технологичности, безопасности и др.);
- стадии определения (проектные, производственные, эксплуатационные);
- методу определения (расчетные, экспериментальные, экспертные);

- характеру использования для оценки уровня качества (базовые и относительные);
- способу выражения (показатели, выраженные безразмерными единицами измерения, например, баллами или процентами, и размерные).

Существуют основные группы показателей качества, используемые при оценке качества материалов:

1. Показатели назначения – характеризуют свойства материала, определяющие основные функции, для выполнения которых материал предназначен, и обуславливают область его применения (функциональной и технической эффективности, конструктивные, состава и структуры, технологические);
2. Показатель надежности. Надежность – это свойство продукции 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 транспортирования. Надежность является комплексным свойством и для материалов включает свойства живучести, долговечности и дефектности;
3. Показатели безопасности - характеризуют особенности материалов, связанные с обеспечением безопасных условий их производства, обращения, потребления и утилизации (химической безопасности, радиационной безопасности, санитарно-гигиенической безопасности, механической безопасности, пожарной безопасности);
4. Эстетические показатели - характеризуют разнообразные эстетические свойства: выразительность, гармоничность, целостность, соответствие среде и стилю, колористическое оформление и др. (рациональности формы, информационной выразительности, целостности композиции, совершенства производственного исполнения);
5. Дополнительные показатели :

- показатели транспортабельности материалов характеризуют их приспособленность к перемещению в пространстве (без эксплуатации или потребления) с помощью различных видов транспорта;
- показатели сохраняемости характеризуют оптимальные и допустимые условия нахождения материалов;
- показатели однородности обычно используются для характеристики рассеивания единичных показателей качества материалов;

б. Обобщающие показатели :

- показатели стандартизации и унификации характеризуют степень использования в конкретном материале стандартизированных составляющих, а также уровень унификации составных частей сложных по пространственной структуре, в том числе, многослойных материалов;
- патентно-правовые показатели качества продукции характеризуют степень патентной защиты в Российской Федерации и за рубежом, а также уровень патентной чистоты;
- экономические показатели характеризуют не само качество материала, а затраты при его разработке и изготовлении, связанные с улучшением параметров материала. Они характеризуют также экономическую эффективность потребления материала.

Существуют четыре метода, используемых при оценке уровня качества [56]:

1. Дифференциальный;
2. Комплексный;
3. Смешанный;
4. Экспертный.

Значительное число работ в области управления качеством и квалиметрической оценки разнородной продукции и услуг, опубликовано в разное время такими отечественными учеными как Г. Г. Азгальдов, Ю.П. Адлер, В.Н. Азаров, С.А. Айвазян, С.А. Атрошенко, В.М. Балашов, В.В. Бураков, А. Г. Варжапетян, А.В. Гличев, О.П. Глудкин, Е.А. Горбашко, В.Д. Дурнев, Г.И. Коршунов, В.П. Ларин, В.А. Липатников, Н.Н. Рожков, Е.Г. Семенова, В. К.

Федюкин, А.П. Ястребов. Среди работ зарубежных авторов необходимо отметить ставшие классическими в области управления качеством работы таких ученых, как Э. Голдратт, Э. Деминг, У. Детмер, Д. Джуран, К. Ишикава, А. Фейгенбаум, Д. Харрингтон, У. Шухарт, К. Янг.

Из книги Федюкина В.К. [59] **Дифференциальный метод** оценки качества продукции осуществляется дифференцировано, т.е. путем сопоставления показателей отдельных свойств оцениваемого образца с соответствующими показателями базового образца. К отдельным показателям свойств относят единичные, обобщенные, групповые. Дифференциальным методом определяют достигнуто ли качество оцениваемого изделия уровню качества базового образца в целом и какие показатели свойств оцениваемого изделия превосходят или не соответствуют показателям базового образца, а также насколько отличаются друг от друга аналогичные показатели свойств.

При дифференциальном методе оценки качества учитываются наиболее значимые свойства объекта и условно считаются как равнозначимые. Количество таких учитываемых свойств ограничено, что облегчает процесс оценивания уровня качества сопоставляемых объектов.

Дифференцированный метод оценки качества есть в первую очередь квалификационный метод, который позволяет оценивать, например, технические изделия по таким категориям качества, как "превосходит", "соответствует" или "не соответствует" определенному (например, мировому) уровню качества аналогичных изделий. В то же время при дифференциальном методе оценки качества продукции количественно оцениваются отдельные свойства изделия, что позволяет принимать конкретные решения по целенаправленному управлению качеством данной продукции. Однако основным недостатком дифференциального метода оценки качества является то, что учитывается ограниченное (небольшое) количество примерно равнозначимых свойств и в действительности все свойства не равнозначимы и поэтому данный метод оценки качества в ряде случаев оказывается не достаточно точным.

При дифференциальном методе оценки качества продукции вначале рассчитывают уровни отдельных показателей свойств q . По результатам расчетов относительных значений показателей свойств q_i сопоставляемых изделий и их анализа дают следующие безусловные заключения:

– уровень качества продукции выше или равен уровню базового образца, если все значения относительных показателей соответственно больше или равны 1;

– уровень качества оцениваемой продукции ниже уровня базового образца, если все или большинство значений относительных показателей меньше 1.

Из книги Федюкина В.К. [59] **Комплексный метод** оценки уровня качества предусматривает использование комплексных показателей свойств. Этот метод применяют в тех случаях, когда надо наиболее точно оценивать качество сложных изделий. Необходимость "свертки" всех отдельных показателей свойств с целью получения одного комплексного показателя определяется практической целесообразностью. Комплексный показатель качества зависит от "взвешенных" значений учитываемых свойств, т.е. от показателей отдельных свойств с учетом их весомости. Требования, предъявляемые к комплексному показателю качества, таковы:

1. репрезентативность - представленность в нем всех основных характеристик изделия, по которым оценивается его качество;
2. монотонность изменения комплексного показателя качества изделия при изменении любого из единичных показателей качества при фиксированных значениях остальных показателей;
3. критичность (чувствительность) к варьируемым параметрам. Это требование состоит в том, что комплексный показатель качества должен согласованно реагировать на изменение каждого из единичных показателей. Комплексный показатель является функцией оценок всех показателей свойств, а его чувствительность определяется первой производной этой функции. Значение комплексного показателя должно быть особенно чувствительно в тех случаях, когда какой-либо единичный показатель выходит за допустимые пределы.

При этом комплексный показатель качества должен значительно уменьшить свое численное значение;

4. нормированность - численное значение комплексного показателя, заключенного между наибольшим и наименьшим значениями относительных показателей качества. Это требование нормировочного характера предопределяет размах шкалы измерений комплексного показателя;

5. сравниваемость (сопоставимость) результатов комплексной оценки качества обеспечивается одинаковостью методов их расчетов, в которых показатели свойств должны быть выражены в безразмерных величинах.

Из книги Федюкина В.К. [59] **Метод экспертной** оценки уровня качества.

Эксперт - это специалист, компетентный в решении данной задачи (от латинского слова "expertus" - опытный). Компетентность эксперта в отношении объекта исследования - профессиональная компетентность, а в отношении методологии принятия экспертного решения исследуемой задачи - это экспертная компетентность. Эксперт должен быть беспристрастным и объективным при оценивании объекта исследования. Экспертный метод - это метод решения задач, основанный на использовании обобщенного опыта и интуиции специалистов-экспертов. Экспертный метод оценки уровня качества продукции используется в тех случаях, когда невозможно или очень затруднительно использовать методы объективного определения значений единичных или комплексных показателей свойств такими методами, как инструментальный, эмпирический или расчетный.

Экспертный метод (или экспертный способ, т.е. метод экспертных оценок) является совокупностью нескольких различных способов, которые представляют собой разновидности, модификации метода экспертиз.

Известные разновидности метода применяются везде, где основой решения является коллективное решение компетентных людей (экспертов). Так, например, решения различных советов, конференций, совещаний, комиссий, а также экзаменаторов при оценке знаний учащихся - все это решения, принимаемые экспертными методами.

Экспертные методы оценивания качества продукции могут использоваться при формировании сразу общей оценки(без детализации) уровня качества продукции , а также при решении многих частных вопросов, связанных с определением показателей свойств чего-либо. Следовательно, экспертные методы находят применение при:

- общей(обобщенной) оценке качества продукции;
- классификации оцениваемой продукции;
- определении номенклатуры показателей свойств оцениваемой продукции;
- определении коэффициентов весомости свойств качества продукции;
- оценивании показателей свойств продукции органолептическим методом;
- выборе базовых образцов и безразмерных значений базовых показателей качества;
- определении итогового комплексного показателя качества на основе совокупности единичных и комплексных(обобщенных и групповых показателей);
- аттестации продукции и сертификации.

Экспертный метод оценки уровня качества продукции не может быть использован, если есть возможность оценить качество другими аналитическими или экспериментальными методами с большей точностью или с меньшими затратами.

Результаты общей экспертной оценки такого сложного комплекса свойств, каким является качество продукции, имеют элементы неопределенности и необоснованности. Поэтому экспертная оценка качества продукции в целом является предварительной, насыщенной информационно и только в первом приближении, ориентировочно характеризует качество оцениваемого изделия. На основе такой экспертной оценки качества очевидно нет возможности принимать какие-либо инженерно-технические решения. Этот метод может, например, использоваться при коммерческих сделках, когда нет конкретных (численно выраженных) сведений об уровне качества приобретаемой продукции и т.п.

Однако, следует отметить, что экспертный метод для оценки показателей многих свойств технической и другой продукции является единственно возможным, применяется достаточно широко и для этого разработаны соответствующие методики.

Объектом экспертизы (экспертных оценок) в нашем случае могут быть отдельные потребительские свойства или их совокупности.

Критерии, по которым осуществляется экспертиза качества, подразделяются на общие и конкретные.

К общим критериям относятся сложившиеся в обществе ценностные ориентиры, представления и нормы. Конкретные критерии для эксперта - это реальные требования к качеству продукции данного вида, установленные в нормативно-технических и других обязательных для исполнения документах. В форме конкретных критериев выступает также комплекс базовых значений показателей свойств, характеризующих планируемую или проектируемую продукцию. Характеристики реально существующих высококачественных изделий, изготавливаемых в стране или за рубежом, тоже являются конкретными критериями для экспертов.

С целью повышения достоверности, точности, надежности и воспроизводимости экспертных оценок, экспертизу осуществляют путем принятия группового решения компетентными людьми. Для оценки уровня качества продукции создается экспертная комиссия, состоящая из экспертной и рабочей групп.

В экспертную группу включаются высококвалифицированные и специально подготовленные работники в области создания и функционирования оцениваемой продукции: исследователи, конструкторы, технологи, дизайнеры, товароведы, экономисты и т.д. Число экспертов, входящих в группу, зависит от требуемой точности средних оценок и должно составлять от 7 до 20 человек. При заочном опросе верхний предел количества опрашиваемых экспертов не ограничивается.

Экспертная группа (комиссия) пользуется экспертным способом получения информации о показателях качества оцениваемой продукции. При этом экспертная группа может принимать решения на основе усреднения оценок экспертов или проводя голосования экспертов (метод комиссий). С целью уменьшения субъективности в экспертном методе рекомендуется проводить несколько туров опросов экспериментов.

Экспертный метод "комиссий" заключается в том, что в нем используется как бы голосование. Сначала оценки выставляют эксперты независимо друг от друга. Потом, после открытого обсуждения выставленных оценок, эксперты вновь независимо друг от друга, дают оценки каждому объекту. Впоследствии по скорректированным индивидуальным оценкам рассчитывают экспертную оценку. Эту работу проводит рабочая группа экспертной комиссии. Кроме того, рабочая группа организует процедуру опроса экспертов, анализирует полученные результаты и составляет заключение экспертной комиссии.

Рекомендуется, чтобы для оценок однотипной продукции экспертная комиссия формировалась из постоянных экспертов и членов рабочей группы. Это желательно потому, что в процессе работы относительно постоянной комиссии накапливается опыт работы, происходит обучение ее членов, вырабатываются общие подходы и принципы, а это повышает эффективность работы экспертной комиссии.

Наибольшее применение получили четыре метода экспертной оценки качества:

1. метод оценки ранжированием;
2. метод попарного сопоставления - метод предпочтений;
3. балльный метод оценивания;
4. социальный метод экспертизы - метод спроса потребителей.

Методы экспертной оценки качества и свойств продукции применяются, когда невозможно использовать аналитические или экспериментальные методы

определения показателей свойств. Они основываются на использовании обобщенного опыта и интуиции специалистов-экспертов.

Перечень и последовательность основных этапов работы экспертной комиссии состоит в следующем:

- назначение лиц, ответственных за организацию и проведение работ по экспертной оценке качества продукции;
- формирование экспертной и рабочей групп;
- разработка классификации и определение номенклатуры показателей качества оцениваемой продукции;
- подготовка анкет и пояснительных записок для опроса экспертов;
- обработка экспертных оценок;
- анализ и оформление результатов экспертной оценки качества (или показателей качества) продукции.

В практике экспертной оценки качества, в частности при экспертной оценке потребительских свойств продукции в основном применяются комплексная и оперативная экспертизы.

Комплексная экспертиза проводится для всестороннего изучения и оценки качества групп однородных изделий, выпускаемых промышленностью серийно. В связи с этим при экспертизе реализуют системный, комплексный подход к анализу и оцениванию продукции. При комплексной экспертизе получают не только более полную характеристику оцениваемого объекта, но и определенный научный, методический и нормативный материал, используемый при проведении других видов экспертизы.

Оперативная экспертиза основывается на данных, полученных при проведении предшествующих комплексных экспертиз. Этот прием позволяет существенно сократить объем и сроки экспертных работ при достаточной глубине и обоснованности экспертных заключений. При экспертном методе оценку уровня качества или показателя того или иного свойства продукции определяют в безразмерных единицах. обычно используют один из двух методов

экспертного оценивания качества: метод ранжирования объектов по их качеству или метод оценивания в баллах.

Подробно о недостатках и ошибках экспертного оценивания описывает в своей книге А. Г. Варжапетян [60].

Автор выделяет две группы наиболее значимых ошибок экспертного оценивания. Первая группа это ошибки возникающие при подготовке экспертизы:

1. Излишнее увлечение здравым смыслом по принципу "я знаю все сам".
2. Использование некомпетентных экспертов.
3. Нечеткая постановка задачи или отсутствие корректной априорной информации.
4. Стремление остаться в рамках одной экспертной процедуры.

Во вторую группу входят ошибки, которые могут возникнуть на этапе проведения экспертизы и оценки ее результатов:

1. Нарушение принципов теории измерений.
2. Стремление учесть многокритериальность.
3. Неточность процедуры коллективного отбора.
4. Организация информационного взаимодействия.
5. Конформизм или конъюнктурность экспертов.
6. Неправильная обработка результатов экспертизы.
7. Некорректная интерпретация результатов.

Из книги Федюкина В.К. [59] **Смешанный (комбинированный)** оценки уровня качества продукции - представляет собой совместное использование в процессе оценивания качества различных методов оценивания показателей его свойств. Смешанный метод оценки уровня качества применяют в тех случаях, когда необходимо учесть множество единичных, разнородных и существенно отличающихся по значимости параметров (показателей) свойств.

Вывод: Таким образом, для объективной оценки качества ВХИС, необходима разработка методики квалиметрической оценки, использующей аналитические методы оценивания уровня качества показателей свойств исследуе-

мых материалов. Поскольку критерии оценки ВХИС, в ходе исследования были выделены, то является необходимым смена метода экспертных оценок на более объективный и достоверный.

1.7 Выводы по главе 1

1. Выявлено отсутствие на сегодняшний день комплексных методик квалитметрической оценки ВХИС для процесса холодной штамповки.
2. Установлено, что стандартные способы и подходы к измерению и оценке качества инструментальных материалов не могут быть применены для оценки качества экспериментальных ВХИС для процесса холодной штамповки.
3. Показана необходимость внедрения современных инструментов оценки качества и разработки методики квалитметрической оценки ВХИС для процесса холодной штамповки.
4. Установлено отсутствие в нормативной базе регламентов и стандартов, содержащих принципы и методологию проведения квалитметрической оценки ВХИС для процесса холодной штамповки.

Раздел 2 – Разработка методического аппарата исследования качества ВХИС для процесса холодной штамповки

2.1 Материалы исследований

Исследования проводились на плавках высокохромистой инструментальной штамповой стали X12 и X8 со стандартным и пониженным содержанием углерода и дополнительным легированием рядом элементов [61]. Легирование и термическая обработка выбирались такими, чтобы создать однородное распределение карбидных фаз и исключить карбидную неоднородность. Данные о химическом составе сталей приведены в таблице 1. Для сравнения исследовались инструментальные стали X12Ф1, Р6М5 и 9ХС (ГОСТ 5950-2000).

Было проведено комплексное исследование высокохромистых штамповых сталей, предусматривающее аттестацию металла по регламентируемым характеристикам качества (комплекс химический состав – термообработка – структура – свойства). Совершенствование ВХИС шло по пути понижения содержания углерода до величин, ограниченных кривой предельной растворимости карбидов в аустените, дополнительного легирования сильными карбидообразующими элементами и микролегирования РЗМ (таблица 1). Перечень используемых в работе методов и оборудования приведен в таблице 2.

Таблица 1– Химический состав исследуемых сталей

Марка стали	Содержание элементов, % масс.													
	C	Si	Mn	S	P	Cr	Mo	W	V	Ni	Cu	Y	Zr	Nb
50X12ФБЧЦ	0,52	0,30	0,38	0,01 8	0,01 0	11,8	–	–	0,72	0,13	0,07	0,00 2	0,06	0,11
70X12ФБЧЦ	0,71	0,28	0,39	0,01 6	0,00 6	11,83	–	–	0,72	0,09	0,07	–	–	0,11
110X12ФБЧЦ	1,14	0,26	0,38	0,01 6	0,00 6	11,92	–	–	0,73	0,10	0,07	–	–	0,11
70X9Ф	0,67	0,45	0,82	0,026	0,008	8,88	–	–	0,33	0,20	0,12	–	–	–
70X9M2ФЦЧ	0,66	0,43	0,77	0,026	0,006	8,81	1,67	–	0,31	0,18	0,13	0,002	0,126	–
60X9M2ВФЦЧ	0,59	0,42	0,75	0,027	0,006	8,55	1,67	1,42	0,33	0,20	0,11	0,067	0,32	–
90X9M2ВФЦЧ	0,89	0,51	0,82	0,029	0,008	8,60	1,60	1,46	0,36	0,17	0,11	0,082	0,31	–
105X8M2ВФЦЧ	1,05	0,41	0,71	0,030	0,006	8,46	1,55	1,49	0,32	0,12	0,15	0,44	0,23	–
70X12Ф1	0,71	0,38	0,74	0,020	0,020	11,7			0,91	0,14	0,12			

Таблица 2– Перечень использованных в работе методов и оборудования

Исследования	Методики	Оборудование	Условия испытаний
Исследования механических свойств	Измерение твердости отожженных сталей по Бринеллю (ГОСТ 9012-59).	Прибор ТШ-2М	Нагрузка 3000кг, выдержка 30 сек., диаметр шарика 10мм.
	Измерение твердости термообработанных сталей по Роквеллу (ГОСТ 9013-59).	Прибор ТК-2 и суперроквелл	При $\Delta < 1$ делали 5 замеров, при $\Delta > 1$ - по 10 замеров (Δ – разброс)
	Испытания на ударную вязкость (ГОСТ 9454-78).	Маятниковый копер PSWO-30	Погрешность измерения $\pm 0,01$ Мдж/м ² .
	Испытание на изгиб (ГОСТ 14019-2003) расчет (ГОСТ 25.604-82)	Машина марки 1231У-10	Погрешность измерений $\pm 1\%$
Металлографические исследования	Определение карбидного балла стали (ГОСТ 5950-2000)	Оптический микроскоп НЕОРНОТ-32	Светлое и темное поле
Режущая способность	Определение стойкости резцов	Станок марки ИК62	V=20м/мин, S=0,11мм/об, t=1мм

Срок службы инструмента, изготовленного из высокохромистой стали, регламентируется в первую очередь стойкостью режущей кромки, появлением на ней сколов и трещин. Механические свойства штамповых сталей, как и

все основные характеристики, определяют стойкость инструмента и являются наряду с технологическими свойствами одним из критериев сравнительной оценки работоспособности инструментальных сталей. Штампы холодного деформирования работают в условиях сложного напряженного состояния, поэтому необходимы механические испытания, отличающиеся жесткостью нагружения. Для высокоуглеродистых высокохромистых штамповых сталей наибольшее распространение получили испытания на статический изгиб.

Вязкость, характеризующая сопротивление образованию трещин и разрушению под действием ударных нагрузок – важное свойство инструментальных сталей. Штамповые стали холодного деформирования относятся к числу хрупких материалов и обладают высокой чувствительностью к жесткости нагружения. В процессе эксплуатации материалы штампов подвергаются динамическим нагрузкам. В связи с этим возникает необходимость оценки сопротивления штамповых сталей хрупкому разрушению – испытания на ударную вязкость.

Режущую способность сталей оценивали путем проведения сравнительных стойкостных испытаний резцов при точении штанги диаметром 75 и длиной 1000 мм стали 50, содержащей по данным химического анализа 0,48% углерода и имеющей твердость не более 217 НВ. Геометрия резцов следующая: главный угол в плане $\varphi = 45^\circ$, вспомогательный угол в плане $\varphi_1 = 15^\circ$, передний угол $\gamma = 10^\circ$, задний угол $\alpha = 8^\circ$, угол превышения режущей кромки $\lambda = 0^\circ$. Режимы резания были выбраны следующие: скорость резания $V = 20$ м/мин, продольная подача $S = 0,11$ мм/об, глубина резания $t = 1$ мм. Исследования проводили без охлаждения СОЖ резцов в процессе резания. Результаты стойкостных испытаний резцов были статистически обработаны методом наименьших квадратов. Наряду с определением стойкости инструмента по результатам экспериментов рассчитывалось среднее квадратичное отклонение, коэффициент вариации и время безотказной работы инструмента с вероятностью 0,95. Эксплуатационные свойства выбранных на основе испытаний исследованных сталей представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Характеристики исследованных сталей

Марка стали	Режим тер- мической обработки	Твердость HRC	Средняя стойкость резцов T, мин	Прочность на изгиб G _и , МПа	Ударная вязкость КСУ·10 ⁻¹ Дж/см ²	Кар- бид- ный балл
70X12ФБЧЦ	3.1050°С, м., о.150°С, 1 ч.	63	206	4500	1,375	1
110X12ФБЧЦ	3.1050°С, м., о.150°С, 1 ч.	63	254	4100	1,187	2
60X9М2ВФЦЧ	3.1025°С, м., о.150°С, 1 ч.	59	368	4030	1,286	1
X12Ф1	3.970°С, м., о.180°С, 1 ч.	61	83	3250	0,7	4

2.2 Инструмент квалитетической оценки – циклограмма

качества

Дифференциальный метод оценки качества продукции [62] осуществляется путем сопоставления показателей отдельных свойств оцениваемого образца с соответствующими показателями базового образца. При этом определяют, соответствует ли качество оцениваемого изделия качеству базового образца в целом, и какие показатели свойств оцениваемого изделия превосходят или не соответствуют показателям базового образца, а также, насколько отличаются друг от друга аналогичные показатели свойств. При этом все свойства объекта считаются равнозначными. При данном методе рассчитывают отдельные относительные показатели уровня качества оцениваемой продукции по прямой формуле (1) и обратной (2):

$$Q_i = P_{i\text{баз}} / P_{i\text{оц}} , \quad (1)$$

$$Q_i = P_{i\text{оц}} / P_{i\text{баз}} , \quad (2)$$

где Q_i – относительный показатель качества, оцениваемый по i -му свойству;
 $P_{i\text{оц}}$ – значение i -го единичного показателя свойства оцениваемой продукции;
 $P_{i\text{баз}}$ – значение i -го показателя базового образца.

Прямая формула применяется для расчета относительного показателя качества в тех случаях, когда повышение качества продукции характеризуется уменьшением показателя (показатели массы, трудоемкости). Обратная формула применяется для расчета относительного показателя в тех случаях, когда повышение качества характеризуется увеличением показателя (прочность, дальность действия).

С помощью данного метода дают следующие безусловные оценки: уровень качества продукции выше или равен уровню базового образца, если все значения относительных показателей больше или равны единице и наоборот.

Для более точной и более информативной оценки технического уровня, характеризующего качество изделия, строят диаграмму сопоставления показателей качества (циклограмму) на которой наглядно видно, по какому показателю следует принимать управленческие и технические решения [61].

Количественно величину итогового показателя качества, т.е. уровень качества (Y_k) рассчитывают как определение среднего арифметического значения всех уровней учитываемых свойств (Y_i), сопоставляемых (оцениваемого и базового) образцов (объектов) по формуле 3:

$$Y_k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i . \quad (3)$$

2.3 Инструмент квалиметрической оценки – секторные диаграммы

Секторные диаграммы строятся по относительным показателям качества и их коэффициентам весомости [63]. Каждый показатель изображается на диаграмме в виде кругового сектора, радиус которого равен значению пока-

зателя относительно выбранного аналога, а центральный угол – коэффициенту весомости, выраженному условной величиной в градусах или радианах. Базовые значения для всех показателей изображаются окружностью, имеющей радиус, равный единице. Центральный угол для i -го показателя с коэффициентом весомости α_i определяется как $\varphi = 2\pi\alpha_i$ рад ($\varphi_i = 360^\circ\alpha_i$, град). Уровень качества образца определяется на основе комплексного среднего взвешенного показателя Y_k , именуемого здесь средним взвешенным круговым показателем. Он равен радиусу круга, площадь которого равна сумме площадей секторов диаграммы. Его расчет осуществляется по формуле (4)

$$Y_k = \sqrt{\sum_{i=1}^n \alpha_i r_i^2}, \quad (4)$$

где n – число относительных показателей качества;

α_i – коэффициент весомости;

r_i – значение i -го показателя.

Коэффициенты весомости показателей, как правило, определяются экспертным методом ранжирования. Для этого привлекаются эксперты, которые составляют ранжированные ряды для характеристик образцов по возрастающей шкале порядка. Далее определяются суммы рангов каждого из объектов экспертной оценки и определяются коэффициенты весомости по формуле (5).

$$\alpha_i = \frac{\sum_{j=1}^m Q_{i,j}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m Q_{i,j}}, \quad (5)$$

где n – количество экспертов;

m – число оцениваемых показателей;

$Q_{i,j}$ - коэффициент весомости j -го показателя в рангах (баллах), который дал i -ый эксперт.

Точность экспертных оценок определяется по согласованности мнений экспертов. Степень совпадения оценок характеризует качество экспертизы и выражается коэффициентом конкордации (формула б).

$$W = \frac{12 \cdot S}{n^2 (m^3 - m)}, \quad (6)$$

где S – сумма квадратов отклонений рангов или баллов каждого объекта от среднего арифметического значения;

n – количество экспертов;

m – число оцениваемых объектов.

При $W=0$ – абсолютная несогласованность, а при $W=1$ – полное совпадение мнений (оценок). Следовательно, $0 \leq W \leq 1$.

Коэффициенты весомости также могут определяться и другими путями, при отсутствии необходимого количества экспертов.

Наглядным способом представления уровня качества при оценке материалов может быть использование секторных диаграмм. По данной методике, возможно сравнить несколько образцов, определенных дифференциальным методом.

2.4 Инструмент квалиметрической оценки – горизонтальные гистограммы

Горизонтальные гистограммы - это оперативный метод визуального анализа качества и конкурентоспособности [64]. Суть метода заключается в представлении вариантов продукции в виде гистограмм. Для этого сначала определяются критерии выбора, далее устанавливается значимость каждого критерия в процентах, полученные значения откладываются по вертикальной оси и через полученные точки восстанавливаются перпендикуляры. В результате получается несколько (по числу критериев) горизонтально расположенных полей, ширина каждого соответствует значимости каждого критерия. Затем по горизонтальной оси откладываются значения самих критериев, для каждого из которых предусматривается градуировка. Дальнейшие построения возможны двумя способами:

а) Значения критериев откладываются вправо и влево от вертикальной оси. Этот способ позволяет сравнить два варианта, но с более высокой степе-

нюю зрительной наглядности (сравниваются правая и левая части изображения (фигуры));

б) Значения критериев откладываются только вправо. При данном способе можно сравнить большее число вариантов, но наглядность значительно снижается.

Через полученные точки проводят вертикальные линии (каждая в пределах своего поля значимости критериев). Получаются многоугольники, соответствующие вариантам изделий. Тот, чья площадь больше, соответствует лучшему варианту.

Для адекватности оценки особое внимание уделяется правильной градуировке шкал измерения критериев. Все шкалы должны разбиваться на равное число интервалов (при балльной системе измерения). Лучшие значения критериев располагаются дальше от оси.

2.5 Инструмент квалиметрической оценки – корреляционный анализ по диаграмме разброса

Диаграмма разброса - инструмент, позволяющий определить вид и тесноту связи между парами соответствующих переменных [65]. При наличии корреляционной зависимости между двумя факторами значительно облегчается контроль процесса с технологической, временной и экономической точек зрения.

Диаграмма разброса - это точечная диаграмма в виде графика, получаемого путем нанесения в определенном масштабе экспериментальных, полученных в результате наблюдений точек. Координаты точек на графике соответствуют значениям рассматриваемой величины и влияющего на нее фактора. Расположение точек показывает наличие и характер связи между двумя переменными (например, скорость и расход бензина, или выработанные часы и выход продукции).

Для построения диаграммы сначала определяют, между какими парами данных необходимо установить наличие и характер связи. Затем строится график в координатах x - y , и на него наносят данные.

По полученным экспериментальным точкам могут быть определены и числовые характеристики связи между рассматриваемыми случайными величинами: коэффициент корреляции и коэффициенты регрессии.

Для оценки тесноты связи служит коэффициент корреляции, вычисляемый по формуле 7:

$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum (y_i - \bar{y})^2}} \quad (7)$$

где x_i и y_i - значение первого и второго параметра, соответственно;

\bar{x} и \bar{y} - среднее значение первого и второго параметра, соответственно.

Если $r = 1$ или $r = -1$, то между случайными величинами X и Y существует линейная функциональная зависимость ($Y = c + dX$). В этом случае говорят о полной корреляции. При $r = 1$ значения x_i, y_i определяют точки, лежащие на прямой линии, имеющей положительный наклон (с увеличением x_i значения y_i также увеличиваются), при $r = -1$ прямая имеет отрицательный наклон. В промежуточных случаях ($-1 < r < 1$) точки, соответствующие значениям x_i, y_i , попадают в область, ограниченную некоторым эллипсом. При $r > 0$ имеет место положительная корреляция (с увеличением x_i значения y_i имеют тенденцию к возрастанию), при $r < 0$ корреляция отрицательная. Чем ближе r к ± 1 , тем уже эллипс и тем теснее экспериментальные значения группируются около прямой линии.

Линия, вдоль которой группируются точки, может быть не только прямой, а иметь любую другую форму: парабола, гипербола и т. д. В этих случаях рассматривают так называемую, нелинейную (или криволинейную) корреляцию.

ляцию. Таким образом, визуальный анализ корреляционного поля помогает выявить не только наличие статистической зависимости (линейную или нелинейную) между исследуемыми признаками, но и ее тесноту и форму.

В практической деятельности, когда число коррелируемых пар признаков X и Y не велико (n меньше 30), то при оценке зависимости между показателями используют следующую градацию:

- 1) высокая степень взаимосвязи – значения коэффициента корреляции находятся в пределах от 0,7 до 0,99;
- 2) средняя степень взаимосвязи – значения коэффициента корреляции находятся в пределах от 0,5 до 0,69;
- 3) слабая степень взаимосвязи – значения коэффициента корреляции находятся от 0,2 до 0,49.

Для оценки линейной связи между показателями применяют коэффициент корреляции Пирсона, вычисляемый по формуле (7). При малом объеме выборки ($n < 100$) значение коэффициента необходимо корректировать по формуле (8):

$$r' = r \left[1 + \frac{1 - r^2}{2(n - 3)} \right], \quad (8)$$

2.6 Инструмент квалиметрической оценки – функция желательности

Показатели желательности - безразмерные недискретные характеристики качества, изменяющиеся в пределах от нуля до единицы при любом диапазоне изменения размерных показателей качества x_i [66-69]. Вычисляют показатели желательности q с помощью вспомогательных показателей y по следующей формуле (9):

$$q = \exp[-1/y] = \frac{1}{e^{1/y}} - \text{при } 0 < y < \infty, \quad (9)$$

Размерные значения x_i натуральных показателей качества пересчитывают в безразмерные вспомогательные показатели y по формуле (10):

$$y = a_0 + a_1 x_1, \quad (10)$$

Чтобы найти коэффициенты a_0 , a_1 , необходимо иметь нормативные значения показателей желательности q , значения безразмерных показателей y , а также значения размерных показателей x_i для двух уровней градаций качества.

В таблице 4 приведена градация качества в зависимости от значений показателей желательности.

Таблица 4 – Значения показателей желательности q и соответствующих безразмерных вспомогательных показателей y

Градация качества	Показатель желательности q	Вспомогательный показатель y
«Отлично»	$\geq 0,80$	$\geq 4,50$
«Хорошо»	$\geq 0,63$	$\geq 2,18$
«Удовлетворительно»	$\geq 0,37$	$\geq 1,0$
«Плохо»	$< 0,37$	$< 1,0$

Для определения коэффициентов a_0 и a_1 используют две ранее установленные точки (первая точка – нижнее значение частного параметра оптимизации ставится в соответствие с начальным значением желательности, вторая точка – наивысшая желательность с точки зрения достижения максимального (минимального) результата). Подставив в формулу (10) соответствующие значения y и x , получают систему из двух уравнений, решение которой позволит определить величину коэффициентов a_0 и a_1 . После подстановки найденных коэффициентов в формулу (10) можно определить любое значение вспомогательного показателя y и соответствующее значение показателя желательности q по величине размерного показателя x_i . После перевода натуральных значений единичных показателей качества в безразмерные находят значение комплексного показателя качества в виде обобщенной функции желательности рассчитываемой по следующей формуле:

$$Q = \sqrt[n]{q_1 \times q_2 \times q_n} = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n q_i}, \quad (11)$$

где n – число частных желательностей; q – показатель частной желательности.

Модификация инструмента: использование высокохромистой инструментальной стали на предприятии должно быть обоснованно не только прочностными, техническими или эксплуатационными свойствами стали, но и должно быть экономически оправданным. Поэтому для увеличения объективности и полноты оценки, новых ВХИС был модифицирован расчета комплексного показателя желательности Харрингтона, путем введения коэффициентов экономической целесообразности свойств исследуемого материала. В результате формула расчета комплексного показателя желательности имеет следующий вид:

$$Q = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n q_i k_i}, \quad (12)$$

где n – число частных желательностей; q – показатель частной желательности; k_i – коэффициент экономической целесообразности данного свойства материала.

По данным таблицы 6 намечают зоны установленных качественных градаций, а в соответствии с данными таблицы 5 строят непрерывный график функции желательности.

Таблица 5 – Значения функции желательности в основных и промежуточных точках

Числовые значения			
у	q	у	q
0,00	0,00	2,50	0,67
0,50	0,14	3,00	0,72
0,77	0,28	3,50	0,75
1,00	0,37	4,00	0,78
1,50	0,51	4,50	0,80

2,00	0,61	5,00	0,82
------	------	------	------

Для построения функции y используют базовые точки функции желательности и граничные значения натурального показателя, определяемые стандартом или другим нормативным и/или техническим документом.

2.7 Инструмент квалитетической оценки – планирование эксперимента

Под планированием эксперимента обычно понимают процедуру выбора числа и условий проведения опытов, необходимых и достаточных для решения поставленной задачи с требуемой точностью. Планирование значительно повышает эффективность эксперимента.

При планировании экспериментов предполагается, что параметр оптимизации (то есть то свойство, которое необходимо оптимизировать) связан с факторами (то есть с теми независимыми переменными, которые влияют на изменение изучаемого свойства) тем или иным математическим выражением. Требуется так поставить эксперименты, чтобы при их минимальном количестве, варьируя значения независимых переменных по специально сформулированным правилам, найти область оптимальных значений параметра и построить ее математическую модель. Другими словами, нужно получить некоторое представление о так называемой функции отклика

$$\eta = \varphi(x_1, x_2, \dots, x_k), \quad (13)$$

где η – параметр оптимизации, x_1, x_2, \dots, x_k – факторы.

Это уравнение описывает некоторую поверхность в многомерном пространстве факторов, часто называемом факторным пространством, и, следовательно, изучение многофакторной системы можно представить так же, как исследование формы этой поверхности, называемой поверхностью отклика. Решение задачи оптимизации заключается в достижении наивысшей точки поверхности отклика, что соответствует нахождению максимума функции отклика. В общем виде схема решения задачи для построения функции отклика предполагает вначале наблюдение за влиянием факторов на параметр опти-

мизации, а затем поиск связи между ними. Функция отклика при этом аналитически представляется многочленом

$$\eta = \beta_0 + \sum_{1 \leq i \leq k} \beta_i x_i + \sum_{1 \leq i \leq j \leq k} \beta_{ij} x_i x_j + \sum_{1 \leq i \leq k} \beta_{ii} x_i^2 + \dots, \quad (14)$$

где $\beta_0, \beta_i, \beta_{ij}, \beta_{ii}, \dots$ - коэффициенты регрессии при соответствующих переменных, значения которых определяют форму поверхности отклика в изучаемой области. Уравнение (14) часто называют уравнением регрессии. Уравнение регрессии строят по результатам экспериментов, то есть определяют выборочные коэффициенты регрессии $b_0, b_i, b_{ij}, b_{ii}, \dots$

$$y = b_0 + \sum_{1 \leq i \leq k} b_i x_i + \sum_{1 \leq i \leq j \leq k} b_{ij} x_i x_j + \sum_{1 \leq i \leq k} b_{ii} x_i^2 + \dots, \quad (15)$$

где y - выборочная оценка функции отклика η

Одним из наиболее распространенных методов планирования экспериментов является метод крутого восхождения или метод Бокса - Уилсона. Решается задача поэтапно, и в этом основной принцип метода планирования экспериментов. На первом этапе, варьируя в каждом опыте сразу всеми факторами — независимыми переменными, исследователь ищет лишь направление движения к области оптимума. Для этого поверхность отклика изучается только на небольшом участке, и строится его линейная модель

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_k x_k, \quad (16)$$

Анализ уравнения (16) позволяет определить направление движения из исходной точки, наиболее быстро приводящее к оптимизации выбранного параметра. В дальнейшем на каждом этапе в соответствии с результатами, полученными в предыдущих, ставится небольшая серия опытов, результаты которых вместе с интуитивными решениями определяют следующий шаг. Эта процедура заканчивается в области оптимума. Здесь ставится несколько большая серия опытов, и поверхность отклика в области оптимума описывается нелинейными функциями, например, квадратичной

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_k x_k + b_{12} x_1 x_2 + b_{13} x_1 x_3 + \dots + b_{(k-1)k} x_{(k-1)} x_k + \dots + b_{11} x_1^2 + b_{22} x_2^2 + \dots + b_{kk} x_k^2. \quad (17)$$

По величине коэффициентов уравнения, как правило, можно судить об основных или линейных эффектах и эффектах взаимодействий — степени влияния соответствующих факторов и их взаимодействий. Статистическая значимость коэффициентов свидетельствует о значимости соответствующих эффектов.

Порядок работ при планировании экспериментов

Планирование экспериментов включает следующие этапы [70]:

1. Выбор параметра оптимизации.
2. Выбор факторов и установление для каждого из них основного уровня и интервала варьирования. Факторы кодируют так, чтобы их кодовые значения (x_i) были связаны с натуральными значениями (X_i) соотношением

$$x_i = \frac{X_i - X_{i0}}{\Delta X_i}, \quad (18)$$

где X_{i0} - натуральное значение фактора на основном уровне, ΔX_i - натуральное значение интервала варьирования.

3. Проведение экспериментов в соответствии с матрицей планирования и определение ошибки опыта (дисперсии опыта). Дисперсию опыта оценивают по результатам параллельных экспериментов. Если опыты, заданные матрицей планирования, делают по одному разу, то на основном уровне ставят серию одинаковых опытов. В этом случае дисперсию считают по формуле

$$S_y^2 = \frac{\sum_{l=1}^{n_0} (y_{0l} - \bar{y}_0)^2}{f}, \quad (19)$$

где y_{0l} - результат l -того опыта на основном уровне, \bar{y}_0 - среднее арифметическое значение всех n_0 опытов на основном уровне, f – число степеней свободы.

4. Расчет коэффициентов модели и проверка их статистической значимости. После окончания эксперимента, коэффициенты регрессии рассчитываются по формуле

$$b_i = \frac{\sum_{u=1}^N x_{iu} y_u}{N}, \quad (20)$$

где x_{iu} и y_u - значение y и x_i в u -том опыте, N – общее число опытов.

Проверку значимости коэффициентов можно осуществлять путем сравнения абсолютной величины коэффициента с его доверительным интервалом, рассчитанным по формуле

$$\Delta b_i = t \cdot S_{b_i}, \quad (21)$$

где t – критерий Стьюдента, S_{b_i} - среднеквадратичная ошибка в определении коэффициентов регрессии. Коэффициент считается статистически значимым, когда его абсолютная величина больше доверительного интервала

$$|b_i| \geq \Delta b_i, \quad (22)$$

5. Проверка адекватности модели. Гипотезу об адекватности чаще всего проверяют с помощью критерия Фишера. Его расчетное значение определяют по формуле

$$F_{f_2; f_1}^{расч} = \frac{S_{неад}^2}{S_y^2}, \quad (23)$$

где S_y^2 - дисперсия опыта, определенная с f_1 - числом степеней свободы, $S_{неад}^2$ - дисперсия неадекватности, рассчитываемая по формуле

$$S_{неад}^2 = \frac{\sum_{n=1}^N (y_{ипрас} - y_{иээкс})^2}{N - k'}, \quad (24)$$

где $y_{ипрас}$ и $y_{иээкс}$ - значения параметра оптимизации в u -том опыте, соответственно рассчитанные по уравнению регрессии и определенные экспериментально $f_2 = N - k'$ - число степеней свободы при определении дисперсии неадекватности, где k' - число коэффициентов уравнения (включая b_0), N –

число опытов в матрице планирования. Гипотеза об адекватности уравнения принимается в том случае, когда рассчитанное значение критерия Фишера не превышает табличного

$$F^{расч} \leq F^{табл}. \quad (25)$$

б. Крутое восхождение по поверхности отклика. Движение из некоторой точки внутри изученной области в направлении наибольшей производной функции по направлению, то есть в направлении градиента — кратчайший путь к оптимуму. При использовании метода крутого восхождения определяют произведения коэффициентов регрессии на соответствующие интервалы ($b_i \cdot \Delta X_i$) и выбирают шаги в изменении каждого фактора пропорционально величинам $b_i \cdot \Delta X_i$. Полученные таким образом шаги последовательно прибавляют или вычитают (в зависимости от знака у коэффициента регрессии и того, что ищут: максимум или минимум) к основному уровню каждого фактора. Если при крутом восхождении возникает невозможность движения, по какому-либо из факторов, обычно этот фактор стабилизируют на достигнутом уровне, а по остальным факторам движение продолжают. Если крутое восхождение окажется эффективным, то эксперимент, либо заканчивается (когда результат уже удовлетворяет исследователя), либо продолжается. При этом условия лучшего опыта могут быть приняты за новый основной уровень, вокруг него может быть реализован новый линейный план, далее вновь осуществлено крутое восхождение и так далее до попадания в область оптимума. В области же оптимума можно перейти к реализации плана второго порядка с тем, чтобы подробнее изучить эту область и уточнить положение точки оптимума. Если же крутое восхождение окажется неэффективным, то вновь, либо заканчивают эксперимент, либо переходят к новому линейному планированию, либо к построению плана второго порядка.

2.8 Разработка методики оценки качества ВХИС

Как было указано выше, ключевыми характеристиками ВХИС для штампового инструмента являются физико-механические свойства - твердость, прочность на изгиб, стойкость инструмента и ударная вязкость. Улучшение этих свойств проводилась за счет исследования влияния легирования, которое в свою очередь заключалось в варьировании содержания углерода, сильно-карбидообразующих элементов (вольфрама, молибдена, ванадия) и редкоземельных материалов (иттрий, цирконий), а также в исследовании термической обработки, которое заключалось в варьировании режимов ТО – температуры закалки, температуры отпуска и времени выдержки при отпуске для определения их оптимальных значений (таблица 6). Также исследование влияния легирования и термической обработки на физико-механические свойства (стойкость инструмента, ударная вязкость, прочность на изгиб, твердость) сталей проводилось путем натуральных испытаний и сравнительных натуральных испытаний на практической реализации. Вследствие проведения, которых, были получены результаты эквивалентные результатам квалитметрической оценки. Что еще раз подчеркнуло эффективность проведенного улучшения качества легирования и термической обработки ВХИС.

Была рассчитана работа зарождения и развития трещин для ВХИС представленная в таблице 7. Согласно ГОСТ 5950-2000 в высокохромистых инструментальных сталях регламентируется твердость и карбидная неоднородность. Для более полной оценки качества этих сталей предлагается дополнительно контролировать прочность на изгиб, ударную вязкость и стойкость инструмента.

Срок службы инструмента, изготовленного из высокохромистой стали, регламентируется в первую очередь стойкостью режущей кромки, появлением на ней сколов и трещин, а потом уже износостойкостью. Механические свойства штамповых сталей, как и все основные характеристики, определяют стойкость инструмента и являются наряду с технологическими свойствами одним из критериев сравнительной оценки работоспособности инструмен-

тальных сталей. Штампы холодного деформирования работают в условиях сложного напряженного состояния, поэтому необходимы механические испытания, отличающиеся жесткостью нагружения. Для высокоуглеродистых высокохромистых штамповых сталей наибольшее распространение получили **испытания на статический изгиб**. Испытания на изгиб создают напряженное состояние в образце, близкое к возникающему в процессе работы в штамповых инструментах. Характеристики прочности при испытании на изгиб обладают высокой структурной чувствительностью. Схема нагружения при этом соответствует напряженному состоянию, возникающему в реальных инструментах.

Вязкость, характеризующая сопротивление образованию трещин и разрушению под действием ударных нагрузок – важное свойство инструментальных сталей. Штамповые стали холодного деформирования относятся к числу хрупких материалов и обладают высокой чувствительностью к жесткости нагружения. В процессе эксплуатации материалы штампов подвергаются динамическим нагрузкам. В связи с этим возникает необходимость оценки сопротивления штамповых сталей хрупкому разрушению.

Испытания на ударный изгиб позволяют оценивать поведение сталей в условиях динамического нагружения. Вследствие низких значений работы разрушения, относительное изменение которой не превышает точности измерения на копре, использование стандартных испытаний надрезанных образцов для определения ударной вязкости штамповых сталей в состоянии высокой твердости затруднительно. Более стабильные результаты дают испытания ненадрезанных образцов, позволяющие качественно оценить влияние структурного состояния и склонность стали к охрупчиванию.

Ударная вязкость включает в себя такие составляющие, как удельную работу зарождения и распространения трещин. В случае, когда первое слагаемое значительно, величина ударной вязкости может оставаться высокой даже при повышенной склонности стали к хрупкому разрушению (т.е. при весьма малом значении второго слагаемого).

Представляют интерес результаты испытаний образцов на ударный изгиб с записью соответствующей диаграммы и последующем разделением суммарной энергии разрушения на составляющие. При осциллографировании диаграммы нагрузка-прогиб величина полной работы A_n , затраченной на деформацию и разрушение образца выражается площадью под диаграммой. Различные материалы могут иметь одинаковую полную работу, но различную форму диаграммы. Эта форма зависит от величины максимальной нагрузки и от соотношения между работой, затрачиваемой на зарождение трещины A_z – в основном на упругое и пластическое деформирование образца, и работой, затрачиваемой на разрушение A_p – развитие магистральной трещины и сопутствующее ему пластическое деформирование.

Вязкость сталей холодного деформирования характеризует главным образом работу, затрачиваемую на зарождение трещин A_z . Другая часть работы разрушения A_p , расходуемая на распространение трещины и более или менее значительная у конструкционных сталей, как правило очень мала у инструментальных сталей.

Были подробно рассмотрены актуальные проблемы оценки качества инструментальных сталей, связанные с субъективностью и зачастую несогласованностью мнений экспертов.

Для объективности оценки качества инструментальных сталей, были выбраны аналитические инструменты, предлагаемые как отечественными, так и известными зарубежными учеными, а в частности: циклограмма качества, секторные диаграммы, горизонтальные гистограммы, корреляционный анализ по диаграмме разброса, планирование эксперимента и модифицированная специально для оценки ВХИС функция желательности.

Исходя из ключевых физико-механических характеристик качества инструментальных сталей и выбранных инструментов оценки качества, разработан комплексный подход по выбору квалиметрических инструментов для оценки качества ВХИС представленный на рисунке 1, разработана методика по проведению оценки качества ВХИС (рисунок 2).

Предлагаемая комплексная модель выбора квалиметрических инструментов для оценки качества ВХИС основан:

- на определении совокупности характеристик качества ВХИС (надежности, назначения, безопасности, эргономичности и т.д.).
- на выборе технологии улучшения качества ВХИС (термическая обработка, легирование, термомеханическая обработка, термоциклическая обработка, химико-термическая обработка, легирование и ТО).
- на выделении основных физико-механических характеристик качества, присущих этой группе сталей (твердости, стойкости, ударной вязкости, прочности на изгиб) и дополнительных общих характеристик из совокупности характеристик качества (надежности, назначения, безопасности, эргономичности и т.п.).
- на предлагаемых квалиметрических инструментах оценки качества ВХИС (циклограммы качества, функции желательности, планирования эксперимента, корреляционного анализа по диаграмме разброса, секторных диаграмм, горизонтальных гистограмм).

На первом уровне после выбора марки (марок) инструментальных сталей проводится определение технологии улучшения и изменения характеристик инструментальных сталей, причем выбор этих инструментов представлен не только легированием и термической обработкой с оптимизируемыми параметрами температуры и времени закалки, отпуска, процентом содержания углерода и карбидообразующих элементов, но также и другими технологиями улучшения и изменения характеристик – термической обработкой, химико-термической обработкой, термоциклической обработкой, термомеханической обработкой, легированием. Далее происходит оптимизация свойств ВХИС.

На втором уровне происходит определение квалиметрических инструментов оценки. Ввиду сложности технологии улучшения и изменения характеристик ВХИС и для большей объективности в качестве основных инструментов квалиметрической оценки предложены – функция желательности,

планирование эксперимента и циклограмма качества. В случае необходимости проведения более детальной оценки, предложены дополнительные инструменты детальной оценки с учетом весовых коэффициентов – секторные диаграммы, горизонтальные гистограммы и дополнительный инструмент детальной оценки с учетом связей свойств материала – корреляционный анализ по диаграмме разброса.

На третьем уровне происходит формирование совокупности показателей, по которым будет произведена квалиметрическая оценка. В случае оценки ВХИС этими показателями выступили – твердость, стойкость инструмента, ударная вязкость и прочность на изгиб. В соответствии с выбранным инструментом или с совокупностью выбранных инструментов производится оценка качества и анализ инструментального материала. В случае неудовлетворения результатами квалиметрической оценки происходит возврат ко второму уровню, выбору дополнительных инструментов оценки и проведения повторной процедуры на третьем уровне. В случае удовлетворения результатами квалиметрической оценки производится оформление результатов, выбор образца материала и его практической реализации.

Использование разработанной методики можно внедрить в деятельность организации путем включения в существующие стандарты СМК, созданием новых стандартов (СТП, СТО). При более крупных потребностях, возможно создание стандартов ГОСТ, международных стандартов и регламентов.

Таблица 6 – Режимы термической обработки и характеристики ВХИС

Материал	T _{зак} , °C (900- 1300°C)	%C	T _{отп} , °C (100- 650°C)	Стойкость T, мин	Твердость HRC	Прочность на изгиб G _и , МПа	Ударная вяз- кость КСУ·10 ⁻¹ Дж/см ²	Карбид- ный балл
X12Φ1	970	1,3	170 ⁰ C	83	61	3250	0,7	4
50X12ΦБЧЦ	1180	0,52	520	184				
70X12ΦБЧЦ	1210	0,71	500	206	63	4500	1,375	1
110X12ΦБЧЦ	1230	1,14	600	254	63	4100	1,187	2
70X9Φ	1180	0,67	500	90				
60X9M2BΦЦЧ	1220	0,59	550	368	59	4030	1,286	1
105X8M2BΦЦЧ	1250	1,05	550	46,8				
P6M5	1220	0,85	560	265				

Таблица 7 – Работа зарождения и развития трещин ВХИС

Сталь	T _{закалки} , °C	A _{зтр} , %	A _{ртр} , %
60X9M2BΦЦЧ	1040	89,2	10,8
	1070	90,9	9,1
70X9Φ	1040	91,8	8,2
	1070	87	13
110X12ΦБЧЦ	1040	90,5	9,5
	1070	89,6	10,4

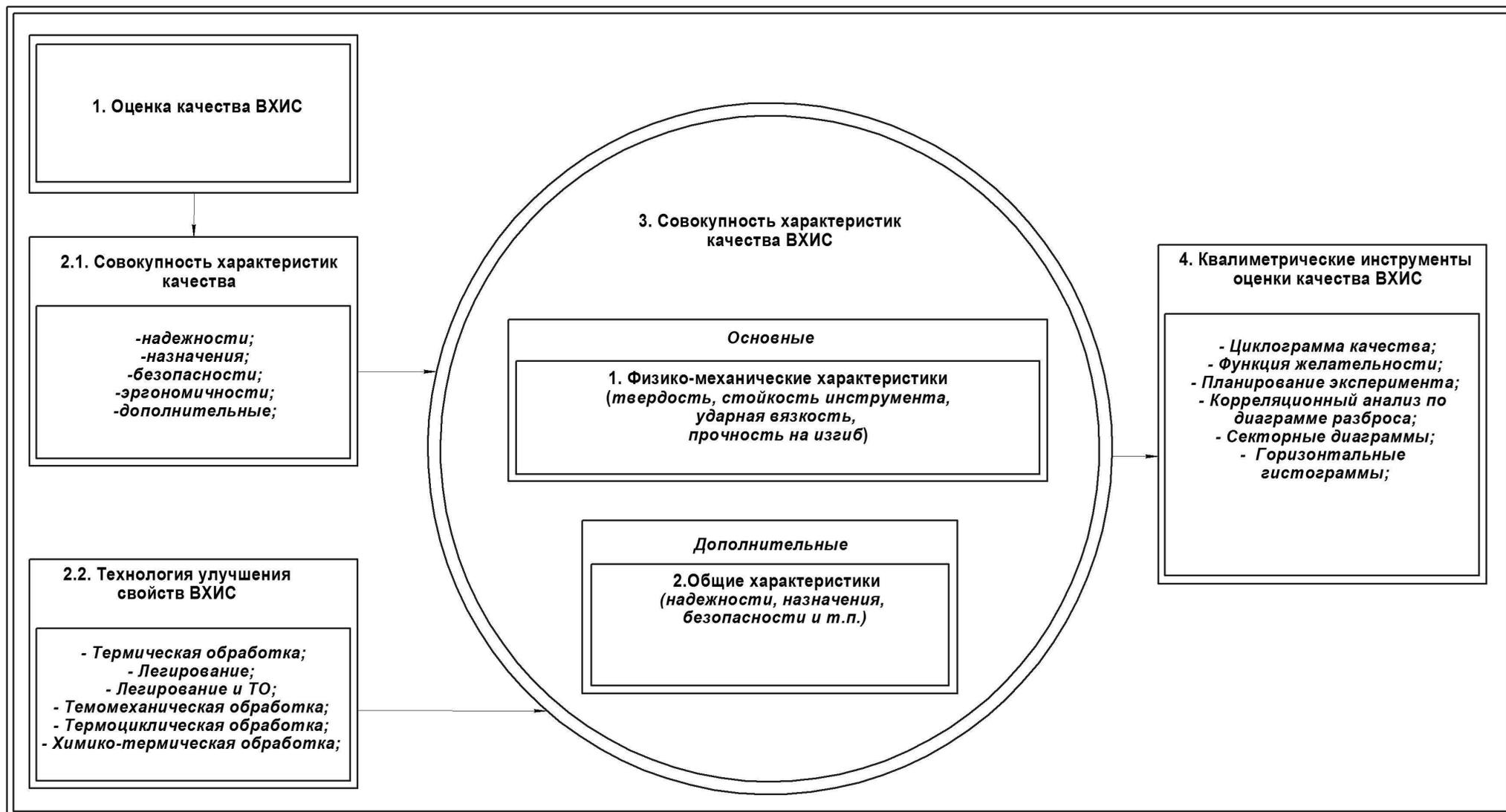


Рисунок 1 – Комплексная модель выбора квалиметрических инструментов для оценки качества ВХИС

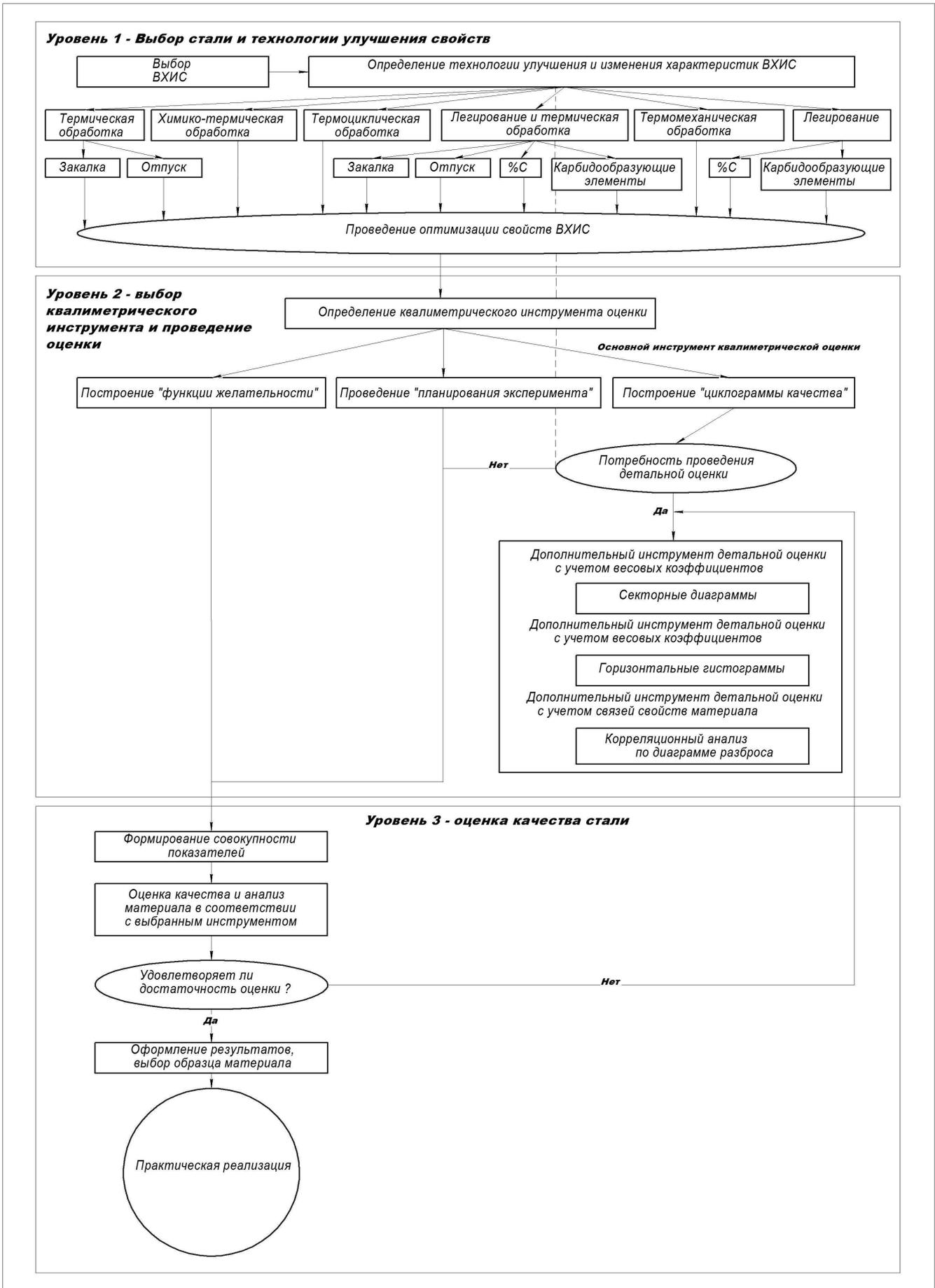


Рисунок 2 –Методика проведения оценки качества ВХИС

2.9 Экономическая оценка ВХИС

Использование высокохромистой инструментальной стали на предприятии должно быть обоснованно не только прочностными, техническими или эксплуатационными свойствами стали, но и должно быть экономически оправданным.

Стоимость легированной стали зависит от химического состава стали, типа полуфабриката и его размеров. В первом приближении сравнительную стоимость легированной стали состава $\{L_1X_1, L_2X_2, \dots, L_nX_n\}$ можно оценить, опираясь на данные А.П. Гуляева [71] по сравнительной стоимости материалов. Сравнительную стоимость предлагается определять по формуле:

$$C_{стали} = 0,01[C_{Fe} (1 - \sum X_i) + \sum C_i X_i], \quad (26)$$

где $C_{Fe} = 0,01$ – стоимость железа;

X_i – содержание i -го легирующего элемента, % (Таблица 1);

C_i – относительная стоимость i -го легирующего элемента.

Определим сравнительную стоимость сталей 60X9M2ВФЦЧ, 70X12ФБЧЦ, 110X12ФБЧЦ и X12Ф1.

$$C_{60X9M2ВФЦЧ} = 0,01[1(1 - (8,55 + 1,67 + 1,42 + 0,33 + 0,32 + 0,5)) + (8,55 * 25 + 1,67 * 170 + 1,42 * 75 + 0,33 * 750 + 0,32 * 800 + 0,1 * 800)]$$

$$C_{60X9M2ВФЦЧ} = 11,99$$

$$C_{70X12ФБЧЦ} = 0,01[1(1 - (11,83 + 0,72 + 0,11 + 0,5 + 0,06)) + (11,83 * 25 + 0,72 * 750 + 0,11 * 800 + 0,1 * 800 + 0,06 * 800)]$$

$$C_{70X12ФБЧЦ} = 10,64$$

$$C_{110X12ФБЧЦ} = 0,01[1(1 - (11,92 + 0,73 + 0,11 + 0,1 + 0,06)) + (11,92 * 25 + 0,73 * 750 + 0,11 * 800 + 0,1 * 800 + 0,06 * 800)]$$

$$C_{110X12ФБЧЦ} = 10,73$$

$$C_{X12Ф1} = 0,01[1(1 - (12,5 + 0,91) + (12,5 * 25 + 0,91 * 750))]$$

$$C_{X12Ф1} = 10,1$$

Экономическую целесообразность применения в определенном случае конкретной марки стали Ю.М. Лахтин [72] предлагает оценивать коэффициентом экономической целесообразности $K_э$:

$$K_э = \frac{C2/C1}{CB2/CB1}, \quad (27)$$

где $C2/C1$ – относительное изменение стоимости сталей 1 и 2

$CB2/CB1$ – относительное изменение анализируемого свойства сталей 1 и 2.

Сравнительный анализ может проводиться по физико-механическим свойствам сталей и их совокупности. Выбор анализируемого свойства зависит от конкретной области применения стали. При $K_э > 1$ в привязке к рассматриваемому свойству стали переход от стали 1 к стали 2 оправдан по экономическим соображениям. Если $K_э < 1$, то при рассмотрении данного свойства переход от одной марки стали к другой экономически не оправдан.

В данной диссертации были выбраны физико-механические свойства твердости, стойкости инструмента, прочности на изгиб и ударной вязкости сталей 60X9M2ВФЦЧ, 70X12ФБЧЦ, 110X12ФБЧЦ и X12Ф1. Результаты расчета экономической целесообразности приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Экономическая целесообразность ВХИС

Марка стали	Твердость	Стойкость инструмента	Прочность на изгиб	Ударная вязкость	Карбидный балл
70X12ФБЧЦ	0,98	2,37	1,32	1,86	3,8
110X12ФБЧЦ	0,97	2,85	1,19	1,6	1,9
60X9M2ВФЦЧ	0,82	3,83	1,05	1,56	3,4
X12Ф1	1	1	1	1	1

Вывод: из расчетов видно, что переход от стандартной стали X12Ф1 к сталям 60X9M2ВФЦЧ, 70X12ФБЧЦ и 110X12ФБЧЦ экономически оправдан, по всем свойствам кроме твердости, но в совокупности всех представленных физико-механических свойств также оправдан.

2.10 Выводы по главе 2

1. Показаны и исследованы возможности современных квалиметрических инструментов по оценке качества ВХИС для процесса холодной штамповки, а именно: циклограмма качества, функция желательности, планирование эксперимента, корреляционный анализ по диаграмме разброса, секторные диаграммы, горизонтальные гистограммы.
2. Уточнена номенклатура критериев оценки показателей качества ВХИС для процесса холодной штамповки.
3. Разработан комплексная модель выбора квалиметрических инструментов по оценке качества ВХИС для процесса холодной штамповки.
4. Представлен алгоритм и описана методика проведения квалиметрической оценки ВХИС для процесса холодной штамповки.
5. Показаны результаты исследования технологии оптимизации легирования и термической обработки ВХИС для процесса холодной штамповки.
6. Приведено оборудование, приборы, инструменты, нормативные документы для обработки результатов исследований по легированию и ТО ВХИС для процесса холодной штамповки.
7. Показана работа зарождения и развития трещин ВХИС для процесса холодной штамповки.
8. Дана экономическая оценка ВХИС для процесса холодной штамповки.

Раздел 3 – Результаты исследований и экспериментов

3.1 Циклограмма качества ВХИС

На основе данных таблицы 3 построена циклограмма качества и проведено сравнение полученных характеристик с помощью дифференциального метода.

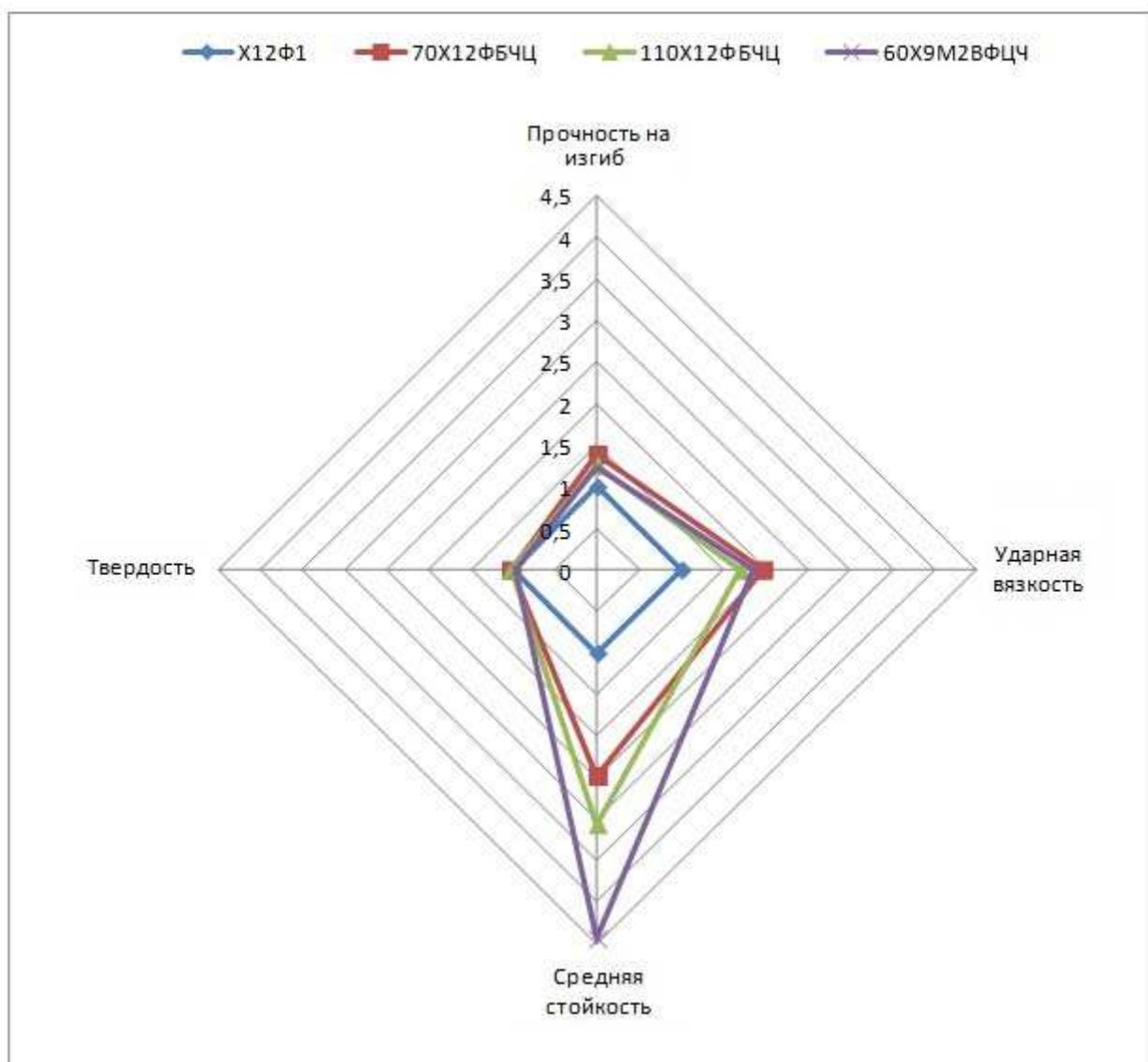


Рисунок 3 – Циклограмма качества ВХИС

Вывод: на рисунке 3 показано, что площадь многоугольника, занимаемая характеристиками стали X12Ф1 ($U_k=1$), значительно меньше площади многоугольников, занимаемых сталями 70X12ФБЦ ($U_k=1,72$), 110X12ФБЦ ($U_k=1,76$) и 60X9М2ВФЦ ($U_k=2,12$). В частности, по механической характеристике – средняя стойкость резцов, наибольшим показателем обладает сталь 60X9М2ВФЦ, по характеристикам: ударная вязкость и прочность на

изгиб самые высокие результаты демонстрирует сталь 70X12ФБЧЦ, по характеристике–твердость, лучшие показатели демонстрируют стали 70X12ФБЧЦ и 110X12ФБЧЦ и лишь сталь 60X9М2ВФЦЧ немного уступает по этой характеристике образцу Х12Ф1. В результате оценка, проведенная данным способом, наглядно демонстрирует превосходство качества сталей 60X9М2ВФЦЧ, 110X12ФБЧЦ и 70X12ФБЧЦ, улучшенных легированием и термической обработкой, над сталью Х12Ф1.

3.2 Секторные диаграммы ВХИС

Сравним стали 70X12ФБЧЦ, 110X12ФБЧЦ и 60X9М2ВФЦЧ произведенные с оптимальной термической обработкой и легированием, с гостовской сталью Х12Ф1, при этом параметры качества будут следующими:

- твердость HRC;
- карбидный балл;
- средняя стойкость резцов Т, мин;
- прочность на изгиб $G_{и}$, МПа;
- ударная вязкость $KCU \cdot 10^{-1}$, Дж/см².

Коэффициенты весомости получены экспертным путем – методом ранжирования. Коэффициент согласованности мнений экспертов составил – 0,85, что говорит о том, что коэффициентам весомости, определенным данным методом, можно доверять.

Полученные значения образцов представлены в таблицах 9, 10, 11 и на рисунках 4, 5 и 6 соответственно.

Уровень качества близок к среднему взвешенному арифметическому показателю. Значение среднего взвешенного кругового показателя графически отображается окружностью в виде пунктирной линии и составляет:

$$Y_{70X12ФБЧЦ} = \sqrt{0,2 \cdot 1,03^2 + 0,2 \cdot 4,00^2 + 0,2 \cdot 2,48^2 + 0,2 \cdot 1,39^2 + 0,2 \cdot 1,97^2} = 2,41$$

$$Y_{110X12ФБЧЦ} = \sqrt{0,2 \cdot 1,03^2 + 0,2 \cdot 2,00^2 + 0,2 \cdot 3,06^2 + 0,2 \cdot 1,26^2 + 0,2 \cdot 1,7^2} = 1,95$$

$$Y_{60X9М2ВФЦЧ} = \sqrt{0,2 \cdot 0,97^2 + 0,2 \cdot 4,00^2 + 0,2 \cdot 4,44^2 + 0,2 \cdot 1,24^2 + 0,2 \cdot 1,84^2} = 2,89$$

Уровень качества сталей 70X12ФБЧЦ, 110X12ФБЧЦ и 60X9М2ВФЦЧ превышает единицу ($Y_k > 1$), значит уровень качества данных образцов выше базового (сталь X12Ф1).

Таблица 9 – Данные для уровня качества стали 70X12ФБЧЦ

№ п/п	Образец	Базовые значения X12Ф1	70X12ФБЧЦ	Относительное значение, r_i	Коэффициент весомости, α_i	ϕ , град
1.	Твердость НРС	61	63	1,03	0,2	72
2.	Карбидный балл	4	1	4,00	0,2	72
3.	Средняя стойкость резцов Т, мин	83	206	2,48	0,2	72
4.	Прочность на изгиб $G_{и}$, МПа	3250	4500	1,39	0,2	72
5.	Ударная вязкость $KCU \cdot 10^{-1}$, Дж/см ²	0,7	1,375	1,97	0,2	72
	Сумма	-	-	-	1	360

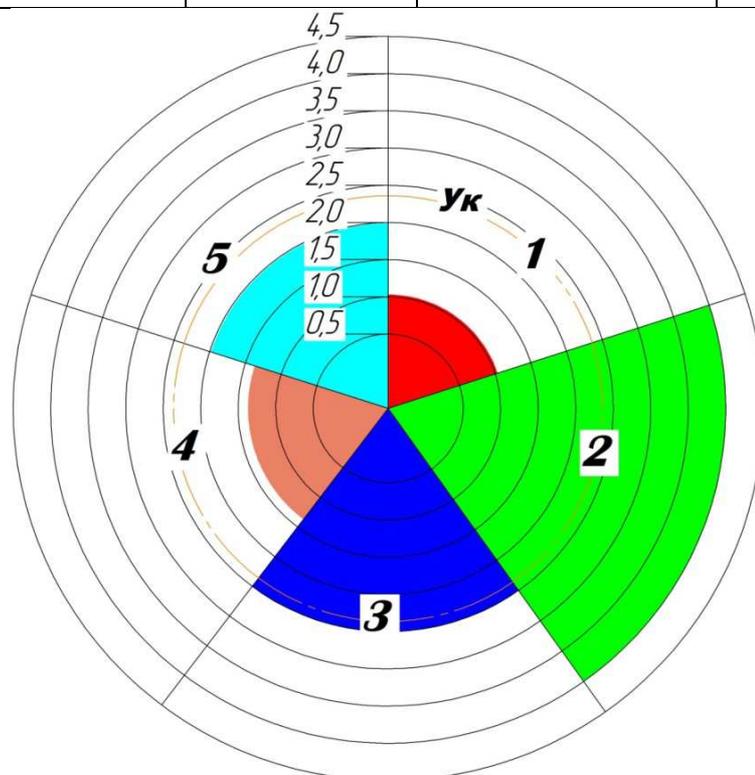


Рисунок 4 – Секторная диаграмма уровня качества стали 70X12ФБЧЦ

Табл. 10 – Данные для уровня качества стали 110X12ФБЧЦ

№ п/п	Образец	Базовые значения X12Ф1	110X12ФБЧЦ	Относительное значение, r_i	Коэффициент весомости, α_i	ϕ , град
1.	Твердость НРС	61	63	1,03	0,2	72
2.	Карбидный балл	4	2	2,00	0,2	72
3.	Средняя стойкость резцов Т, мин	83	254	3,06	0,2	72
4.	Прочность на изгиб $G_{и}$, МПа	3250	4100	1,26	0,2	72
5.	Ударная вязкость $KCU \cdot 10^{-1}$, Дж/см ²	0,7	1,187	1,7	0,2	72
	Сумма	-	-	-	1	360

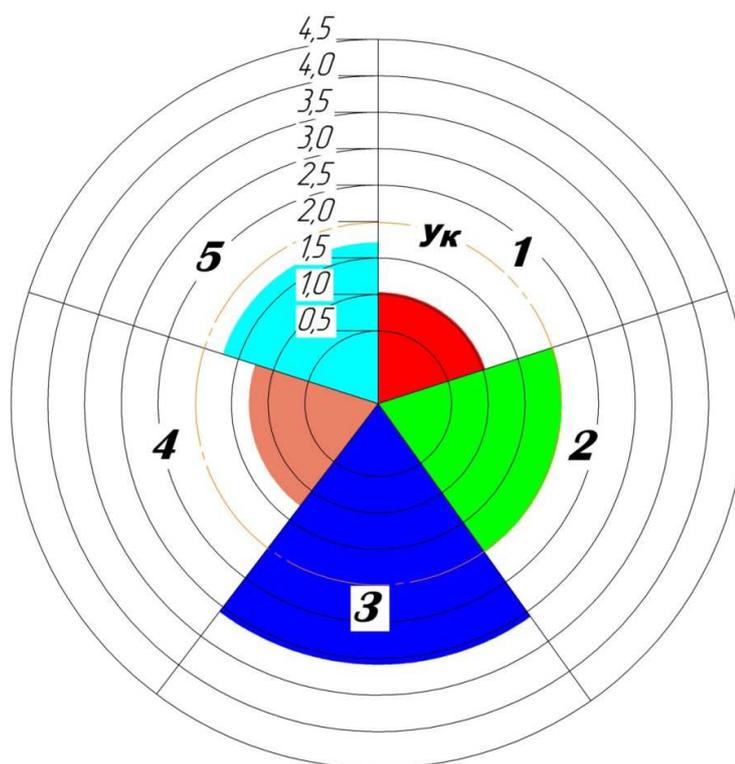


Рисунок 5 – Секторная диаграмма уровня качества стали 110X12ФБЧЦ

Табл. 11 – Данные для уровня качества стали 60X9M2BФЦЧ

№ п/п	Образец	Базовые значения X12Ф1	60X9M2BФЦЧ	Относительное значение, g_i	Коэффициент весомости, α_i	ϕ , град
1.	Твердость HRC	61	59	0,97	0,2	72
2.	Карбидный балл	4	1	4,00	0,2	72
3.	Средняя стойкость резцов T, мин	83	368	4,44	0,2	72
4.	Прочность на изгиб $G_{и}$, МПа	3250	4030	1,24	0,2	72
5.	Ударная вязкость КСУ·10 ⁻¹ , Дж/см ²	0,7	1,286	1,84	0,2	72
	Сумма	-	-	-	1	360

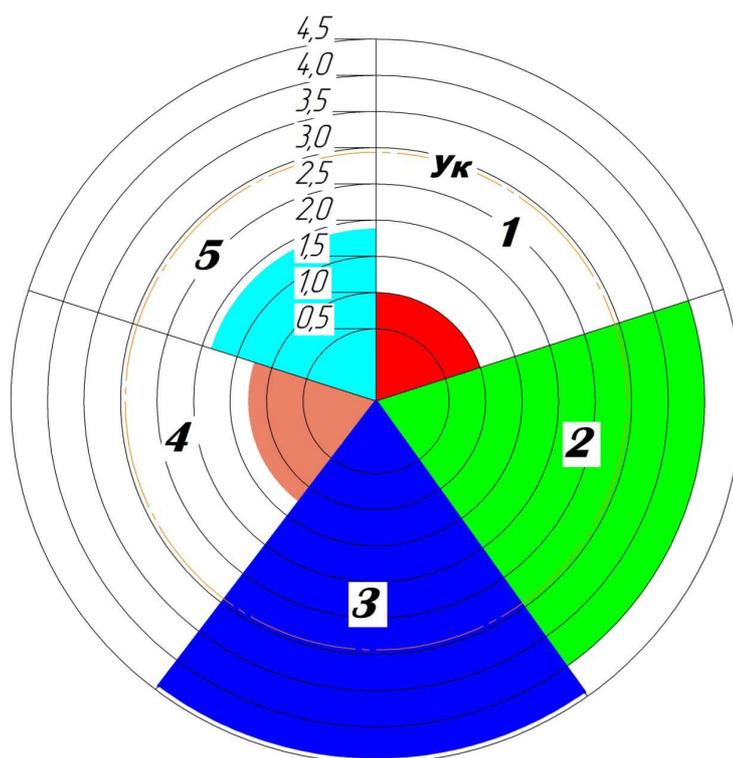


Рисунок 6 – Секторная диаграмма уровня качества стали 60X9M2BФЦЧ

Вывод: на рисунках 4, 5 и 6, показано, что секторы, занимаемые характеристиками сталей 70X12ФБЧЦ, 110X12ФБЧЦ и 60X9M2BФЦЧ, демонстрируют более высокие значения, чем базовые характеристики стали X12Ф1. Значение среднего взвешенного кругового показателя для стали 70X12ФБЧЦ со-

составляет 2,41; для стали 110Х12ФБЧЦ составляет 1,95 и для стали 60Х9М2ВФЦЧ составляет 2,89, что значительно превышает единицу (базового образца стали Х12Ф1). По характеристике "карбидный балл" все три опытных образца сталей демонстрируют превосходство над сталью Х12Ф1, сталь 70Х12ФБЧЦ и сталь 60Х9М2ВФЦЧ одинаково демонстрируют самый высокий результат по данной характеристике. По характеристикам "твердость", "средняя стойкость резцов", "прочность на изгиб" и "ударная вязкость", результаты согласуются с результатами циклограммы качества и соответствуют приведенным значениям. Оценка инструментом секторных диаграмм также демонстрирует превосходство качества сталей 60Х9М2ВФЦЧ, 110Х12ФБЧЦ и 70Х12ФБЧЦ, улучшенных легированием и термической обработкой, над сталью Х12Ф1.

3.3 Горизонтальные гистограммы ВХИС

В качестве механических характеристик для исследованных материалов были выбраны прочность на изгиб, ударная вязкость, средняя стойкость резцов, твердость и карбидный балл. После проведения исследований и необходимых расчетов были получены значения механических характеристик, показанные в таблице 3 и построена горизонтальная гистограмма сравнения с абсолютной и относительными шкалами (рисунок 7).

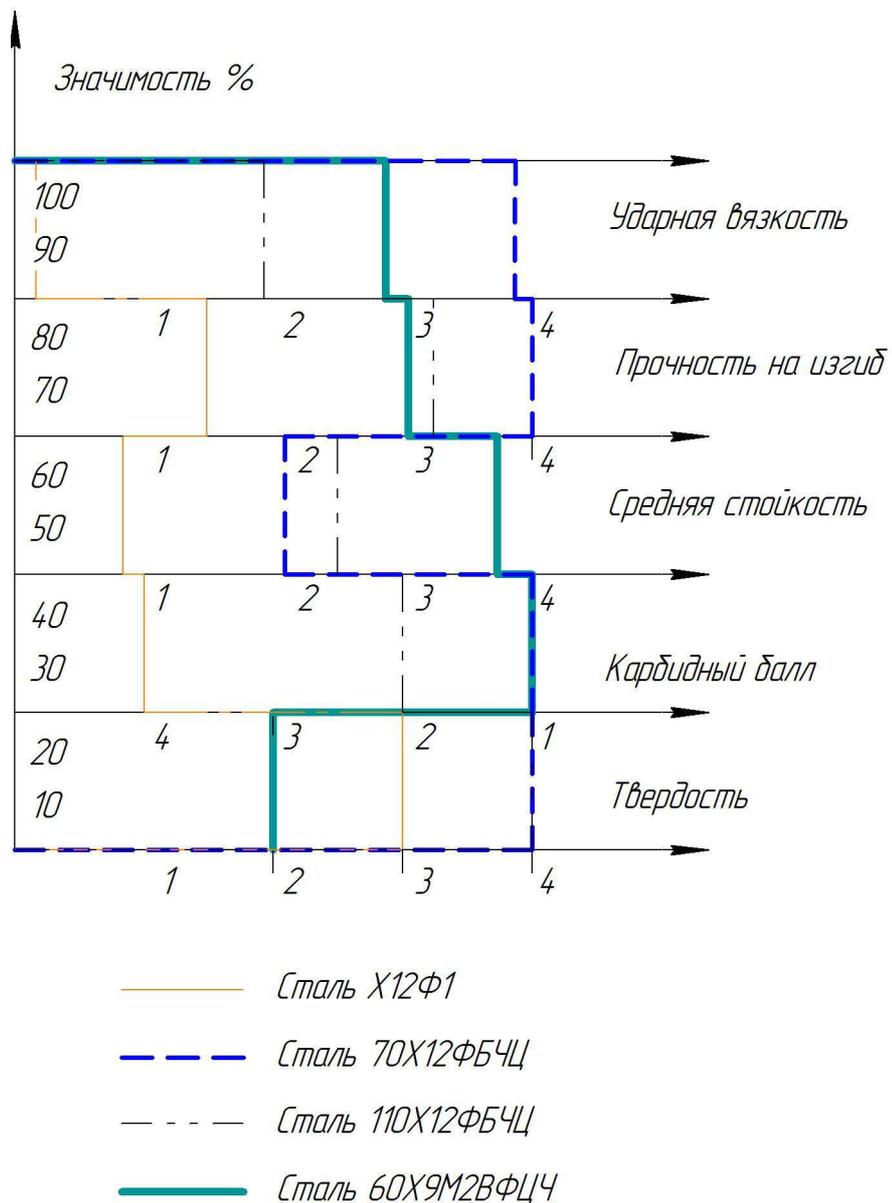


Рисунок 7 – Горизонтальная гистограмма сравнения характеристик ВХИС

Вывод: на рисунке 7 показано, что площадь гистограммы, занимаемая характеристиками стали X12Ф1 значительно меньше площади гистограмм, занимаемых сталями 70X12ФБЦ, 110X12ФБЦ и 60X9М2ВФЦЧ, по характеристике "карбидный балл", все три опытных образца сталей демонстрируют превосходство над сталью X12Ф1, но сталь 70X12ФБЦ и сталь 60X9М2ВФЦЧ одинаково демонстрируют самый высокий результат по данной характеристике. По механической характеристике "средняя стойкость резцов", наибольшим показателем обладает сталь 60X9М2ВФЦЧ, по характеристикам "ударная вязкость" и "прочность на изгиб", самые высокие ре-

зультаты демонстрирует сталь 70X12ФБЧЦ, по характеристике " твердость", лучшие показатели демонстрируют стали 70X12ФБЧЦ и 110X12ФБЧЦ и лишь сталь 60X9М2ВФЦЧ немного уступает по этой характеристике образцу стали Х12Ф1. Оценка, проведенная инструментом горизонтальных гистограмм, демонстрирует превосходство качества сталей 60X9М2ВФЦЧ, 110X12ФБЧЦ и 70X12ФБЧЦ, улучшенных легированием и термической обработкой, над сталью Х12Ф1 и согласуется с представленными выше методами квалитетической оценки.

3.4 Корреляционный анализ по диаграмме разброса ВХИС

Установлено, что качество ВХИС типа Х12 и Х8 зависит от выбора режимов термической обработки и легирования. Для оценки тесноты взаимосвязи между режимами термической обработки (а также легирования) и показателями качества материала был применен корреляционный анализ. На основе данных из таблиц 12, 13 и 14 построены поля корреляции для пары данных «твердость - температура закалки», «твердость - температура отпуска», «стойкость резцов – содержание углерода» и «стойкость резцов – содержание карбидов».

Таблица 12 – Механические свойства исследуемых материалов

Марка стали	Средняя стойкость Т, мин	Содержание углерода, %	Содержание карбидов, %
Х12Ф1	83	1,3	9,0
70Х9Ф	90	0,67	-
60Х9М2ВФЦЧ	368	0,59	-
105Х8М2ВФЦЧ	46,8	1,05	-
50Х12ФБЧЦ	184	0,52	2,2
70Х12ФБЧЦ	206	0,71	4,1
110Х12ФБЧЦ	254	1,14	7,3
9ХС	189,5	0,9	-
Р6М5	265	0,85	-

Таблица 13 – Твердость стали 50X12ФБЧЦ, 70X12ФБЧЦ и 110X12ФБЧЦ после закалки

Т°С	Твердость после закалки Сталь 50X12ФБЧЦ	Твердость после закалки Сталь 70X12ФБЧЦ	Твердость после закалки Сталь 110X12ФБЧЦ
	HRC		
900	40	48	52
1000	49,5	55	59
1025	59	60	62
1050	60	62	63
1075	59	61	62
1100	52	55	51
1150	47	42	42

Таблица 14 – Твердость стали 70X12ФБЧЦ после отпуска

Т°С	Твердость после отпуска 70X12ФБЧЦ
	HRC
300	40
350	49,5
400	59
450	60
500	59
550	52
600	47
650	42
700	25



Рисунок 8 – Диаграмма разброса показателей для пары данных «твердость - температура закалки» для стали 50X12ФБЧЦ

Таблица 15 – Данные для определения коэффициента корреляции по паре данных «твердость - температура закалки» сталь 50X12ФБЧЦ

y	x	$y_i - \bar{y}$	$(y_i - \bar{y})^2$	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$	$(x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})$
40	900	-12,36	152,77	-142,85	23338,7	1765,6
49,5	1000	-2,86	8,18	-42,85	1836,1	122,6
59	1025	6,64	44,1	-17,85	318,6	-118,5
60	1050	7,64	58,4	7,15	51,12	54,6
59	1075	6,64	44,1	32,15	1033,6	215,8
52	1100	-0,36	0,13	57,15	3266,1	-20,6
47	1150	-5,36	28,73	107,15	11481,1	-574,3
$\bar{y} =$ 52,36	$\bar{x} =$ 1042,85		$\sum y =$ 336,41		$\sum x =$ 41325,32	$\sum (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y}) =$ 1445,2

Подставив результаты вычислений в формулу (7), получим:

$$r = \frac{1445,2}{\sqrt{336,41 \cdot 41325,32}} = 0,39$$

Ввиду оценки корреляции по выборке малого объема ($N=7$ меньше 100) необходима поправка по формуле (8):

$$r' = 0,39 \left[1 + \frac{1 - 0,39^2}{2(7 - 3)} \right] = 0,43$$

Аналогично рассчитываются коэффициенты корреляции для остальных пар данных, результаты расчетов представлены в таблице 16.

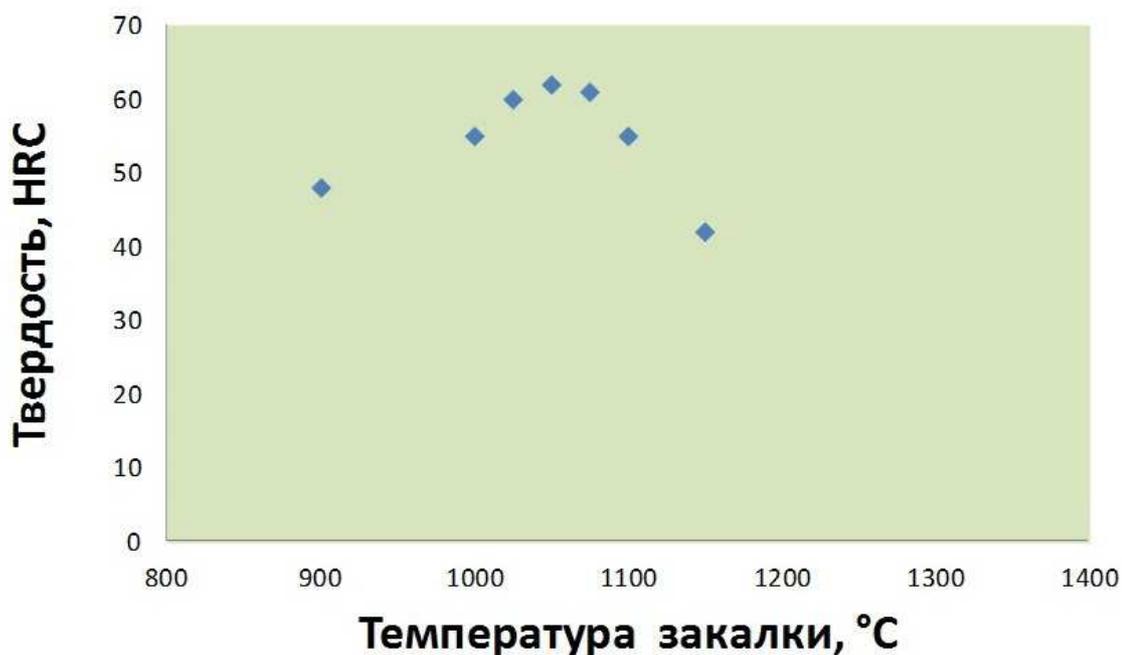


Рисунок 9 – Диаграмма разброса показателей для пары данных «твердость - температура закалки» для стали 70X12ФБЧЦ

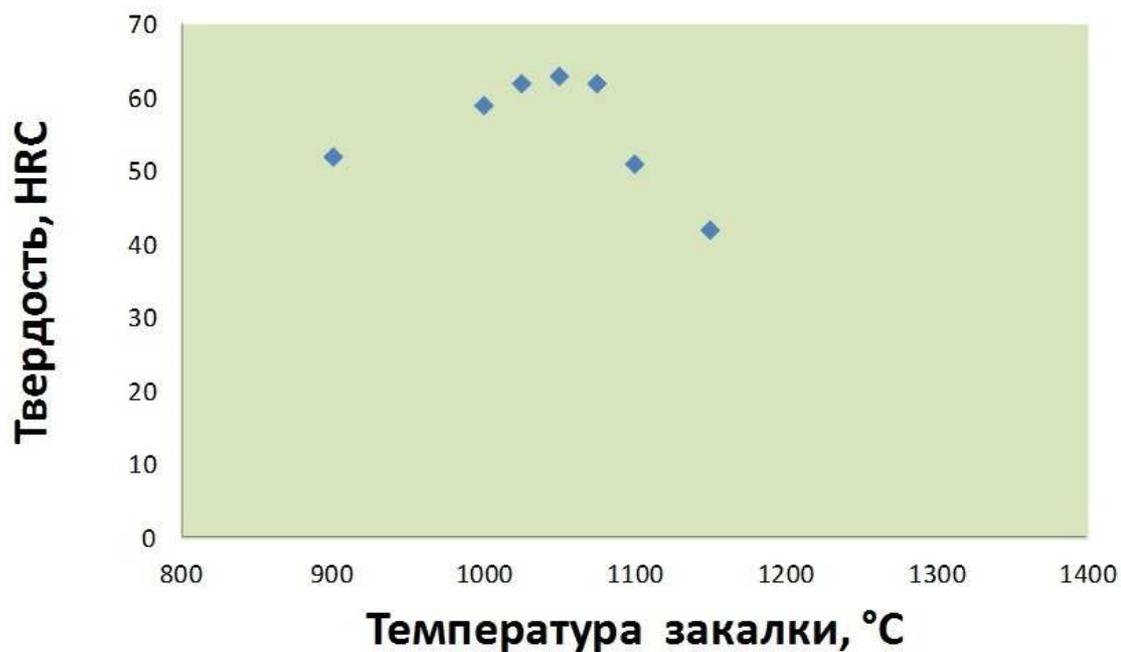


Рисунок 10 – Диаграмма разброса показателей для пары данных «твердость - температура закалки» для стали 110X12ФБЧЦ

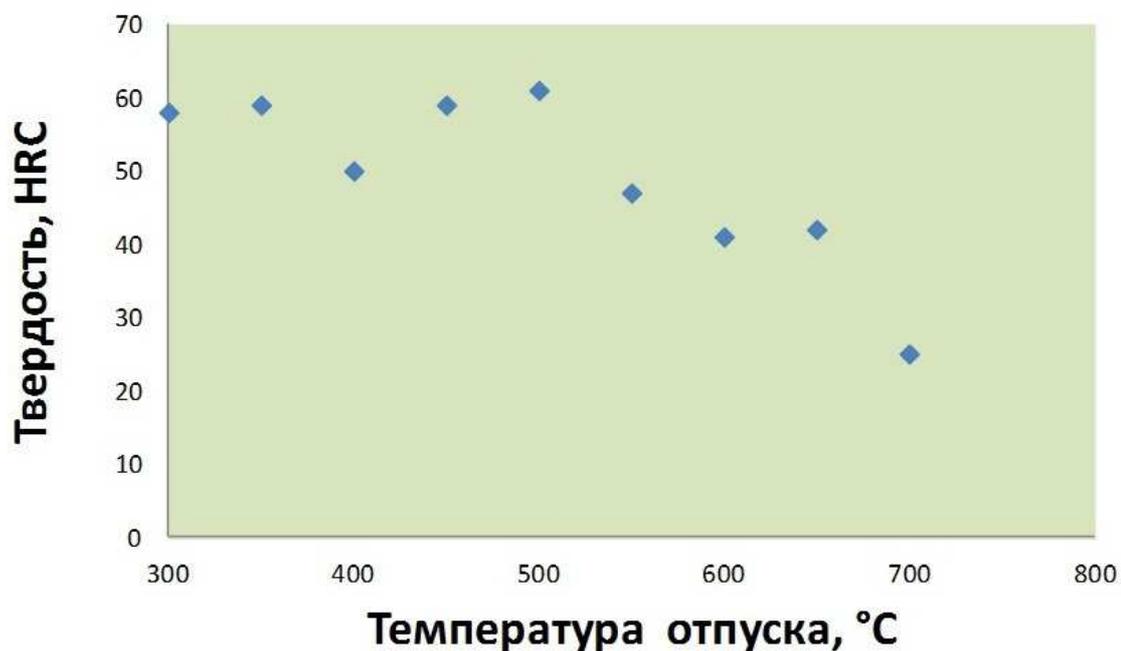


Рисунок 11 – Диаграмма разброса показателей для пары данных «твердость - температура отпуска» для стали 70X12ФБЧЦ

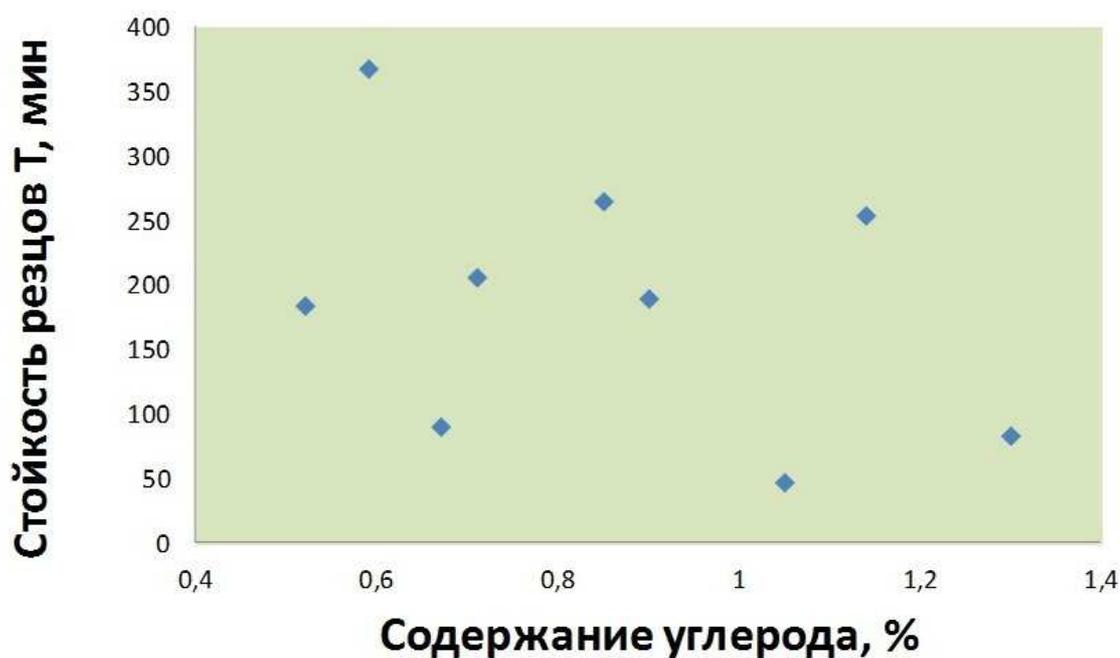


Рисунок 12 – Диаграмма разброса показателей для пары данных «стойкость резцов – содержание углерода» для исследованных ВХИС

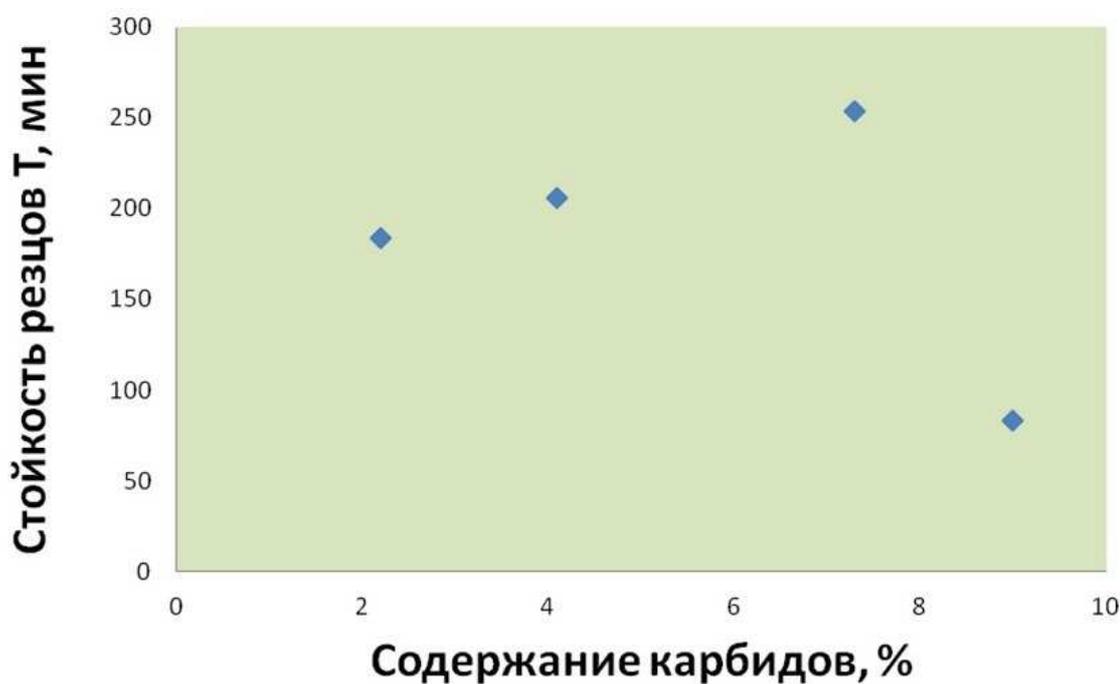


Рисунок 13 – Диаграмма разброса показателей для пары данных «стойкость резцов – содержание карбидов» для исследованных ВХИС

Из рисунков 8 - 13 видно, что между показателями существует прямая отрицательная корреляционная связь, прямая положительная корреляционная

связь и криволинейная связь, тесноту которых можно оценить с помощью коэффициента корреляции, вычисляемого по формуле (7). Из формулы (7) видно, что для вычисления r необходимо найти средние значения признаков X и Y , а также отклонения каждого статистического данного от его среднего $(x_i - \bar{x}), (y_i - \bar{y})$. Зная эти значения, находят суммы $\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}), \sum (x_i - \bar{x})^2, \sum (y_i - \bar{y})^2$. Результаты вычислений представлены в таблицах 14 и 15.

Таблица 16 – Коэффициенты корреляции для пар данных, полученные в результате расчетов

Пара данных	Коэффициент корреляции Пирсона, r_i
«твердость - температура закалки» для стали 50X12ФБЧЦ	0,43
«твердость - температура закалки» для стали 70X12ФБЧЦ	-0,078
«твердость - температура закалки» для стали 110X12ФБЧЦ	-0,345
«твердость - температура отпуска» для стали 70X12ФБЧЦ	-0,85
«стойкость резцов – содержание углерода» для сталей X12Ф1, 70X9Ф, 60X9М2ВФЦЧ, 105X8М2ВФЦЧ, 50X12ФБЧЦ, 70X12ФБЧЦ, 110X12ФБЧЦ, 9ХС, Р6М5	-0,66
«стойкость резцов – содержание карбидов» для сталей X12Ф1, 50X12ФБЧЦ, 70X12ФБЧЦ, 110X12ФБЧЦ	-0,56

Вывод: на рисунках 8 - 13 показано, что между показателями существует линейная отрицательная корреляционная связь и криволинейная связь. Расчет коэффициента корреляции показал, что наиболее высокой степенью взаимосвязи (-0,85), обладает пара «твердость - температура отпуска» для стали 70X12ФБЧЦ; средней степенью взаимосвязи (-0,66) обладает пара «стойкость резцов - содержание углерода» для исследованных инструментальных высокохромистых сталей. Оценка инструментом корреляционного анализа по диаграмме разброса наглядно показала, что варьированием температурой отпуска или содержанием углерода можно эффективно влиять на качество исследуемых ВХИС, улучшенных легированием и термической обработкой.

3.5 Функция желательности ВХИС

Для построения функции желательности в качестве показателей желательности материала были выбраны характеристики работоспособности (таблица 3): твердость, стойкость инструмента и карбидный балл стали.

Исходные данные взяты из таблицы 3, а градации качества выбираются в соответствии с данными таблицы 6. Для перевода значений твердости, стойкости резцов и карбидного балла стали в безразмерную шкалу решаются следующие системы уравнений:

$$\text{Твердость, HRC} - \begin{cases} 4,5 = a_0 + 63a_1, \\ 1 = a_0 + 59a_1. \end{cases}$$

$$\text{Средняя стойкость резцов} - \begin{cases} 4,5 = a_0 + 368a_1, \\ 1 = a_0 + 83a_1. \end{cases}$$

$$\text{Карбидный балл стали} - \begin{cases} 4,5 = a_0 + 1a_1, \\ 1 = a_0 + 4a_1. \end{cases}$$

Рассчитанные данные функции желательности приведены в таблице 17, а в таблице 18 - единичные и комплексные показатели желательности для исследуемых сталей.

Таблица 17 – Показатели желательности и безразмерные вспомогательные показатели

Марка стали, режим термической обработки	Твердость		Средняя стойкость		Карбидный балл стали	
	у	Q	у	Q	у	Q
Согласно экспериментальным данным						
<u>70X12ФБЧЦ</u> 3.1050°С, м., о.150°С, 1 ч.	4,5	0,80	2,453	0,67	4,5	0,80
<u>110X12ФБЧЦ</u> 3.1050°С, м., о.150°С, 1 ч.	4,5	0,80	3,029	0,72	3,33	0,74

<u>60X9M2BФЦЧ</u> 3.1025°С, м., о.150°С, 1 ч	1	0,37	4,5	0,8	4,5	0,80
Согласно нормативным документам						
<u>X12Ф1</u> 3.970°С, м., о.180°С, 1 ч.	2,75	0,70	1	0,37	1	0,37

Для сравнения в качестве базовых приняты значения твердости для сталей типа X12, полученных стандартными способами (ГОСТ 5950-2000) и значения стойкости резцов и механических свойств, полученных в экспериментах со сталью X12Ф1. На рисунке 14 представлена функция желательности для трех факторов качества.

Таблица 18 – Единичные и комплексные показатели желательности исследуемых сталей

Марка стали, режим термической обработки	Единичные показатели желательности по отдельным характеристикам материала			Комплексный показатель желательности
	Средняя стойкость	Твердость	Карбидный балл стали	
<u>70X12ФБЧЦ</u> 3.1050°С, м., о.150°С, 1 ч.	0,67 (хорошо)	0,80 (отлично)	0,80 (отлично)	0,754
<u>110X12ФБЧЦ</u> 3.1050°С, м., о.150°С, 1 ч.	0,72 (хорошо)	0,80 (отлично)	0,74 (хорошо)	0,752
<u>60X9M2BФЦЧ</u> 3.1025°С, м., о.150°С, 1 ч	0,80 (отлично)	0,37 (удовл.)	0,80 (отлично)	0,62
X12Ф1	0,37 (удовл.)	0,70 (хорошо)	0,37 (удовл.)	0,46

Модифицированный комплексный показатель желательности:

Как уже отмечалось ранее, для увеличения объективности и полноты оценки, новых ВХИС была модифицирован расчет комплексного показателя желательности Харрингтона, путем введения коэффициентов экономической целесообразности свойств исследуемого материала таблица 8. В результате внедрения коэффициентов экономической целесообразности в расчет комплексного показателя желательности был получен модифицированный комплексный показатель желательности (формула 12) и на примере механических свойств ВХИС таблица 18 (стойкость инструмента, твердость, карбидный балл) и соответствующих коэффициентов экономической целесообразности этих свойств, были получены следующие результаты:

$$Q_{70.X12ФБЦ} = \sqrt[3]{0,67 \times 2,37 \times 0,80 \times 0,98 \times 0,80 \times 3,8} = 1,55 ;$$

$$Q_{110.X12ФБЦ} = \sqrt[3]{0,72 \times 2,85 \times 0,80 \times 0,97 \times 0,74 \times 1,9} = 1,3 ;$$

$$Q_{60Ч92ВФЦ} = \sqrt[3]{0,80 \times 3,83 \times 0,37 \times 0,82 \times 0,80 \times 3,4} = 1,36 ;$$

$$Q_{X12Ф1} = \sqrt[3]{0,37 \times 1,0 \times 0,70 \times 1,0 \times 0,37 \times 1,0} = 0,46$$

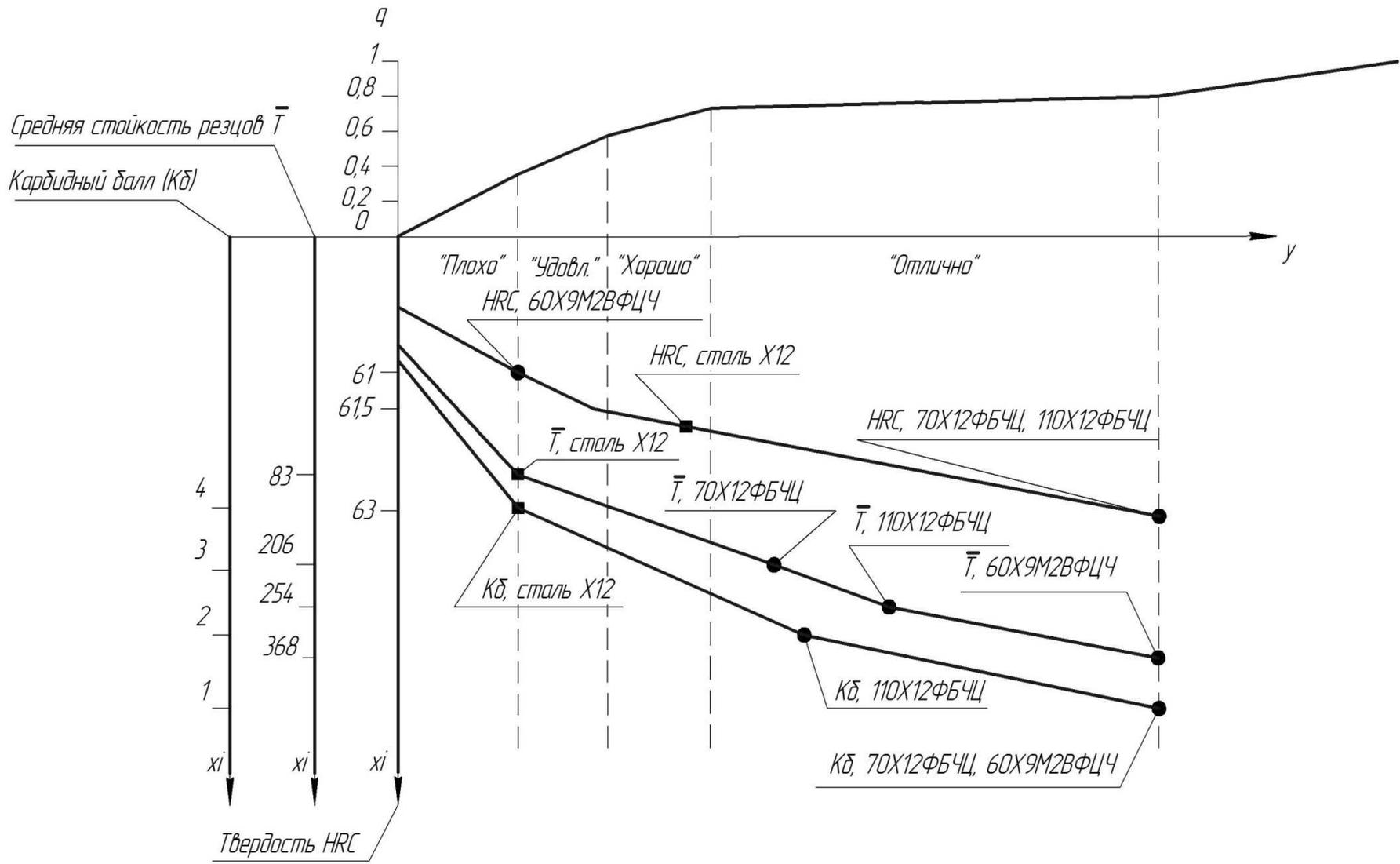


Рисунок 14 – Номограмма показателей желательности

Вывод: из рисунка 14 номограммы желательности видно, что по механической характеристике «твердость» самым высоким результатом обладает сталь 70X12ФБЧЦ и сталь 110X12ФБЧЦ, падающие на отрезок «отлично», сталь X12Ф1 демонстрирует результат, попадающий в отрезок «хорошо», и лишь сталь 60X9М2ВФЦЧ показывает результат в отрезке «удовлетворительно». Но по механической характеристике «средняя стойкость» сталь 60X9М2ВФЦЧ попадает на границу отрезка «отлично» и «превосходно». Стали 70X12ФБЧЦ и 110X12ФБЧЦ также попали на отрезок «отлично», а сталь X12Ф1 демонстрирует низкий результат, тем самым попадая на отрезок «удовлетворительно». По механической характеристике «карбидный балл» стали 60X9М2ВФЦЧ и 70X12ФБЧЦ попадают на отрезок «отлично», сталь 110X12ФБЧЦ также попадает на отрезок «отлично», а сталь X12Ф1 демонстрирует низкий результат, попадает на отрезок «удовлетворительно». Модифицированный комплексный показатель желательности показывает, что наилучшим сочетанием характеристик обладают стали 70X12ФБЧЦ и 110X12ФБЧЦ, т.к. значение обобщенной функции желательности имеет максимальное значение 1,55 и 1,3 соответственно у стали 60X9М2ВФЦЧ этот показатель составляет 1,36, что свидетельствует о хорошем сочетании характеристик, значительно худшие результаты демонстрирует сталь X12Ф1 комплексный показатель желательности составляет 0,46.

3.6 Планирование эксперимента ВХИС

Планирование эксперимента проводилось с целью определения условий термической обработки и содержания углерода, необходимых для создания оптимальных характеристик инструментальных сталей и, как следствие, повышения качества материала. При планировании в соответствии с методикой, рассмотренной выше, был реализован полный трехфакторный эксперимент. Результаты экспериментов представлены в таблице 19.

Параметром оптимизации являлось значение стойкости инструмента, факторами оптимизации были выбраны температура закалки и отпуска, и количество углерода (таблица 20)

Таблица 19 – Условия проведения опытов

Номер опыта	Материал	$T_{\text{зак}}, ^\circ\text{C}$	%C	$T_{\text{отп}}, ^\circ\text{C}$	T, мин
1	X12Ф1	970	1,3	170 ⁰ C	83
2	50X12ФБЧЦ	1180	0,52	520	184
3	70X12ФБЧЦ	1210	0,71	500	206
4	110X12ФБЧЦ	1230	1,14	600	254
5	70X9Ф	1180	0,67	500	90
6	60X9M2ВФЦЧ	1220	0,59	550	368
7	105X8M2ВФЦЧ	1250	1,05	550	46,8
8	P6M5	1220	0,85	560	265

В таблице 20 приведены значения факторов оптимизации для проведенных экспериментов, а таблица 21 представляет матрицу планирования экспериментов.

Таблица 20 – Факторы оптимизации

Факторы	Температура закалки, $^\circ\text{C}$	Количество углерода, %	Температура отпуска, $^\circ\text{C}$
Код	x_1	x_2	x_3
Основной уровень (X_{i0})	1110	0,91	385
Интервал варьирования (ΔX_i)	140	0,39	215
Верхний уровень	1250	1,3	600
Нижний уровень	970	0,52	170

Таблица 21 – Матрица планирования экспериментов

Номер опыта	Факторы				Стойкость инструмента, T мин
	x_0	x_1	x_2	x_3	
1	+1	-1	1	-1	83
2	+1	0,944	-1	0,87	184
3	+1	0,968	0,55	0,83	206
4	+1	0,984	0,85	1	254
5	+1	0,944	0,515	0,83	90
6	+1	0,976	0,45	0,92	368

7	+1	1	0,81	0,92	46,8
8	+1	0,976	0,65	0,93	265

По формуле (20) были рассчитаны коэффициенты регрессии функции отклика

$$b_0 = \frac{(+1) \cdot 83 + (+1) \cdot 184 + (+1) \cdot 206 + (+1) \cdot 254 + (+1) \cdot 90 + (+1) \cdot 368 + (+1) \cdot 46,8 + (+1) \cdot 265}{8} = 187,1$$

$$b_1 = \frac{(-1) \cdot 83 + (0,944) \cdot 184 + (0,968) \cdot 206 + (0,984) \cdot 254 + (0,944) \cdot 90 + (0,976) \cdot 368 + (+1) \cdot 46,8 +$$

$$\frac{+ (0,976) \cdot 265}{8} = 161,21$$

$$b_2 = \frac{(+1) \cdot 83 + (-1) \cdot 184 + (0,55) \cdot 206 + (0,85) \cdot 254 + (0,515) \cdot 90 + (0,45) \cdot 368 +$$

$$\frac{+ (0,81) \cdot 46,8 + (0,65) \cdot 265}{8} = 81,23$$

$$b_3 = \frac{(-1) \cdot 83 + (0,87) \cdot 184 + (0,83) \cdot 206 + (+1) \cdot 254 + (0,83) \cdot 90 + (0,92) \cdot 368 +$$

$$\frac{+ (0,92) \cdot 46,8 + (0,93) \cdot 265}{8} = 150,6$$

Уравнение регрессии имеет вид

$$y = 187,1 + 161,21x_1 + 81,23x_2 + 150,6x_3$$

Вывод: установлено, что достижение максимальных значений стойкости инструмента стали 60X9M2ВФЦЦ(368 мин.), стали 110X12ФБЧЦ(254 мин.), стали 70X12ФБЧЦ(206 мин.) и для стали X12Ф1(83 мин.), возможно при приближении значений факторов «Температура закалки» и «Температура отпуска» к верхнему уровню интервала варьирования. Сопоставление коэффициентов регрессии при соответствующих факторах показало, что наибольшее влияние в проводимых экспериментах имеет температура закалки. Оценка проведенная инструментом планирования эксперимента, наглядно показывает, что меняя температуру закалки, отпуска или содержание углерода, можно эффективно влиять на качество исследованных сталей.

3.7 Практическая реализация результатов эксперимента по влиянию легирования и термической обработки ВХИС

В результате оптимизации ВХИС легированием и термической обработкой, были получены следующие результаты показанные в таблице 22.

Таблица 22 - Свойства ВХИС после оптимизации легирования и термической обработки

Марка стали	Режим термической обработки	Твердость	Стойкость инструмента	Прочность на изгиб	Ударная вязкость	Карбидный балл
70X12ФБЧЦ	3.1050°C, м., о.150°C, 1 ч.	103,3	248,2	138,5	196,5	400
110X12ФБЧЦ	3.1050°C, м., о.150°C, 1 ч.	103,3	306	126	169,6	200
60X9M2ВФЦЧ	3.1025°C, м., о.150°C, 1 ч.	96,7	443,4	124	183,7	400
X12Ф1	3.970°C, м., о.180°C, 1 ч.	100	100	100	100	100

При выполнении данной работы был проведен анализ номенклатуры холодноштампового инструмента в ПО «Ленинградский завод турбинных лопаток» и в НПО «Северная заря». На основании проведенного анализа был выбран наиболее тяжело нагруженный и быстро выходящий из строя штамповый инструмент – пробивные и чеканочные пуансоны и пробивные матрицы.

С целью проверки полученных результатов исследования по повышению стойкости инструмента из сталей с пониженным содержанием углерода вследствие равномерного распределения карбидов чеканочные пуансоны были изготовлены из предлагаемой высокохромистой стали 70X12ФБЧЦ с пониженным содержанием углерода.

В Ленинградском научно-производственном объединении «Северная заря» в производственных условиях были проведены испытания этих пуансонов. Чеканочные пуансоны работали при выполнении операции «осадка» ос-

нования из сплава 47НД. Стойкость пуансона составила 30000 деталей, что в 3 раза превышает максимальную стойкость применяемых на заводе пуансонов из стали Х12Ф1. При этом пуансоны вышли из строя не из-за разрушения, а по причине недостаточной высоты за счет переточки.

Новые разработанные инструментальные стали 70Х9Ф и 60Х9М2ФВЦЧ для холодного деформирования были испытаны в качестве материала пуансона и матриц в штампах для пробивки отверстий диаметром 4,2 мм и толщиной 1,2 мм из стали 30Х13 в заготовках для ножей длиной 180, 300 и 350 мм в ПО «Ленинградский завод турбинных лопаток».

Длительная эксплуатация инструмента из опытных сталей показала, что стойкость пуансонов в 1,4 раза выше стойкости применяемых на заводе таких же пуансонов из стали Х12Ф1. При этом работа была стабильной.

По результатам проведенной квалиметрической оценки ВХИС для процесса холодной штамповки современными инструментами качества установлено, что наиболее объективную, точную и достаточную оценку качества можно получить, используя совокупность предложенных инструментов качества. Для квалиметрической оценки физико-механических характеристик рекомендуется использовать следующие инструменты: функцию желательности, циклограмму качества, секторные диаграммы, горизонтальные гистограммы. В случае если требуется установить связь между факторами влияющими на показатели качества и оценить их влияние, рекомендуется проводить квалиметрическую оценку инструментом планирования эксперимента и/или корреляционным анализом по диаграмме разброса.

3.8 Выводы по главе 3

1. Проведена квалиметрическая оценка ВХИС для процесса холодной штамповки в соответствии с предложенной методикой и выбранными физико-механическими характеристиками.

2. Установлено, что наилучшим сочетанием характеристик обладают стали 60Х9М2ВФЦЧ и 70Х12ФБЧЦ.

3. Показано, что при проведении практической реализации разработанных ВХИС для процесса холодной штамповки, подтверждается их эффективность полученная в результате натуральных испытаний эквивалентных, значениям квалитетической оценки по разработанной методике.

4. Установлена значительная эффективность от применения разработанной методики по оценке качества ВХИС для процесса холодной штамповки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе достигнута цель, имеющая важнейшее экономическое и хозяйственное значение - повышение качества оценки ВХИС путем разработки методики квалитетической оценки ориентированной на повышение качества ВХИС для процесса холодной штамповки. Предложенная методик позволяет повысить экономическую эффективность процессов производства связанных с операциями по холодной штамповке, за счет отсутствия необходимости определения комплекса прочностных свойств, отсутствия необходимости получения специальных образцов, отсутствия специального оборудования, не требуя значительных материальных и временных затрат в т.ч. на испытания. Рассмотренные инструменты квалитетической оценки ВХИС, наглядно продемонстрированные в данной работе, позволяют дать комплексную оценку физико-механических свойств инструментальных материалов. В сочетании их совместного использования для оценки рассмотренных объектов исследования (ВХИС для процесса холодной штамповки) предоставляют исследователю наиболее широкое представление о качестве исследуемых материалов, из всех существующих методик оценки на сегодняшний день, что позволяет говорить о новизне разработанной методики и ее эффективности по сравнению с уже ставшим классическим экспертным оцениванием. Наиболее существенным превосходством над сталью Х12Ф1, обладают образцы экспериментальных сталей 70Х12ФБЧЦ и 60Х9М2ВФЦЧ

показавшие наиболее высокие физико-механические характеристики при испытаниях и обладающих более высоким уровнем качества. В работе получены следующие новые научные результаты:

1. Определены основные показатели качества ВХИС для процесса холодной штамповки на основе проведенного анализа механических характеристик при испытаниях основных эксплуатационных свойств: стойкость инструмента, ударная вязкость, прочность на изгиб, твердость и карбидный балл.
2. Расширены возможности современных квалитетических инструментов: функции желательности (улучшен расчет комплексного показателя желательности модифицированный путем введения коэффициента экономической целесообразности), планирования эксперимента, циклограммы качества, секторных диаграмм, горизонтальных гистограмм, корреляционного анализа по диаграмме разброса применительно к задаче оценивания качества ВХИС для процесса холодной штамповки.
3. Впервые разработана комплексная модель выбора инструментов оценки качества ВХИС для процесса холодной штамповки.
4. Впервые разработана методика оценки качества ВХИС для процесса холодной штамповки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дурнев В.Д., Сапунов С.В., Федюкин В.К. Экспертиза и управление качеством промышленных материалов. – СПб.: Питер, 2004. – 254с.
2. Геллер Ю.А. Инструментальные стали. 5-е изд.,– М.: Металлургия, 1983. – 527с.
3. Трусова Е.В. Низкотемпературная нитроцементация штамповых сталей и наплавленных покрытий для повышения долговечности штампового инструмента. Курск, Министерство образования и науки Российской Федерации Юго-Западный государственный университет, 2011 – 159с.
4. Фирсова Н.В. Разработка оптимального легирующего комплекса и режимов термического упрочнения штамповых сталей. Оренбург, Орский гуманитарно-технологический институт-филиал государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Оренбургский государственный университет», 2011 – 145с.
5. Гурьев А.М. Экономнолегированные стали для литых штампов горячего деформирования и их термоциклическая и химико-термоциклическая обработка. Томск, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова Томский Государственный архитектурно-строительный университет, 2001 – 487с.
6. Зимин А.В. Влияние атомного строения легирующих компонентов на превращения аустенита и разработка режимов термической обработки стали X12M. М.:, 1998 – 160с.
7. Никулин А. А. Упрочнение высокохромистых сталей и покрытий химико-термической обработкой для повышения стойкости в условиях коррозионно-механического изнашивания. Курск, Курский государственный технический университет, 2009 – 150с.
8. Немтырев О. В. Разработка и исследование высокостойких литейных хромистых сталей для пресс-форм литья под давлением алюминиевых сплавов. Рыбинск, Рыбинская государственная авиационная технологическая академия имени П.А. Соловьева, 2005 – 236с.

9. Власова О. А. Повышение эксплуатационных свойств инструментальных сталей методами термоциклической обработки. Барнаул, 2009 – 186с.
10. Земляков С. А. Закономерности формирования структуры и свойств инструментальных сталей для холодного деформирования в процессе циклического теплового воздействия. Барнаул, 2006 – 151с.
11. Околович Г.А. Теоретические и экспериментальные основы экономного легирования высокопрочных инструментальных сталей. Барнаул, Алтайский государственный технический университет им.И.И. Ползунова, 2006 – 327с.
12. Азгальдов Г.Г., Костин А.В., Садовов В.В. Квалиметрия: первоначальные сведения. Справочное пособие с примером для АНО «Агентство стратегических инициатив по продвижению новых проектов»: Учеб. пособие— М.: Высш. шк., 2010 — 143 с.: ил.
13. Ахмадуллин Э. А. Методологические основы повышения качества нефтегазопромысловых работ. М.: Российский государственный университет нефти и газа имени И.М Губкина, 2012 – 187с.
14. Марков А.В. Методологические основы автоматизированного контроля качества датчиков давления, СПб.: Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им Д.Ф.Устинова 2011- 209с.
15. Погосян А.М. Разработка метода создания и управления качеством наукоемкой продукции. М.: Министерство образования и науки РФ Московский авиационный институт (Национальный Научно-Исследовательский университет), 2011- 141с.
16. Рябинина Е.А. Разработка методики статистического управления процессами при измерении характеристик качества с помощью порядковой шкалы. СПб.: Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), 2011 – 127с.
17. Косаревская А.В. Квалиметрическая оценка управленческих решений в системе менеджмента качества. Тула, ГОУ ВПО «Тульский государственный университет» 2010 – 141с

18. Бузунов Е.Г. Методика прогнозирования качества покрытия при горячем цинковании проволоки на основе использования статистического анализа и фрактальной геометрии. Магнитогорск, ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова 2010 – 119с.
19. Мосин Н.Е. Разработка методики управления качеством испытательного оборудования в процессе эксплуатации. М.: 2010 – 142с.
20. Новикова Е.Г. Разработка методических рекомендаций по применению квалитметрических методов оценки качества материалов в условиях высокоскоростного нагружения. М.: Санкт-Петербургский государственный инженерно-экономический университет, 2009 – 112с.
21. Хунузиди Е.И. Разработка методики непрерывного улучшения деятельности организации на основе применения системного подхода и статистического управления процессами. М.: Федеральное агентство по образованию «МАТИ» - Российский государственный технологический университет им.К.Э Циолковского, 2007 – 150с.
22. Матюнин В.М., Дубов А.А., Марченков Ю.А. Общие закономерности проявления масштабного фактора при определении прочности и твердости металла. М.: «Заводская лаборатория. Диагностика материалов» №8.2010. том 76, С. – 43.
23. Вилисов В.Я. Применение принципов оптимального планирования эксперимента при разработке процедур выбора управленческих решений на предприятии. М.: «Заводская лаборатория. Диагностика материалов» №5.2010. том 76, С. – 60.
24. Григорович К.В., Арсенкин А.М., Спрыгин Г.С. Новые возможности современных методов анализа сталей. М.: «Заводская лаборатория. Диагностика материалов». Специальный выпуск 2008. том 74, С. – 55.
25. Орлов А.И. Статистические пакеты – инструменты исследователя. М.: «Заводская лаборатория. Диагностика материалов» №5.2008. том 74, С. – 76.

26. Барсукова М.С., Виссер Е.Е., Чернов Е.Б., Карбаинов Ю.А. Методы планирования эксперимента для исследования моющей способности растворов после их электрохимической обработки. М.: «Заводская лаборатория. Диагностика материалов» №1.2008. том 74, С. – 71.
27. Баженов В.Г., Зефирова С.В., Осетров С.Л. Экспериментально-расчетный метод идентификации деформационных и прочностных свойств материалов. М.: «Заводская лаборатория. Диагностика материалов» №9. 2006. том 72, С. – 39.
28. Орлов А.И. «Шесть Сигм» - новая система внедрения математических методов исследования. М.: «Заводская лаборатория. Диагностика материалов» №5.2006. том 72, С. – 50.
29. Орлов А.И. Математические методы исследования и теория измерений. М.: «Заводская лаборатория. Диагностика материалов» №1.2006. том 72, С. – 67.
30. Сандовский В.А. Контроль качества изотермической закалки сталей. М.: «Заводская лаборатория. Диагностика материалов» №11.2012. том 78.
31. Лахова Е.Н., Носов В.В. Оценка качества технологического процесса на основе структурно-силового анализа прочностной неоднородности материала. М.: «Заводская лаборатория. Диагностика материалов» №08.2012. том 78. С. – 69.
32. Мокрицкий Б.Я., Высоцкий В.В., Соболев Е.Ю., Дроздов К.Ю. Методики и некоторые результаты применения метода акустической эмиссии для оценки эксплуатационных свойств инструментальных материалов. М.: «Заводская лаборатория. Диагностика материалов» №07.2012. том 78. – С. – 37.
33. Волкова О.А. Использование инструментов и методов управления качеством в практике управления знаниями машиностроительного предприятия. М.: «Качество. Инновации. Образование» №4, 2012.

34. Федоров В.К., Гужевкин К.С. Статистический метод прогнозирования показателей качества приборных корпусов радиоэлектронных средств. М.: «Качество. Инновации. Образование» №6, 2011.
35. Кузнецов А.А. Применение методов проверки гипотез для выявления причин снижения качества. М.: «Методы менеджмента и качества». №1. 2011. – С. – 42.
36. Кузнецов А.А. Функции когерентности для выявления причин снижения качества. Москва. «Методы менеджмента и качества». №5, №6. 2011. – С. – 42.
37. Дроздов И.А., Ляченков Н.В., Уваров В.В. Штамповые стали. Самара: СГАУ, 2001. – 134с.
38. Кушнарев Г.М., Родионов Б.В. Инструментальные материалы. Челябинск : Изд-во ЮУрГУ, 2001. – 58с.
39. Околович Г.А. Штамповые стали для холодного деформирования металлов. Барнаул: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2001. – 215 с.
40. Царенко М.А., Захаров О.В. Инструментальные материалы и их рациональное применение. Саратов: СГТУ, 2004. – 73с.
41. Воробьева Г.А., Складнова Е.Е., Леонов А.Ф., Ерофеев В.К. Инструментальные материалы: Ч.2: Современные методы упрочнения инструментальных материалов. СПб.: БГТУ, 2003. – 83 с.
42. Моисеев В.Ф., Григорьев С.Н. Инструментальные материалы. Изд. 2-е. - Москва: МГТУ "СТАНКИН", 2005. – 248 с.
43. Воробьева Г.А., Складнова Е.Е., Леонов А.Ф., Ерофеев В.К. Инструментальные материалы. СПб.: Политехника, 2005. – 267с.
44. Короткова Л.П. Инструментальные материалы. Кемерово: КузГТУ, 2006. – 178 с.
45. Зубарев Ю.М. Современные инструментальные материалы. Санкт-Петербург: Лань, 2008. – 223 с.

46. Косенко А.И. Современные режущие инструментальные материалы: Великий Новгород : Новгородский государственный университет, 2010. – 35 с.
47. Воронкова М.Н., Хуртасенко А.В., Мурыгина Л.В. Инструментальные материалы и термическая обработка, - Белгород, Белгородский гос. технологический ун-т им. В. Г. Шухова. 2010.
48. Аристов Н.П. Конструкционные и инструментальные материалы, применяемые в машиностроении: (Состав, мех. свойства и назначение). М.: Станкин : Янус-К, 2002. – 144с.
49. Болобов В.И., Кувшинкин С. Ю. Материаловедение: наклеп. Термическая и химико-термическая обработки. Легированные конструкционные и инструментальные стали. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский гос. горный ун-т, 2011. – 93с.
50. Царенко М. А. Инструментальные материалы и их рациональное применение. Саратов : СГТУ, 2004. –73 с.
51. Воробьева Г.А., Складнова Е.Е. Инструментальные материалы. Инструментальные стали и сплавы. СПб.: БГТУ 2003. – 99 с.
52. Токмин А.М. Инструментальные материалы. Красноярск: КГТУ, 2001. – 147 с.
53. ГОСТ ISO 9001-2011 "Системы менеджмента качества. Требования" М.: Стандартиформ, 2012. – 36с.
54. ГОСТ Р ИСО/МЭК 15 288-2005 "Информационная технология. Системная инженерия. Процессы жизненного цикла систем" М.: Стандартиформ, 2006. – 57с.
55. ГОСТ Р ИСО/МЭК 31000 - 2010 "Менеджмент риска. Принципы и руководство" М.: Стандартиформ, 2012. – 26с.
56. Мишин В.М. Управление качеством: Учебник для студ. вузов. – М.: Юнити-Дана, 2007. – 463 с.
57. Рожков Н.Н. Квалиметрические методы и модели комплексного оценивания качества услуг в социальной сфере. СПб, 2011. 38 с.

58. Варжапетян А.Г., Семенова Е.Г. Использование методов менеджмента качества в образовательном процессе. Качество и ИПИ (CALS) - технологии. №2. СПб. 2006. – 2 с.
59. Федюкин В.К. Квалиметрия. СПб.: СПбГИЭУ 2009. – 365 с.
60. Варжапетян А.Г. Квалиметрия. СПб.: СПбГУАП 2005. – 176 с.
61. Атрошенко С.А. Усовершенствование высокохромистых штамповых сталей легированием. Вестник инжэкона. Серия: технические науки. 2005. Вып. 3 (8). 116-125с.
62. Федюкин В.К. Основы квалиметрии. Управление качеством продукции. М.: Филинь, 2004. – 296с.
63. Журнал «Методы менеджмента качества» 2002, №12, с. 26-27
64. Аронов И.З., Бурцев С.Ю., Вахитов С.Ю. Новый метод визуализации анализа качества и конкурентоспособности продукции // Надежность и контроль качества М.: 1995. - №10. с. 9-14.
65. Харченко М.А. Корреляционный анализ. – Воронеж.: Монография, 2008. – 30 с.
66. Арнольд В.И. «Жесткие» и «мягкие» математические модели. М.: МЦНМО, 2004. – 32 с.
67. Азгальгов Г.Г. Теория и практика оценки качества товаров. – М.: Экономика, 1982. – 345 с
68. Рыбинцев В.А., Горюнов А.Н. Саламатова Н.С. Теоретические аспекты оценки качества и конкурентоспособности товаров народного потребления // Точка зрения – С. 45 – 52
69. Harrington EC. The desirability function. Industrial Quality Control 1965; (April):494–498.
70. Новак Ф.С., Арсов Я.Б. Улучшение процессов технологии металлов методами планирования экспериментов – М.: Машиностроение, София, Техника, 1980, – 304с.

71. Гуляев А.П. Металловедение.– М.: Металлургия, 1977. – 647 с.
72. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение.– М.: Машиностроение, 1980. – 493 с.