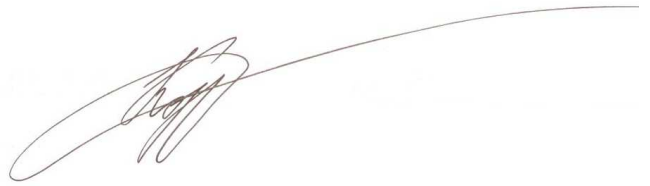


На правах рукописи



КОРОЛЁВ Илья Анатольевич

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

05.02.23 - «Стандартизация и управление качеством продукции»

Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Санкт-Петербург, 2014

Работа выполнена на кафедре экономики и управления качеством Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный экономический университет».

Научный руководитель доктор физико-математических наук,
профессор,
Атрошенко Светлана Алексеевна

Официальные оппоненты доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Системы качества»
факультета инноватики Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Санкт-Петербургский государственный политехнический университет",
Тисенко Виктор Николаевич

кандидат технических наук, старший научный сотрудник Федерального государственного унитарного предприятия «Центральный научно - исследовательский институт конструкционных материалов Прометей»,

Оленин Михаил Иванович

Ведущая организация **ОАО "Центр технологии судостроения и судоремонта"**, Промышленная ул., д. 7,
Санкт-Петербург, 198095,
тел.: (812)786-1910 факс: (812)786-0459
E-mail: inbox@sstc.spb.ru

Защита состоится 22 декабря 2014 года в 16.00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.233.04 при Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения» по адресу: 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67.

С авторефератом и текстом диссертации можно ознакомиться в библиотеке Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения» по адресу: 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67 и на сайте университета <http://guap.ru/dissov>.

Автореферат разослан « 20 » ноября 2014 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 212.233.04,
кандидат технических наук, доцент



Фролова Е.А.

I. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

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 высокохромистых инструментальных 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 исследование по управлению качеством инструментальных высокохромистых сталей (далее - ВХИС) в зависимости от различного легирования сильными карбидообразующими и редкоземельными элементами при переменном содержании углерода. Разработана методика квалиметрической оценки ВХИС для процесса холодной штамповки на

примере сталей типа Х12 с пониженным содержанием углерода и сталей типа Х8 повышенной теплостойкости, обеспечивающие многократное повышение стойкости инструмента, что позволяет значительно улучшить качество инструмента холодного деформирования.

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.

Цель работы и задачи исследования. Целью работы является повышение качества оценки ВХИС путем разработки методики квалиметрической 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 квалиметрические инструменты и улучшить некоторые из них применительно к задаче оценивания качества ВХИС для процесса холодной штамповки;
- разработать комплексную модель выбора инструментов оценки качества 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 Международной 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.

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

II. ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи, объект и

предмет исследования, научная новизна, практическая и теоретическая значимости, выдвинуты основные положения выносимые на защиту.

В первом разделе проведен анализ современных подходов к оценке и измерению качества ВХИС. Выявлено отсутствие методики оценки качества ВХИС, отсутствие стандартов как национальных, так и международных, регламентов, методических рекомендаций и апробированных методик по оценке качества ВХИС для процесса холодной штамповки. Обычно для оценки качества сталей используется определение комплекса прочностных свойств ГОСТ 5950-2000, что требует специальных образцов, специального оборудования, материальных и временных затрат в т.ч. на испытания по ГОСТ 9012-59, ГОСТ 9013-59, ГОСТ 9454-78, ГОСТ 14019-2003, ГОСТ 25.604-82. Согласно ГОСТ 5950-2000 в ВХИС регламентируется твердость и карбидная неоднородность. Для более полной оценки качества этих сталей предлагается дополнительно контролировать **прочность на изгиб, ударную вязкость и стойкость инструмента**. Рассмотрены стандарты ГОСТ ISO 9001-2011, ГОСТ Р ИСО/МЭК 31000-2010, ГОСТ Р ИСО/МЭК 15288-2005, в части касающейся общего подхода к управлению качеством, технологии оценки, достаточности и объективности оценки. На основании проведенного анализа сделан вывод о необходимости внедрения современных методов оценки качества и **разработке методики квалиметрической оценки** по их применению для оценки качества ВХИС для процесса холодной штамповки.

Во втором разделе рассмотрены и предложены современные квалиметрические инструменты оценки: циклограмма качества, функция желательности, планирование эксперимента, корреляционный анализ по диаграмме разброса, секторные диаграммы, горизонтальные гистограммы, **расширены их возможности** применительно к задаче оценивания качества ВХИС для процесса холодной штамповки. **Уточнены основные показатели качества ВХИС** для процесса холодной штамповки: стойкость инструмента, ударная вязкость, прочность на изгиб, твердость, карбидный балл. **Разработана комплексная модель** выбора квалиметрических инструментов оценки качества ВХИС (рисунок 1) и **разработана методика проведения оценки качества ВХИС для процесса холодной штамповки**. Предлагаемая комплексная модель выбора квалиметрических инструментов для оценки качества ВХИС основана:

- 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).

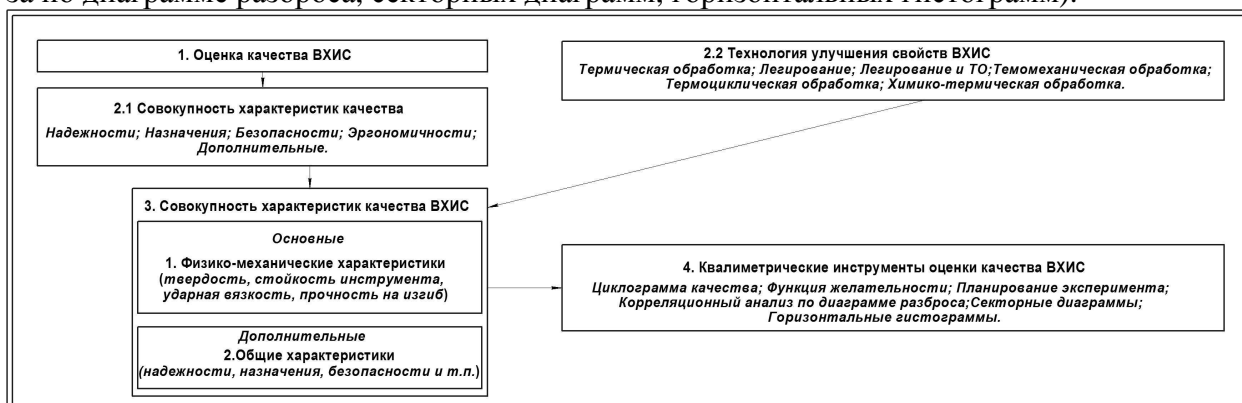


Рисунок 1 – Комплексная модель выбора квалиметрических инструментов

Разработанная методика реализована трехуровневым алгоритмом проведения оценки качества ВХИС (рисунок 2).

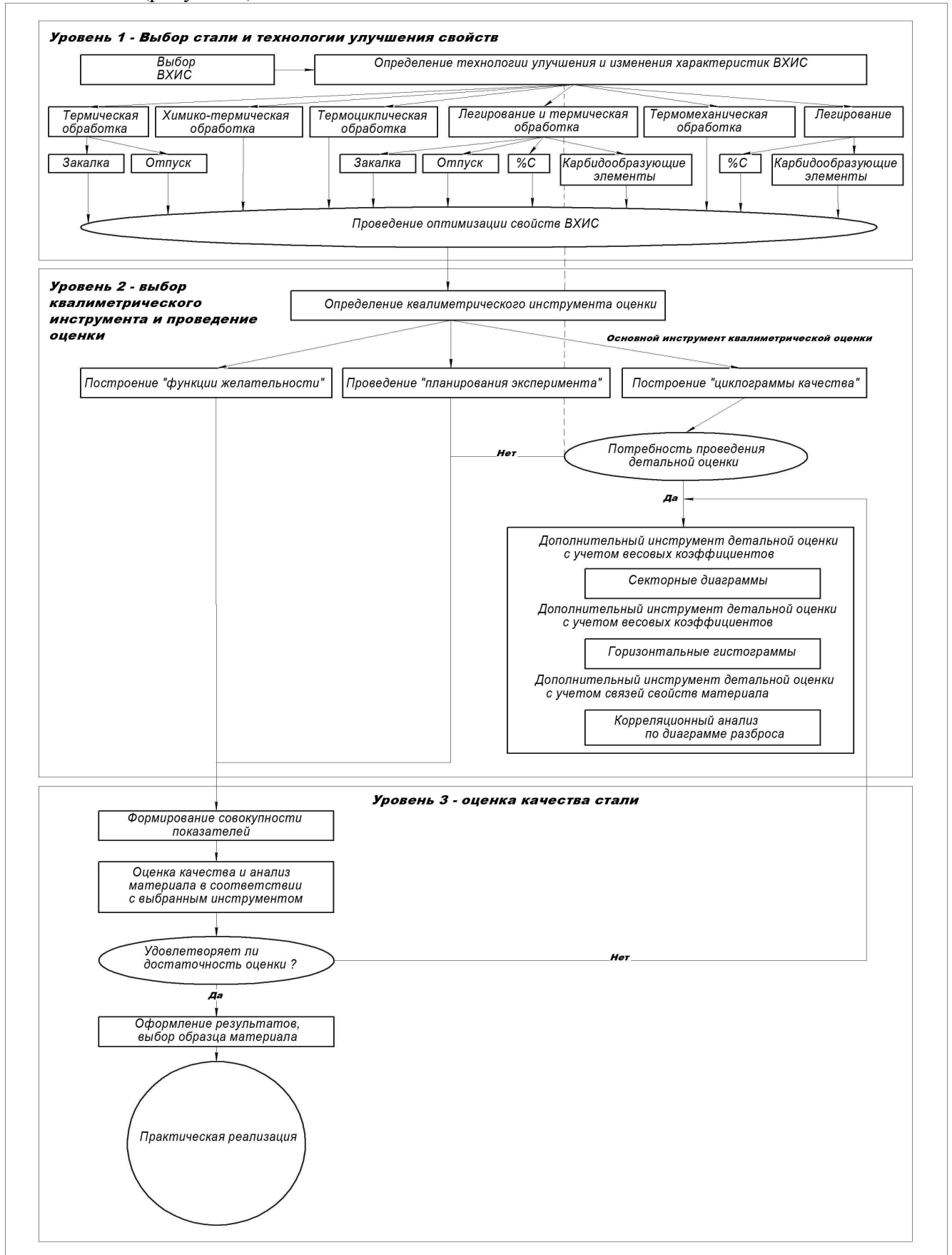


Рисунок 2 – Методика проведения оценки качества ВХИС

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.

Приведено описание результатов экспериментальных исследований четырех образцов инструментальных сталей, которые могут использоваться, и используются для изготовления штампового инструмента: X12Ф1, 60X9M2ВФЦЧ, 50X12ФБЧЦ, 70X12ФБЧЦ, 110X12ФБЧЦ. Для экспериментальных марок ВХИС приведен химический состав (таблица 1), режимы термической обработки (таблица 2), рассчитана работа зарождения и развития трещин т. к. основной дефект этих сталей - карбидная неоднородность, а также приведено оборудование для исследования их физико-механических свойств.

Таблица 1 – Химический состав ВХИС

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	0,018	0,010	11,8	–	–	0,72	0,13	0,07	0,002	0,06	0,11
70X12ФБЧЦ	0,71	0,28	0,39	0,016	0,006	11,83	–	–	0,72	0,09	0,07	–	–	0,11
110X12ФБЧЦ	1,14	0,26	0,38	0,016	0,006	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 – Режимы термической обработки и характеристики ВХИС

Материал	T _{зак.} , °C (900-1300°C)	%C	T _{отп.} , °C (100-650°C)	Стой- кость T, мин	Твер- дость HRC	Прочность на изгиб G _и , МПа	Ударная вяз- кость КСУ·10 ⁻¹ Дж/см ²	Карбидный балл
X12Ф1	970	1,3	170 ⁰ C	83	61	3250	0,7	4
50X12ФБЧЦ	1180	0,52	520	184				
70X12ФБЧЦ	1210	0,71	500	206	63	4500	1,375	1
110X12ФБЧЦ	1230	1,14	600	254	63	4100	1,187	2
70X9Ф	1180	0,67	500	90				
60X9М2ВФЦЧ	1220	0,59	550	368	59	4030	1,286	1
105X8М2ВФЦЧ	1250	1,05	550	46,8				
P6M5	1220	0,85	560	265				

Исследования влияния легирования и термической обработки на физико-механические свойства (стойкость инструмента, ударная вязкость, прочность на изгиб, твердость) сталей проводились экспериментальным способом и путем сравнительных испытаний на этапе практической реализации, на основе которых были получены результаты эквивалентны данным квалиметрической оценки. Дана экономическая оценка ВХИС для процесса холодной штамповки (таблица 3).

Таблица 3 – Экономическая целесообразность выбора ВХИС в зависимости от свойств

Марка стали	Твердость	Стойкость инст- румента	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
60X9М2ВФЦЧ	0,82	3,83	1,05	1,56	3,4
X12Ф1	1	1	1	1	1

Для увеличения объективности и полноты оценки новых ВХИС **модифицирована формула расчета комплексного показателя желательности Харрингтона** путем введения коэффициентов экономической целесообразности свойств исследуемого материала. В результате формула расчета комплексного показателя желательности имеет следующий вид:

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

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

Модификация функции желательности отражает один из важнейших аспектов развития квалиметрии, а именно совершенствование технологии оценивания качества. Это позволило дать комплексную оценку ВХИС с учетом экономической целесообразности изменяемых свойств материала.

В третьем разделе осуществлено практическое применение разработанной методики квалиметрической оценки ВХИС для процесса холодной штамповки.

Для каждого образца экспериментальной стали проведен анализ с помощью основных квалиметрических инструментов.

1. Циклограмма качества: на рисунке 3 показано, что площадь многоугольника, занимаемая характеристиками стали X12Ф1 ($U_k=1$), значительно меньше площади многоугольников, занимаемых сталями 70X12ФБЧЦ ($U_k=1,72$), 110X12ФБЧЦ ($U_k=1,76$) и 60X9М2ВФЦЧ ($U_k=2,12$). В частности, по механической характеристике – средняя стойкость резцов, наибольшим показателем обладает сталь 60X9М2ВФЦЧ, 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 X12Ф1. В результате оценка,

проведенная данным способом, наглядно демонстрирует превосходство качества сталей 60X9M2BФЦЧ, 110X12ФБЧЦ и 70X12ФБЧЦ, улучшенных легированием и термической обработкой, над сталью X12Ф1.

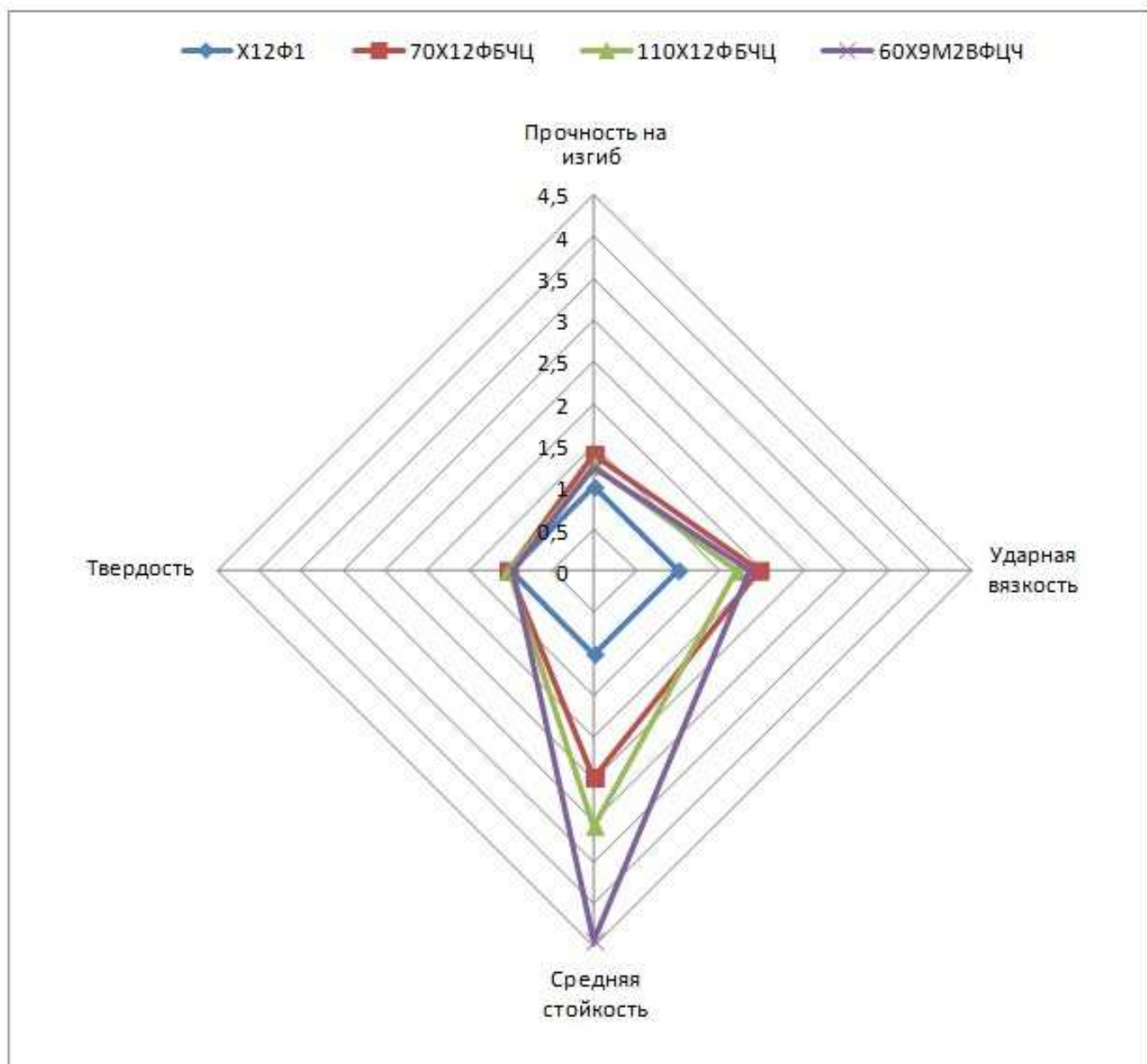


Рисунок 3 – Циклограмма качества ВХИС

2. Секторные диаграммы: на рисунке 4 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 составляет 2,41; для стали 110X12ФБЧЦ составляет 1,95 и для стали 60X9M2BФЦЧ составляет 2,89, что значительно превышает единицу (базового образца стали X12Ф1). По характеристике "карбидный балл" все три опытных образца сталей демонстрируют превосходство над сталью X12Ф1, сталь 70X12ФБЧЦ и сталь 60X9M2BФЦЧ 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 60X9M2BФЦЧ, 110X12ФБЧЦ и 70X12ФБЧЦ, улучшенных легированием и термической обработкой, над сталью X12Ф1.

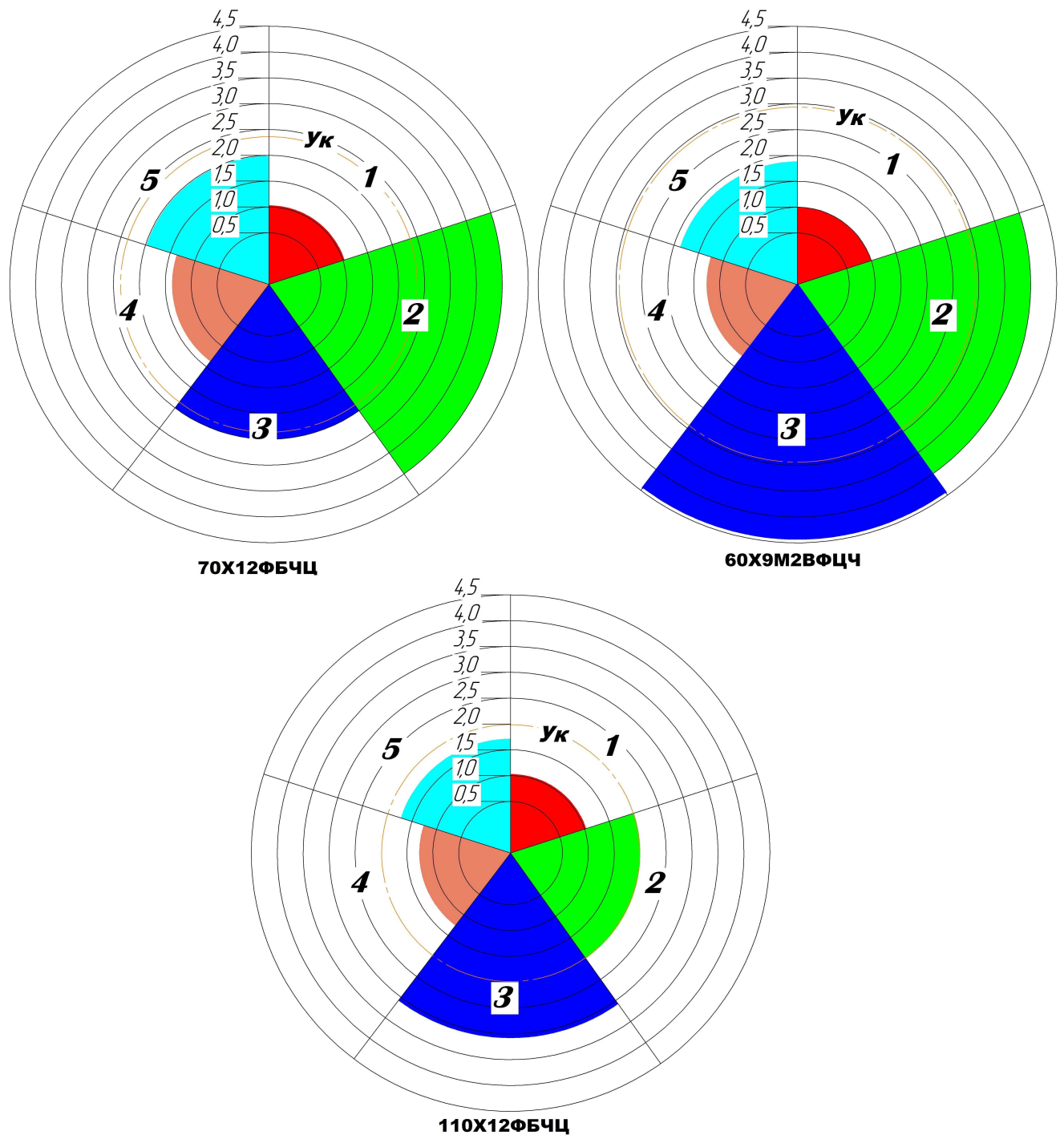


Рисунок 4 – Секторные диаграммы ВХИС

3. Горизонтальные гистограммы: на рисунке 5 показано, что площадь гистограммы, занимаемая характеристиками стали X12Ф1 значительно меньше площади гистограмм, занимаемых сталями 70X12ФБЧЦ, 110X12ФБЧЦ и 60X9М2ВФЦЧ, по характеристике "карбидный балл", все три опытных образца сталей демонстрируют превосходство над сталью X12Ф1, но сталь 70X12ФБЧЦ 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 результаты демонстрирует сталь 70X12ФБЧЦ, по характеристике "твердость", лучшие показатели демонстрируют стали 70X12ФБЧЦ и 110X12ФБЧЦ и лишь сталь 60X9М2ВФЦЧ немного уступает по этой характеристике образцу стали X12Ф1.

Оценка, проведенная инструментом горизонтальных гистограмм, демонстрирует превосходство качества сталей 60X9M2BФЦЧ, 110X12ФБЧЦ и 70X12ФБЧЦ, улучшенных легированием и термической обработкой, над сталью X12Ф1 и согласуется с представленными выше методами квалиметрической оценки.

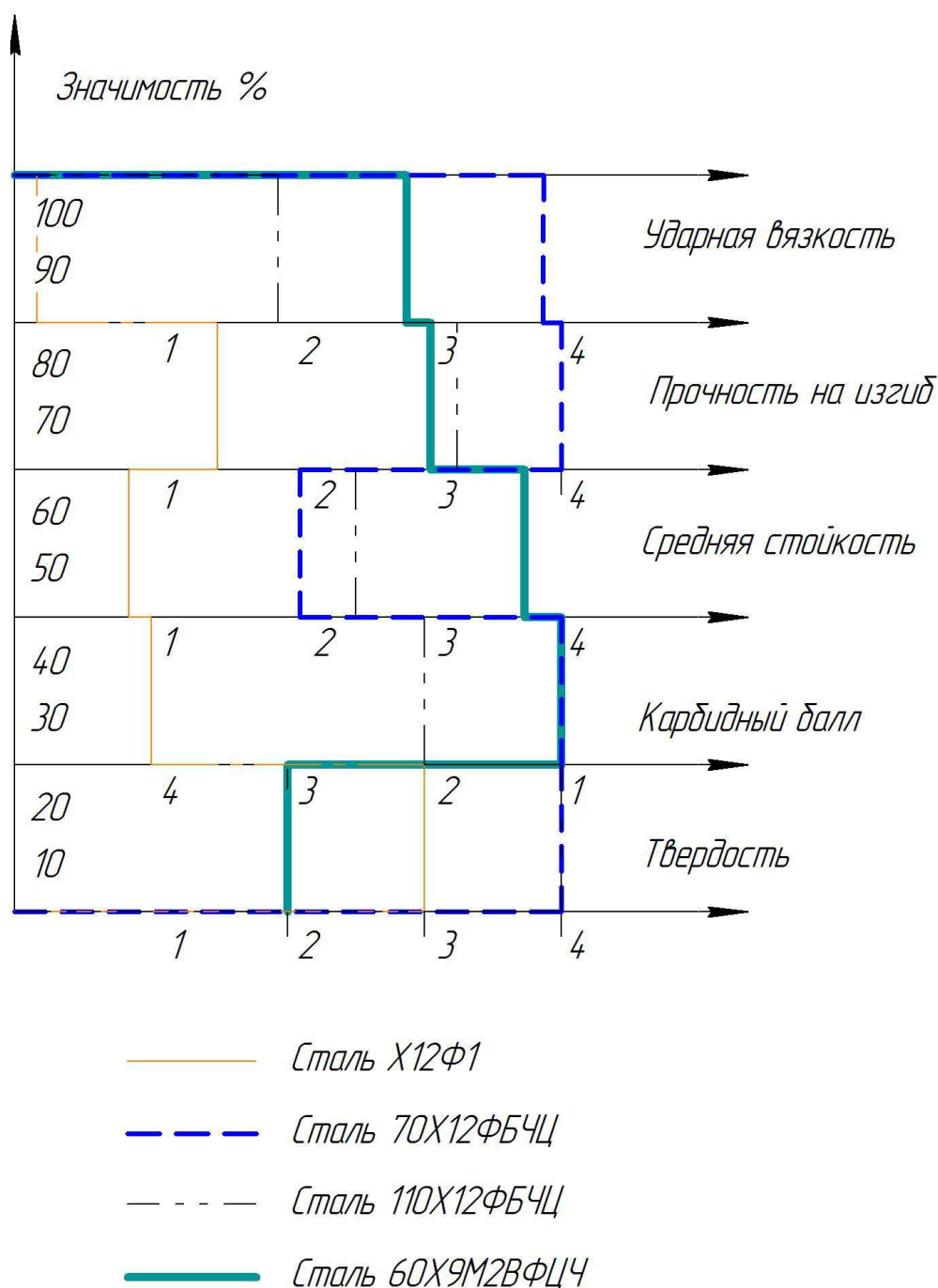


Рисунок 5 – Горизонтальная гистограмма ВХИС

4. Корреляционный анализ по диаграмме разброса: на рисунке 6 показано, что между показателями существует линейная отрицательная корреляционная 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.

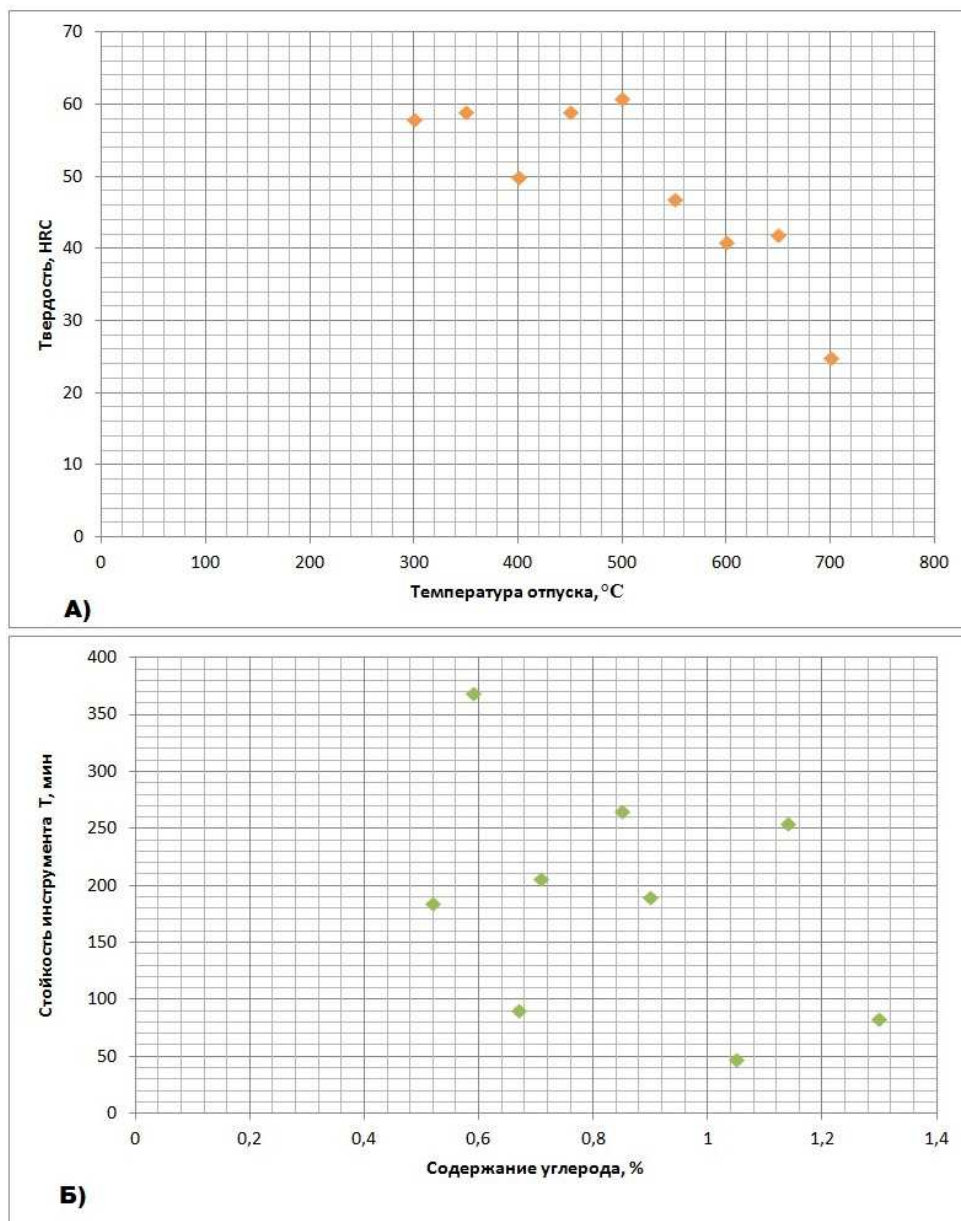


Рисунок 6 – Диаграммы разброса ВХИС

А) пара данных «твердость – температура отпуска» для стали 70X12ФБЧЦ

Б) пара данных «стойкость резцов – содержание углерода» для исследованных ВХИС

5. Функция желательности: из рисунка 7 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.

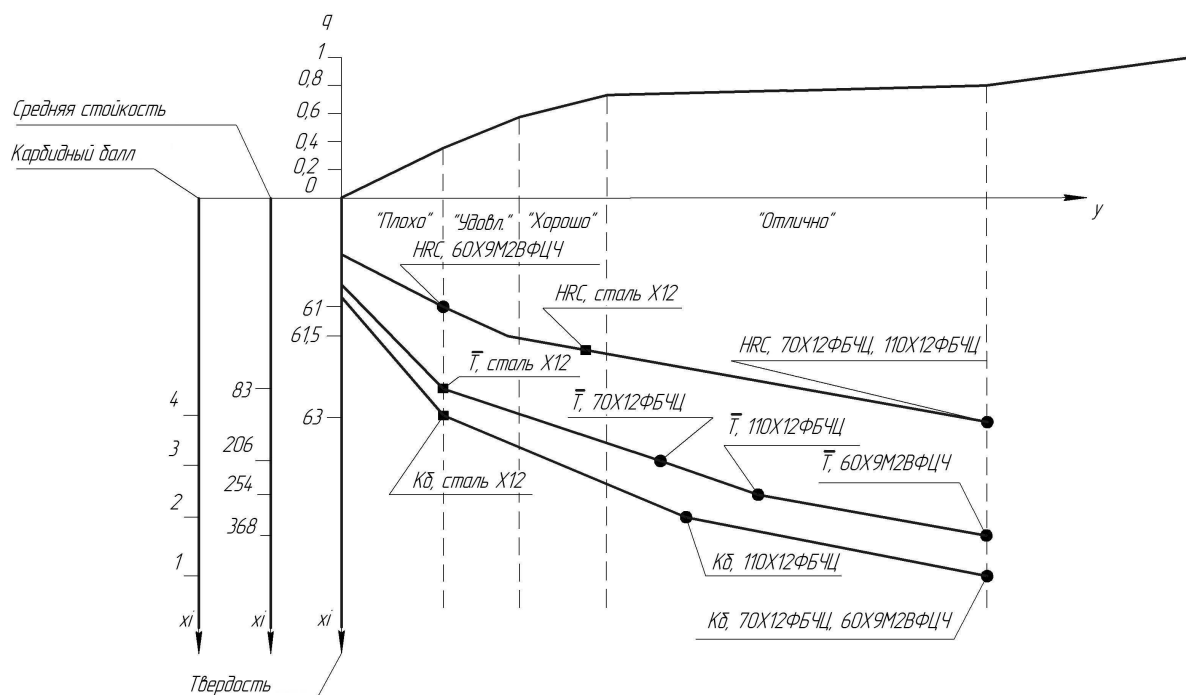


Рисунок 7 – Номограмма желательности ВХИС

6. Планирование эксперимента: при планировании был реализован полный трехфакторный эксперимент, параметром оптимизации являлось значение стойкости инструмента, факторами оптимизации (варьирования) были выбраны температура закалки и отпуска, и количество углерода (таблица 4). В таблице 5 приведены значения факторов оптимизации для проведенных экспериментов, а таблица 6 представляет матрицу планирования экспериментов, рассчитаны коэффициенты регрессии (формула 2) и оценка функции отклика y , составлено уравнение регрессии.

$$b_i = \frac{\sum_{u=1}^N x_{iu} y_u}{N}, \quad (2)$$

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

Таблица 4 – Условия проведения опытов

Номер опыта	Материал	$T_{\text{зак}}, ^\circ\text{C}$	%C	$T_{\text{отп}}, ^\circ\text{C}$	$T, \text{мин}$
1	X12Ф1	970	1,3	170^0C	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	60X9M2BFC4	1220	0,59	550	368
7	105X8M2BFC4	1250	1,05	550	46,8
8	P6M5	1220	0,85	560	265

Таблица 5 – 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 6 – Матрица планирования экспериментов

Номер опыта	Факторы				Стойкость инструмента, Т 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

Уравнение регрессии имеет вид:

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

Установлено, что достижение максимальных значений стойкости инструмента стали 60X9M2ВФЦЧ(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.

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.

Установлено, что наилучшим сочетанием характеристик обладают стали 60X9M2ВФЦЧ и 70X12ФБЧЦ. Показано что при использовании новых ВХИС для процесса холодной штамповки, подтверждается их эффективность. Результаты натурных испытаний ВХИС эквивалентны значениям квалиметрической оценки по созданной методике. Результаты от применения квалиметрической оценки ВХИС для процесса холодной штамповки позволяют говорить о ее эффективности.

III. ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

В диссертационной работе достигнута цель, имеющая важнейшее экономическое и хозяйственное значение – повышение качества оценки ВХИС для процесса холодной штамповки путем разработки методики квалиметрической оценки. Предложенная методика повышает экономическую эффективность процессов производства связанных с операциями холодной штамповки за счет исключения необходимости определения комплекса прочностных свойств, исключения необходимости получения специальных образцов, исключения специального оборудования, снижая материальные и временные затраты на оценку качества ВХИС в том числе на испытания. 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 квалиметрических 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.

IV. СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

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 ЖИВКОМ-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.: ИПМАШ РАН, 2013.

Подписано в печать 00.00.2014. Формат 60x84 1/16.

Печ. л. 1. Тираж 100 экз. Заказ ____.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения
190000, г. Санкт-Петербург, Большая Морская ул., 67