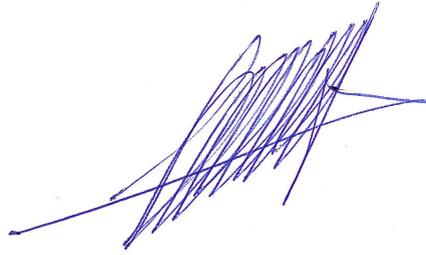


На правах рукописи



**ВАХИТОВ АЛЕКСАНДР РАФАЕЛЬЕВИЧ**

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЗАДАННОГО УРОВНЯ КАЧЕСТВА РУЛЕВЫХ  
НАКОНЕЧНИКОВ АВТОМОБИЛЯ ПУТЕМ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ  
ПРОЦЕССА ПРОЕКТИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ  
СТАНДАРТИЗАЦИИ**

Специальность 05.02.23 – Стандартизация и управление качеством продукции

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Магнитогорск – 2021

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор  
Гун Игорь Геннадьевич

Официальные оппоненты: Айдаров Дмитрий Васильевич,  
доктор технических наук, профессор, ФГБОУ  
ВО «Самарский государственный технический  
университет» (г. Самара), профессор кафедры  
«Техносферная безопасность и сертификация  
производств»

Вдовин Денис Сергеевич,  
кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО  
«Московский государственный технический  
университет им. Н.Э. Баумана» (национальный  
исследовательский университет) (г. Москва),  
доцент кафедры СМ-10 «Колесные машины»

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Тульский государственный  
университет» (г. Тула)

Защита состоится « 9 » декабря 2021г. в 15:00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.111.05 на базе ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» по адресу: 455000, г. Магнитогорск, ул. Ленина, 38, малый актовый зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» и на сайте: <http://www.magtu.ru/> .

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



Полякова Марина Андреевна

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** В настоящее время автомобильная отрасль РФ испытывает постоянный недостаток автокомпонентов, отвечающих требованиям ведущих мировых автопроизводителей, вызванный ростом локализации производств зарубежных компаний и особенностями сложившейся экономической ситуации в стране. Одновременно с этим высокая конкуренция на рынке автомобилей подталкивает автопроизводителей чаще обновлять модельный ряд. Этим обусловлен тренд к сокращению сроков проектирования продукции и запуска серийного производства. В этой связи перед отечественными организациями-поставщиками автокомпонентов стоит ряд задач, связанных не только с повышением качества выпускаемой продукции, но и с сокращением сроков и стоимости проектирования.

Для повышения конкурентоспособности продукции предприятиями автомобильной отрасли РФ решается задача организации системы менеджмента качества (СМК) в соответствии с требованиями отраслевого стандарта IATF 16949:2016. В данном стандарте приведены требования для предприятий, занимающихся производством продукции автомобильной промышленности. Выполнение организацией-поставщиком автокомпонентов требований данного стандарта является обязательным для выживания в условиях глобальной конкуренции.

Важнейшими требованиями стандарта IATF 16949:2016 к СМК организации являются требования к процессу проектирования продукции, как к важнейшему этапу ее жизненного цикла, являющемуся наиболее наукоемким, постоянно испытывающему потребность в знаниях, их накоплении, систематизации и непрерывном пополнении.

Одним из решений вопроса повышения качества продукции, а также выполнения требований стандарта IATF 16949:2016, является стандартизация процесса проектирования. Однако анализ открытых источников не выявил готовых решений по реализации этой задачи. Более того, в настоящее время стандартизация процесса проектирования становится обязательным требованием автопроизводителей и играет решающую роль при номинации организации-поставщика автокомпонентов.

В силу изложенного особый интерес и практическую значимость приобретают вопросы, связанные со стандартизацией ключевых этапов процесса проектирования продукции с целью повышения его эффективности за счет систематизации конструкторских компетенций, снижения вероятности возникновения конструкторских ошибок, сокращения сроков и стоимости проектирования продукции. В данной работе стандартизация процесса проектирования выполнена на примере рулевых наконечников автомобиля.

**Целью работы** является совершенствование процесса проектирования рулевых наконечников автомобиля для достижения требуемого потребителем уровня качества посредством создания методики проектирования, базирующейся на методах стандартизации.

Для достижения сформулированной цели в работе были поставлены и решены следующие задачи:

1. Анализ требований стандартов ISO 9000 и IATF 16949 к процессу проектирования продукции и управлению знаниями организации и обзор методов стандартизации.
2. Анализ и классификация требований к рулевым наконечникам автомобиля, предъявляемых отечественными и зарубежными автопроизводителями.
3. Систематизация процесса проектирования наружных (Outer Tie Rod – OTR) и внутренних (Inner Tie Rod – ITR) рулевых наконечников автомобиля в виде алгоритма, селекция его компонентов, разработка стандарта предприятия на процесс проектирования

рулевых наконечников, создание и кодирование многоуровневой структуры документированной информации по проектированию рулевых наконечников.

4. Разработка численной модели статических испытаний шарового пальца на изгиб для достижения требований безопасности.

5. Разработка численной модели процесса опрессовки внутреннего рулевого наконечника для достижения основных функциональных требований и определения максимального усилия опрессовки.

**Научная новизна** заключается в том, что:

1. Разработан комплекс технических требований к рулевым наконечникам автомобиля на основе предложенной классификации и ранжирования требований, предъявляемых потребителями.

2. Впервые разработана методика проектирования рулевых наконечников автомобиля, отвечающая всем требованиям международных стандартов (ISO 9001, IATF 16949), на основе предложенной многоуровневой структуры документированной информации, выполненной в виде комплекса методических инструкций по качеству.

3. Создана численная модель статических испытаний шарового пальца на изгиб, где трение между контактирующими поверхностями реализовано в виде нелинейной зависимости силы трения от расстояния скольжения.

4. Создана численная модель опрессовки внутреннего рулевого наконечника, позволяющая определять энергосиловые параметры процесса.

**Практическая значимость** заключается в том, что:

1. На основе разработанного алгоритма создан стандарт предприятия АО НПО «БелМаг» СТП-ОГК 8.3-02.1 «Управление проектированием продукции: рулевые наконечники автомобиля», применение которого позволяет сократить сроки проектирования на 12-16 недель.

2. Разработан комплекс методических инструкций по качеству для проектирования рулевых наконечников автомобиля, состоящий из трех уровней и включающий 37 инструкций, позволяющий повысить эффективность процесса проектирования за счет снижения вероятности конструкторских ошибок посредством применения стандартизированных конструкторских решений.

3. Получена зависимость усилия опрессовки внутреннего рулевого наконечника от перемещения пуансона и формы матрицы, из которой определено максимальное усилие при производстве внутренних рулевых наконечников для автомобиля Gazelle Next, что позволило определить усилие пресса и сформулировать техническое задание (ТЗ) на изготовление сборочной технологической линии.

4. С использованием разработанного комплекса методических инструкций по качеству спроектированы и внедрены в серийное производство новые конструкции наружных и внутренних рулевых наконечников для автомобилей Gazelle Next и LADA XRAY Cross.

5. С использованием разработанной методики созданы комплексы методических инструкций по качеству для групп изделий «Шаровая опора передней подвески» и «Стойка стабилизатора поперечной устойчивости».

**Методы исследования.** Теоретические исследования основаны на применении методов стандартизации, а именно классификации, систематизации, селекции, кодирования, существующих приемов и правил разработки нормативных документов, использовании статистической обработки экспериментальных данных и результатов опытно-промышленных исследований.

**На защиту автором выносятся:**

1. Классификация современных требований к рулевым наконечникам автомобиля, предъявляемых отечественными и зарубежными автопроизводителями.

2. Алгоритм процесса проектирования наружных и внутренних рулевых наконечников автомобиля.

3. Методика проектирования рулевых наконечников автомобиля на основе многоуровневой структурированной информации, выполненной в виде комплекса методических инструкций по качеству.

4. Численная модель статических испытаний шарового пальца на изгиб для определения силы в момент начала пластических деформаций и для оценки напряженно-деформированного состояния шарового пальца при минимально допустимом перемещении центра сферы пальца до разрушения.

5. Численная модель процесса опрессовки внутреннего рулевого наконечника для оценки качества шарнирного соединения и определения максимального усилия опрессовки.

**Достоверность научных положений, выводов и практических рекомендаций** подтверждена соответствием результатов реализации методики и численных моделей данным о качестве продукции и результатам экспериментов. В ходе выполнения диссертационных исследований основные положения обсуждались на производственных совещаниях с представителями потребителей – поставщиков первого уровня.

**Внедрение результатов диссертационных исследований.** Результаты работы внедрены в организации-поставщике автокомпонентов АО НПО «БелМаг» (Магнитогорск), в организации-поставщике первого уровня ООО «Рулевые системы» (г. Тольятти), в учебном процессе ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

**Область исследования** соответствует паспорту специальности 05.02.23 – Стандартизация и управление качеством продукции, а именно п. 2 «Стандартизация, метрологическое обеспечение, управление качеством и сертификация», п. 3 «Методы стандартизации и менеджмента (контроль, управление, обеспечение, повышение, планирование) качества объектов и услуг на различных стадиях жизненного цикла продукции», п. 7 «Технико-экономические основы стандартизации и разработка системы стандартов».

**Объект исследования:** процесс проектирования наружных и внутренних рулевых наконечников автомобиля

**Предмет исследования:** наружные и внутренние рулевые наконечники автомобиля

**Апробация работы.** Основные результаты работы были доложены и обсуждены на ряде научно-технических конференций: Международная научно-техническая конференция «Актуальные проблемы современной науки, техники и образования», Магнитогорск, 2016, 2018, 2020 гг., Международная молодежная научно-техническая конференция Magnitogorsk rolling practice, Магнитогорск, 2018, 2020 гг., Международный научный форум «Наука и инновации – Современные концепции», Москва, 2021г., I Международная научно-практическая конференция «Общественные, естественные науки и технологии: эксперименты и концептуализация», Нижний Новгород, 2021г.

#### **Публикации.**

Основное содержание работы отражено в 7 печатных работах, в том числе 4 статьях, опубликованных в ведущих рецензируемых научных журналах, определенных Высшей аттестационной комиссией, в 3 патентах РФ на полезную модель.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа изложена на 161 листе машинописного текста, состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы, включающего 114 источников, содержит 57 рисунков, 12 таблиц, 4 приложений на 18 страницах.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность рассматриваемой проблемы, сформулированы цель и задачи исследования.

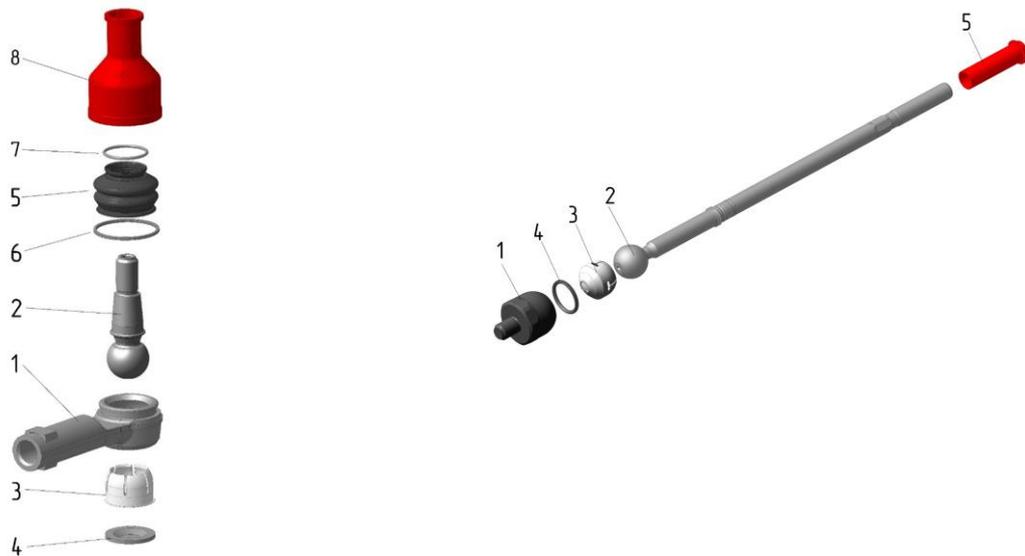
В первой главе проведен:

- анализ требований к процессу проектирования продукции согласно серии стандартов ISO 9000 и стандарту IATF 16949:2016 и определено место процесса проектирования в процедуре перспективного планирования качества продукции (APQP). По результатам проведенного анализа установлено отсутствие реализации этих требований и обусловлена необходимость проведения стандартизации процесса проектирования в организации-поставщике автокомпонентов с целью выполнения упомянутых требований;

- обзор основных методов стандартизации. По результатам проведенного анализа выявлено отсутствие готовых подходов или методик к стандартизации процесса проектирования продукции, в частности наконечников рулевого управления автомобиля;

- анализ конструктивных особенностей наружных и внутренних рулевых наконечников автомобиля.

Общий вид рулевых наконечников автомобиля представлен на рисунке 1.



*1 – корпус; 2 – палец шаровой; 3 – вкладыши; 4 – обойма; 5 – чехол защитный; 6 – кольцо пружинное; 7 – кольцо уплотнительное; 8 – колпак защитный*

*1 – корпус; 2 – палец шаровой; 3 – вкладыши; 4 – кольцо опорное; 5 – колпак защитный*

Рисунок 1 – Общий вид наружного и внутреннего рулевых наконечников

В этой связи актуальной становится задача создания:

1) Стандарта предприятия по управлению проектированием рулевых наконечников автомобиля;

2) Методики проектирования рулевых наконечников автомобиля, которая должна:

- быть представлена в виде документированной информации, обеспечивающей возможность оперативной актуализации и создающей кумулятивный эффект накопления необходимых знаний для проектирования автокомпонентов рулевого управления;

- обеспечивать систематизацию конструкторских компетенций для снижения зависимости результативности и эффективности проектирования от опыта и

квалификации конкретных сотрудников за счёт документальной фиксации, хранения и управления связями конструктивных параметров с результатами испытаний и состоянием изделий в эксплуатации;

- способствовать снижению вероятности возникновения конструкторских ошибок и сокращению сроков проектирования при создании новых изделий за счёт использования стандартизированных конструкторских решений;
- отражать связи закладываемых параметров (размеров и допусков, посадок, материалов, покрытий и т.п.) с результатами испытаний и техническим состоянием изделия в эксплуатации;
- способствовать повышению качества продукции в соответствии с развитием науки и техники, с ожидаемыми потребностями потребителя;
- обеспечивать совместимость и взаимозаменяемость продукции;
- обеспечивать возможность оперативного создания конструкторской документации на базе типовых сборочных чертежей и чертежей комплектующих изделий.

**Вторая глава** посвящена анализу и классификации современных требований, предъявляемых отечественными и зарубежными автопроизводителями к рулевым наконечникам автомобиля; систематизации процесса проектирования рулевых наконечников автомобиля в виде алгоритма процесса проектирования и селекции его компонентов, а также разработке стандарта предприятия на процесс проектирования рулевых наконечников автомобиля; созданию методики проектирования рулевых наконечников автомобиля, выполненной в виде комплекса методических инструкций по качеству на основе многоуровневой структуры документированной информации.

Предлагаемая методика содержит следующие этапы:

**Этап 1. Классификация современных требований к рулевым наконечникам автомобиля, предъявляемых отечественными и зарубежными автопроизводителями**

Классификация требований проведена на основе анализа отечественного государственного стандарта на шаровые шарниры шасси и рулевого управления автомобиля ГОСТ Р 52433-2005 «Автомобильные транспортные средства. Шарниры шаровые. Технические требования и методы испытаний», действующего на территории Российской Федерации Технического регламента Таможенного союза ТР ТС 018/2011 «О безопасности колесных транспортных средств», а также технических спецификаций ведущих мировых OEM-заказчиков. Все требования классифицированы по назначению на четыре группы:

1. Требования к безопасности – комплекс технических требований и методов испытаний, связанных с прочностью изделия в сборе или его отдельных комплектующих;
2. Функциональные требования – комплекс технических требований и методов испытаний, связанных с функциональными свойствами изделия в сборе;
3. Требования эксплуатационной надежности – комплекс технических требований и методов испытаний, связанных с ресурсом изделия в сборе;
4. Прочие – комплекс технических требований, описывающих порядок хранения испытанных изделий, объём периодических испытаний серийной продукции, маркировку и др.

Выполнен анализ технических требований двух ведущих автопроизводителей, а также ГОСТ Р 52433-2005 и Технического регламента Таможенного союза ТР ТС 018/2011. На основании сравнения требований и их ранжирования составлен наиболее полный комплекс технических требований для проектирования наружных и внутренних наконечников автомобиля, способных удовлетворять текущим и ожидаемым

потребностям конечного потребителя с точки зрения качества. Комплекс технических требований, приведенный в таблице 1, составлен из предпочтительных требований с наивысшим рангом.

Таблица 1 – Комплекс технических требований для проектирования наружных и внутренних рулевых наконечников

Классификационная группа требований	Требование	Изделие	Принадлежность
<b>Требования безопасности</b>	Нормирование размера зерна аустенита металлических компонентов	ITR, OTR	OEM №1
	Нормирование чистоты (неметаллических включений) металлических компонентов	ITR, OTR	OEM №1
	Отсутствие внутренних дефектов	ITR, OTR	OEM №1
	Устойчивость тяги в сборе при сжатии	ITR+OTR	OEM №1
	Прочность тяги при растяжении	ITR+OTR	OEM №1
	Ударная прочность тяги в сборе	ITR+OTR	OEM №2
	Вязкость материала стержня рулевой тяги	ITR+OTR	ГОСТ Р 52433
	Усилие вырыва пальца из корпуса	ITR, OTR	OEM №1
	Усилие выдавливания пальца из корпуса	ITR, OTR	OEM №1
	Работоспособность тяги в сборе при моделировании «отталкивания от бордюра»	ITR+OTR	OEM №1
	Изгибная прочность пальца шарового	OTR	OEM №2
	Ударная прочность шарового пальца	OTR	OEM №2
	Работоспособность тяги в сборе при моделировании рабочей нагрузки в составе автомобиля	ITR+OTR	OEM №1
	Работоспособность тяги в сборе при моделировании рабочей нагрузки на тестовой установке	ITR+OTR	OEM №1
	Усталостная долговечность шарового пальца наружного наконечника	OTR	OEM №1
	Усталостная долговечность наружного наконечника в сборе	OTR	OEM №2
	Усталостная долговечность тяги в сборе	ITR+OTR	OEM №2
	Нормирование твердости корпуса и пальца внутреннего наконечника в осевом сечении	ITR	OEM №1
	Прочность резьбы внутреннего наконечника	ITR	OEM №1
	Работоспособность тяги в сборе при моделировании торможения на дороге типа «стиральная доска»	ITR+OTR	OEM №1
Требование к осевому перемещению шарового пальца OTR при затяжке в ответной детали	OTR	OEM №2	
Требование к осевому перемещению пальца с нанесенной на конус смазкой	OTR	OEM №2	
<b>Функциональные требования</b>	Требование к максимальному углу качания пальца	ITR, OTR	определен везде
	Работоспособность при действии рабочих температур / Парковка	ITR+OTR	OEM №1
	Грузоподъемность вкладыша	OTR	OEM №2
	Подвижность шарнирного соединения	ITR, OTR	OEM №1, №2
	Момент вращения пальца шарового при различных температурах	ITR, OTR	OEM №2
	Требование к скольжению поверхности сферы в шарнире	ITR, OTR	OEM №2
	Поведение уплотнительной системы при вращении	OTR	OEM №1
	Герметичность уплотнительной системы под давлением воздуха	OTR	OEM №2
	Требование к удержанию чехла под действием внешней силы	OTR	OEM №2
	Герметичность закатного соединения	OTR	OEM №1

<b>Требования к эксплуатационной надежности</b>	Требование к износостойкости шарнира	ITR, OTR	OEM №1
	Требование к вибрационной нагрузке внутреннего наконечника	ITR	OEM №2
	Герметичность шарнира при моделировании окружающей среды	OTR	OEM №2
	Герметичность шарнира при термическом ударе	OTR	OEM №2
	Податливость чехла при отрицательных температурах	OTR	OEM №2
	Требование к функционированию уплотнительной системы	OTR	OEM №1
	Герметичность шарнира при воздействии струи воды высокого давления	OTR	OEM №1
	Коррозионная стойкость	ITR, OTR	OEM №2
<b>Прочие требования</b>	Требование к идентификационной маркировке	ITR, OTR	при наличии
	Требование к упаковке	ITR, OTR	OEM №2
	Требование к отсутствию заусенцев	ITR, OTR	OEM №2
	Требования к материалу защитного чехла	OTR	OEM №1
	Требование к усилию снятия защитного колпака	OTR	OEM №2
	Моменты затяжки резьбовых соединений	ITR, OTR	OEM №1

## **Этап 2. Систематизация процесса проектирования наружных и внутренних рулевых наконечников**

Поскольку процесс проектирования продукции является системой, т.е. совокупностью элементов, находящихся в определенных отношениях друг с другом и со средой и обладает всеми ее свойствами, в данной работе процесс проектирования наружных и внутренних рулевых наконечников автомобиля систематизирован в виде алгоритма, с учетом специфики проектирования автокомпонентов подвески и рулевого управления автомобиля. Процесс проектирования рулевых наконечников автомобиля с целью удобства представления автомобиля и с учетом фаз процедуры APQP можно представить в виде трех последовательных стадий:

Стадия 1: Разработка концепции изделия и создание прототипов. Стадия 1 начинается с запроса на предложение цены/информации и оканчивается согласованием габаритного (сборочного) чертежа с потребителем на прототипы;

Стадия 2: Валидация конструкции (Design Validation). Стадия 2 начинается с получения прототипов комплектующих наконечников от субпоставщиков и оканчивается «заморозкой» конструкции после проведения испытаний и согласованием габаритного (сборочного) чертежа с потребителем на установочную серию изделий;

Стадия 3: Верификация процесса (Process Verification). Стадия 3 начинается с получения предсерийных комплектующих наконечников от субпоставщиков и оканчивается согласованием габаритного (сборочного) чертежа с потребителем на серийные изделия.

Алгоритмы процесса проектирования на Стадиях 1-3 представлены на рисунках 2-4 соответственно.

Каждый компонент алгоритма процесса проектирования является подсистемой и имеет вход и выход. Для достижения цели стандартизации процесса проектирования необходимо выделить те компоненты, которые можно определить отдельно и внутри которых можно снизить неопределенность достигаемого результата. Таким образом, каждый компонент алгоритма является объектом стандартизации, и для выделения наиболее важных с точки зрения конструктора объектов, необходимо проведение селекции.



Рисунок 2 – Алгоритм процесса проектирования на Стадии 1: Разработка концепции изделия и создание прототипов наружных и внутренних рулевых наконечников автомобиля

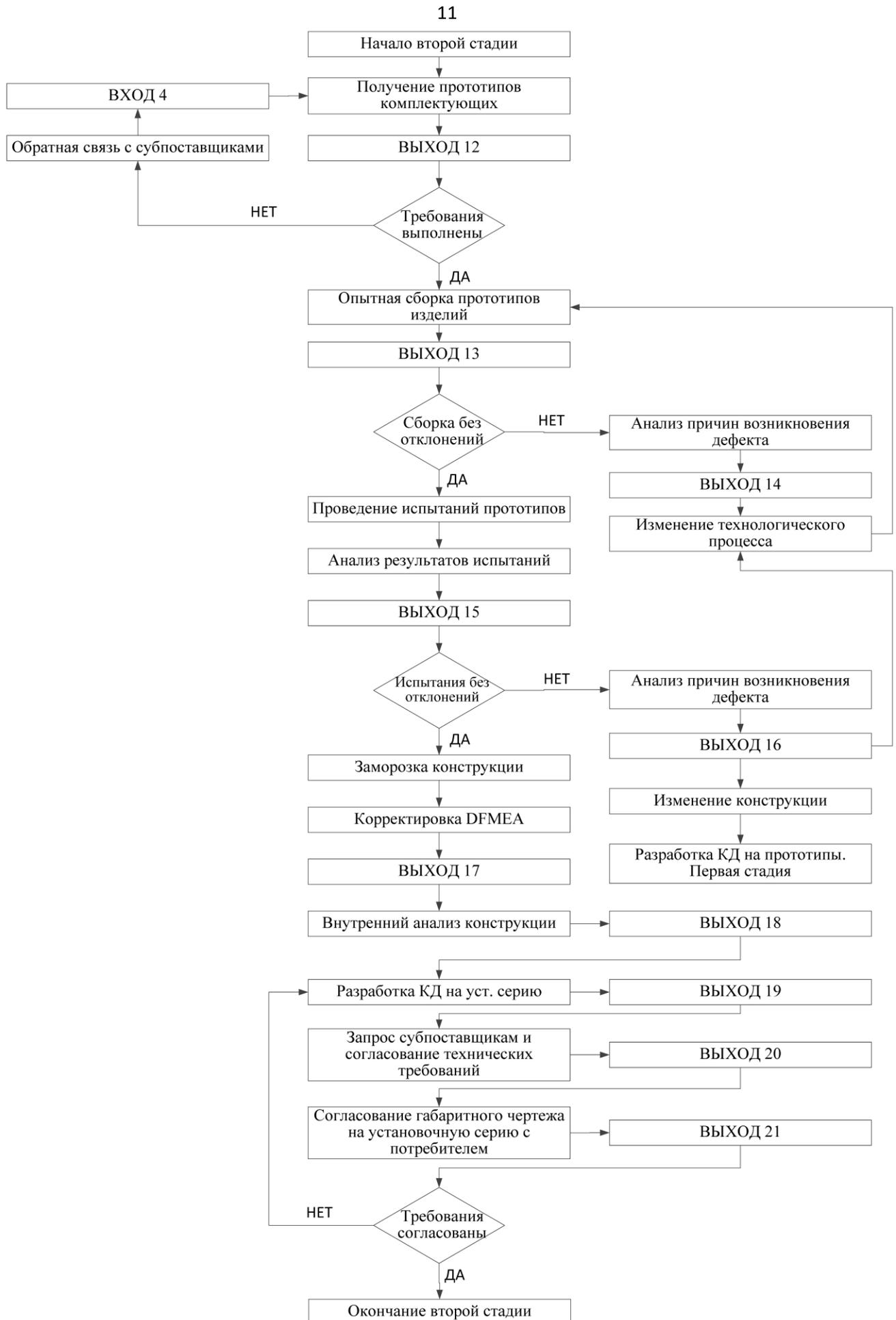


Рисунок 3 – Алгоритм процесса проектирования на Стадии 2: Валидация конструкции (Design Validation)

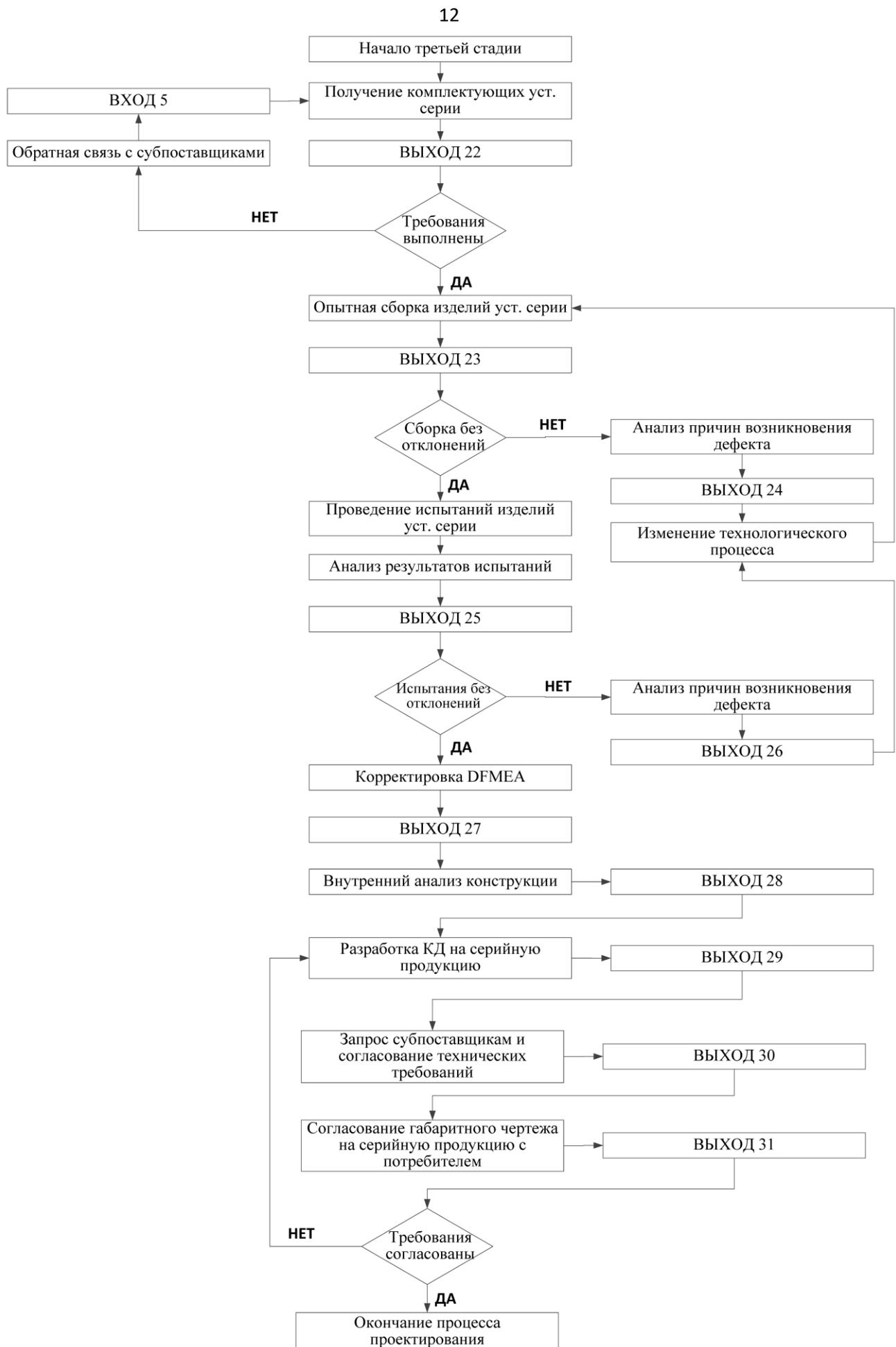


Рисунок 4 – Алгоритм процесса проектирования на Стадии 3: Верификация процесса (Process Verification)

Селекция компонентов алгоритма произведена с точки зрения возможности упорядочения деятельности внутри этих компонентов. Для каждого компонента алгоритма выполнена экспертная оценка возможности стандартизации посредством создания стандартных форм документации, методических инструкций, шаблонов конструкторской документации, видеоинструкций (таблица 2).

Таблица 2 – Селекция компонентов алгоритма процесса проектирования

Компонент алгоритма	Объекты для последующей стандартизации	Статус для последующей стандартизации ДА/НЕТ
<b>Стадия 1: Разработка концепции изделия и создание прототипов наружных и внутренних рулевых наконечников автомобиля</b>		
Внутренний анализ конструкции	Последовательность анализа на Стадии 1; Стандартная форма для оформления отчета о внутреннем анализе конструкции	ДА
...		
Разработка концепции изделия	не требуется	НЕТ
Разработка КД на прототипы	Шаблоны рабочих чертежей, сборочных и габаритных чертежей, спецификаций	ДА
...		
<b>Стадия 2: Валидация конструкции (Design Validation)</b>		
Получение прототипов комплектующих	не требуется	НЕТ
...		
Анализ причин возникновения дефекта (конструкторская причина)	- типовой анализ дефекта; - определение взаимосвязи между техническими решениями и состоянием изделий после испытаний и/или эксплуатации	ДА
...		
<b>Стадия 3: Верификация процесса (Process Verification)</b>		
Получение комплектующих установочной серии	не требуется	НЕТ
...		
Корректировка DFMEA	Стандартная форма DFMEA	ДА
...		

Алгоритм процесса проектирования послужил базой для создания стандарта предприятия АО НПО «БелМаг» СТП-ОГК 8.3-02.1 «Управление проектированием продукции: рулевые наконечники автомобиля».

### **Этап 3. Создание многоуровневой структуры документированной информации и ее кодирование**

Компоненты алгоритма процесса проектирования на всех трех стадиях предложено стандартизировать посредством создания многоуровневой структуры документированной информации, выполненной в виде комплекса методических инструкций по качеству.

Комплекс методических инструкций по качеству состоит из трех уровней:

1. I уровень – инструкции, описывающие общую последовательность выбора параметров компонентов изделия при проектировании, а также порядок проведения внутреннего анализа конструкции;

2. II уровень – инструкции, содержащие рекомендации по совместному выбору параметров компонентов, который призван обеспечить выполнение всех требований к изделию в сборе;

3. III уровень – инструкции, содержащие рекомендации по разработке габаритных и сборочных чертежей, чертежей комплектующих.

Комплекс методических инструкций по качеству представляет из себя последовательность выбора геометрических параметров, материалов, покрытий и других конструктивных решений, обеспечивающих выполнение изделием в сборе формализованных и ожидаемых требований потребителя. Структура кода каждой методической инструкции по качеству реализует принцип «от общего к частному». В данном случае использован последовательный классификационный метод кодирования. Алфавит кода выполнен в буквенно-цифровом виде. Для возможности реализации резервных знаков подмножества символов разделены дефисом. В таблице 3 показан реализованный комплекс методических инструкций по качеству.

Таблица 3 – Многоуровневая структура документированной информации по разработке конструкции наружного и внутреннего рулевых наконечников

Группа	Обозначение	Наименование
<b>Наружный рулевой наконечник</b>		
I уровень	МИК-ОГК-8.3-02-OTR-1-01	Порядок разработки конструкции наружного рулевого наконечника
	МИК-ОГК-8.3-00-OTR-1-02	Стандартное DFMEA наружного рулевого наконечника
	МИК-ОГК-8.3-02-OTR-1-03	Порядок проведения внутреннего анализа конструкции
II уровень	МИК-ОГК-8.3-02-OTR-2-01	Обеспечение посадок в сопряжении «палец-вкладыш-корпус-обойма»
	МИК-ОГК-8.3-02-OTR-2-02	Обеспечение усилия вырыва пальца шарового из корпуса
	МИК-ОГК-8.3-02-OTR-2-03	Обеспечение усилия выдавливания пальца шарового из корпуса
	МИК-ОГК-8.3-02-OTR-2-04	Обеспечение статической и усталостной прочности пальца шарового
	МИК-ОГК-8.3-02-OTR-2-05	Выбор конфигурации гофр защитного чехла
	МИК-ОГК-8.3-02-OTR-2-06	Обеспечение герметичности в сопряжении «палец-чехол-кольцо»
	МИК-ОГК-8.3-02-OTR-2-07	Обеспечение герметичности в сопряжении «корпус-чехол-кольцо»
III уровень	МИК-ОГК-8.3-02-OTR-3-01	Сборочный и габаритный чертеж наружного рулевого наконечника
	МИК-ОГК-8.3-02-OTR-3-02	Заготовка корпуса
	МИК-ОГК-8.3-02-OTR-3-03	Корпус
	МИК-ОГК-8.3-02-OTR-3-04	Заготовка пальца шарового
	МИК-ОГК-8.3-02-OTR-3-05	Палец шаровой
	МИК-ОГК-8.3-02-OTR-3-06	Вкладыш
	МИК-ОГК-8.3-02-OTR-3-07	Чехол защитный
	МИК-ОГК-8.3-02-OTR-3-08	Кольцо пружинное
	МИК-ОГК-8.3-02-OTR-3-09	Кольцо уплотнительное
	МИК-ОГК-8.3-02-OTR-3-10	Обойма
	МИК-ОГК-8.3-02-OTR-3-11	Колпак защитный
<b>Внутренний рулевой наконечник</b>		
I уровень	МИК-ОГК-8.3-02-ITR-1-01	Порядок разработки конструкции внутреннего рулевого наконечника
	МИК-ОГК-8.3-00-ITR-1-02	Стандартное DFMEA внутреннего рулевого наконечника
	МИК-ОГК-8.3-02-ITR-1-03	Порядок проведения внутреннего анализа конструкции
II уровень	МИК-ОГК-8.3-02-ITR-2-01	Обеспечение посадок в сопряжении «палец-вкладыш-опорное кольцо-корпус»
	МИК-ОГК-8.3-02-ITR-2-02	Обеспечение усилия вырыва пальца из корпуса
	МИК-ОГК-8.3-02-ITR-2-03	Обеспечение угла качания пальца в деформированном корпусе
III уровень	МИК-ОГК-8.3-02-ITR-3-01	Сборочный и габаритный чертеж внутреннего рулевого наконечника
	МИК-ОГК-8.3-02-ITR-3-02	Корпус
	МИК-ОГК-8.3-02-ITR-3-03	Заготовка пальца шарового
	МИК-ОГК-8.3-02-ITR-3-04	Палец шаровой
	МИК-ОГК-8.3-02-ITR-3-05	Вкладыш
	МИК-ОГК-8.3-02-ITR-3-06	Кольцо опорное
	МИК-ОГК-8.3-02-ITR-3-07	Колпак защитный для корпуса и пальца
<b>Тяга в сборе</b>		
II уровень	МИК-ОГК-8.3-02-OTR/ITR-2-01	Обеспечение прочности тяги в сборе при растяжении
	МИК-ОГК-8.3-02-OTR/ITR-2-02	Обеспечение устойчивости тяги в сборе при сжатии
III уровень	МИК-ОГК-8.3-02-OTR/ITR-3-01	Сборочный и габаритный чертеж тяги в сборе

В третьей главе предложенная методика апробирована на примере проектирования наружного рулевого наконечника автомобиля Gazelle Next, а именно проектирования пальца шарового, руководствуясь МИК-ОГК-8.3-02-ОТР-2-04 «Обеспечение статической и усталостной прочности пальца шарового». Данная инструкция содержит рекомендации по выбору номинальных значений и допусков размеров шарового пальца, а также твёрдости его материала, с целью обеспечения требований по статической и усталостной прочности на изгиб, а также приложение-видеоинструкцию по проведению статического расчета шарового пальца на изгиб с применением численных методов и расчета на усталостную долговечность.

Статическая и усталостная прочность пальца на изгиб определяется следующими параметрами (рисунок 5):

- расстояние от центра сферы до базового диаметра конуса П1;
- расстояние от базового диаметра конуса до начала галтели П2;
- диаметр цилиндрического участка под защитный чехол П3;
- минимальный диаметр галтели шарового пальца П4;
- длина галтели П5;
- длина цилиндрического участка под защитный чехол П6;
- группа линейных и угловых размеров, определяющих форму галтели П7-П13.

А также твёрдостью (или пределом прочности  $\sigma_b$ ) и пределом текучести  $\sigma_T$  материала шарового пальца и наличием операции обкатки галтели.

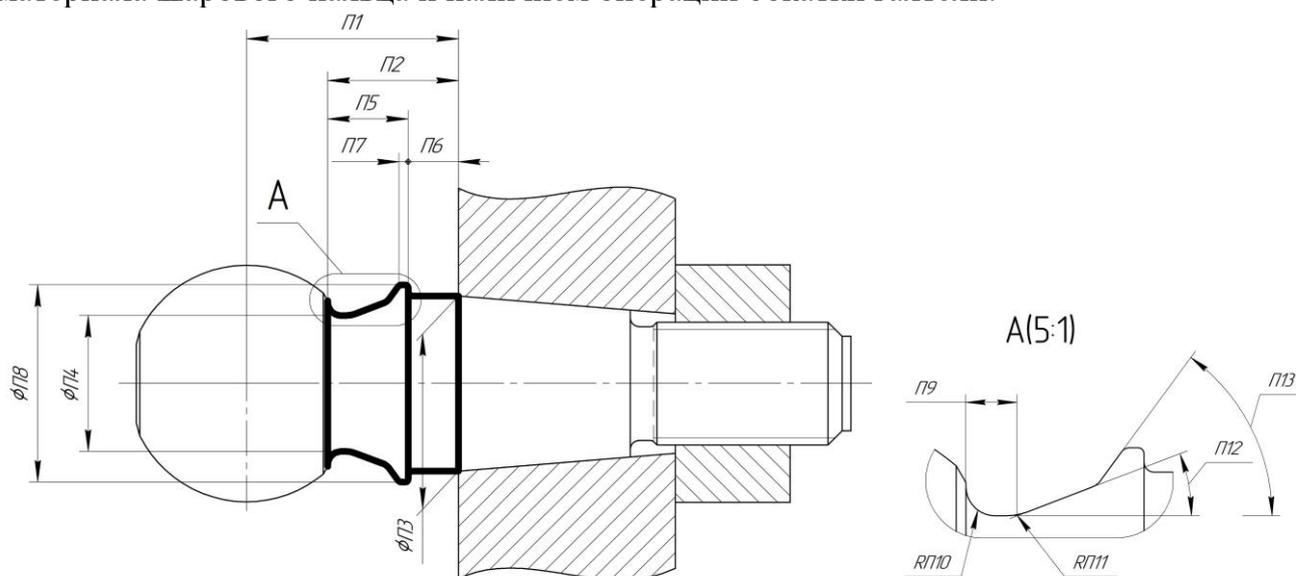


Рисунок 5 – Параметры шарового пальца, определяющие его статическую и усталостную прочность

Указанные геометрические параметры и твёрдость пальца согласно инструкции должны быть выбраны на основе фактической информации о связи между значениями параметров пальцев шаровых текущих изделий с фактическими значениями параметров их изгибной прочности. В инструкции в соответствии размерам П1-П13 различных конструктивных исполнений шаровых пальцев и применяемым материалам поставлены диаграммы зависимости силы от перемещения при изгибе этих шаровых пальцев, полученные в результате испытаний, а также параметры изгибной прочности (усилие в момент начала пластических деформаций  $F_{nl}$ , определенная путем графического построения, максимальное усилие при изгибе  $F^{\max}$ ). В качестве примера проводится статический расчет шарового пальца наружного рулевого наконечника автомобиля Gazelle Next на изгиб с использованием метода конечных элементов. На рисунках 6 и 7

приведены картины деформаций и напряжений по Мизесу шарового пальца при перемещении центра сферы  $S_{раз}^{\min} = 4 \text{ мм}$ .

В таблице 4 приведено сравнение расчетных и экспериментальных усилий в момент начала пластических деформаций. Напряжение со стороны растянутых волокон при перемещении центра сферы  $S_{раз}^{\min} = 4 \text{ мм}$  составило 912 МПа, что не превысило расчетного значения предела прочности = 1125...1140 МПа. Это позволяет говорить об отсутствии трещин на данном перемещении.

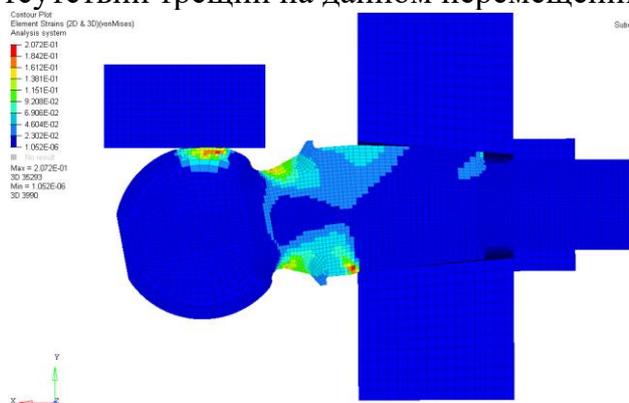


Рисунок 6 – Картина деформаций пальца шарового при перемещении центра сферы  $S_{раз}^{\min} = 4 \text{ мм}$

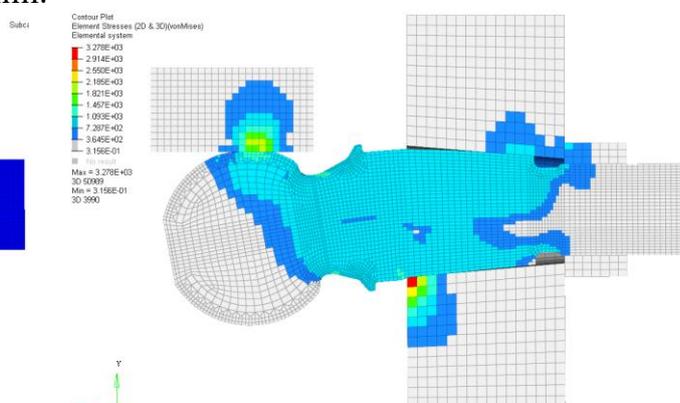


Рисунок 7 – Картина напряжений по Мизесу пальца шарового при перемещении центра сферы  $S_{раз}^{\min} = 4 \text{ мм}$

Таблица 4 – Сравнение расчетных и экспериментальных усилий в момент начала пластических деформаций

	Усилие в момент начала пластической деформации		Относительная погрешность, $\left  \frac{F_{пл}^{расч} - F_{пл}^{эксп}}{F_{пл}^{эксп}} \right  \cdot 100\%$	Напряжение со стороны растянутых волокон при перемещении $S_{раз}^{\min} = 4 \text{ мм}$ , МПа
	$F_{пл}^{эксп}, \text{ Н}$	$F_{пл}^{расч}, \text{ Н}$		
№ образца	1	45250	43100	912 < $\sigma_s$
	2	44850		
	3	45530		
	4	45590		
	5	42360		
	6	45970		

Разработанная КЭМ процесса статического испытания шарового пальца на изгиб позволяет определять усилие начала пластической деформации шаровых пальцев передней подвески и рулевого управления автомобилей с приемлемой степенью точности без проведения большого объема экспериментальных работ с физическими объектами.

**Четвертая глава** посвящена разработке и внедрению технологии производства проектируемых внутренних рулевых наконечников автомобиля с использованием процесса опрессовки и постановке их на серийное производство:

- внутренний рулевой наконечник с диаметром сферы шарового пальца  $\varnothing 32 \text{ мм}$  автомобиля Gazelle Next;
- внутренний рулевой наконечник с диаметром сферы шарового пальца  $\varnothing 26 \text{ мм}$  автомобиля LADA XRAY Cross.

По результатам численного моделирования выполнены две задачи:

1. Определение максимального усилия опрессовки внутреннего рулевого наконечника автомобиля Gazelle Next с целью разработки технического задания на сборочную технологическую линию.

2. Определение качества шарнирного соединения после опрессовки корпуса. Под качеством шарнирного соединения подразумевается формирование равномерного (по степени и площади) обжатия вкладыша и шаровой головки пальца внутренней поверхностью сформированного после опрессовки корпуса. На качество шарнирного соединения оказывают влияние технологические параметры процесса опрессовки: усилие, реализуемое прессом, перемещение пуансона и геометрия матрицы, которые необходимо определить в процессе проектирования внутреннего рулевого наконечника.

Результаты расчета возникающих деформаций и напряжений при осуществлении процесса опрессовки внутреннего рулевого наконечника с использованием КЭМ представлены на рисунке 8 *а, б*. Расчетная зависимость «сила-перемещение» приведена на рисунке 9.

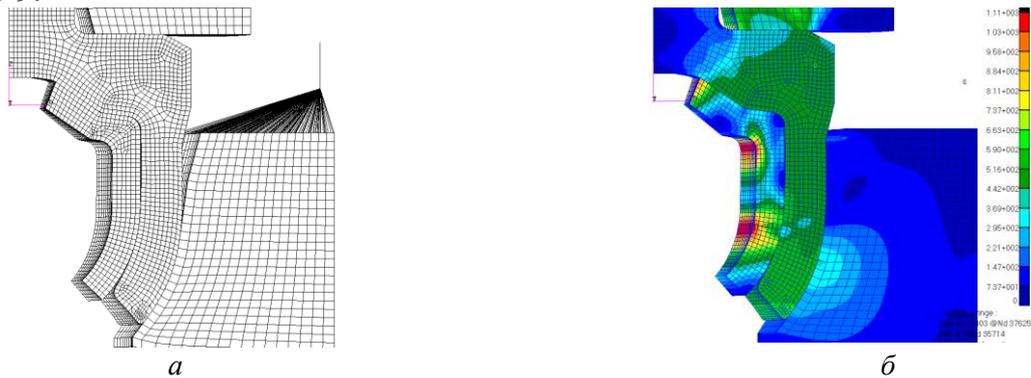


Рисунок 8 – Результаты расчета  
*а* – картина деформаций; *б* – картина напряжений по Мизесу

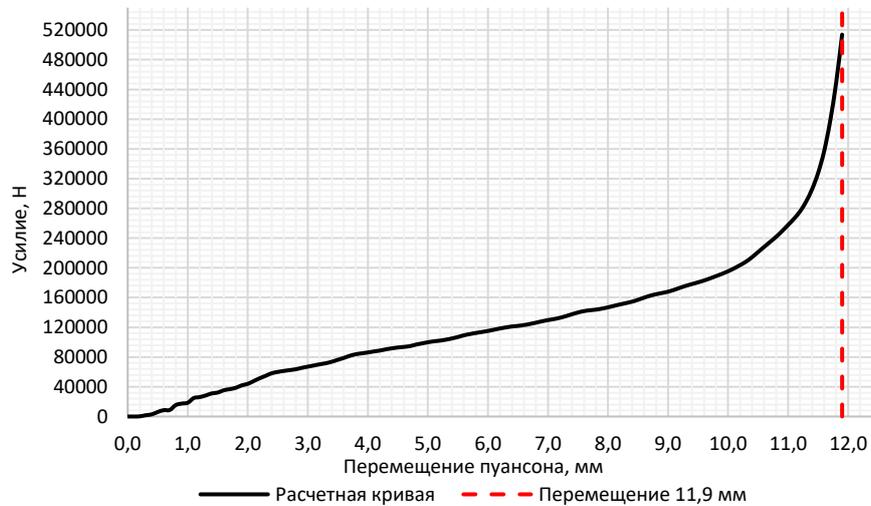


Рисунок 9 – Расчетная зависимость силы от перемещения пуансона

По результатам моделирования определено максимальное усилие 520 кН, реализуемое прессом. На основании данного расчета были сформулированы требования к техническим характеристикам пресса, вошедшие в дальнейшем в техническое задание на изготовление технологической сборочной линии для производства внутренних рулевых наконечников в условиях АО НПО «БелМаг» (г. Магнитогорск).

Данная линия разработана для производства внутренних рулевых наконечников двух типоразмеров диаметров сфер шарового пальца: Ø32 мм для рулевого управления автомобиля Gazelle Next и Ø26 мм для рулевого управления автомобиля LADA XRAY Cross. Линия была успешно запущена и в настоящее время на ней организовано серийное производство указанных рулевых наконечников для поставщиков первого уровня Bosch AS (г. Самара) и ООО «Рулевые системы» (г. Тольятти).

Разработанные конструкции внутренних рулевых наконечников автомобилей Gazelle Next и LADA XRAY Cross внедрены в серийное производство и за период 2018-2021г. выпущено и поставлено на конвейеры автозаводов 73060 шт. и 67850 шт. изделий соответственно с показателем дефектности в состоянии поставки ppm=0 и показателем дефектности за гарантийный период эксплуатации автомобиля 36MIS IPTV = 0.

## ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. В соответствии с требованиями стандартов ISO 9000 и IATF 16949 организации необходимо реализовать требования к процессу проектирования продукции и управлению знаниями для повышения конкурентоспособности. Организация должна разработать, внедрить и поддерживать процесс проектирования, обеспечивающий снижение вероятности возникновения конструкторских ошибок, сокращение сроков и стоимости проектирования продукции. Выполнение требований стандартов затруднено ввиду отсутствия методик реализации этих требований;

2. Проведены анализ и классификация требований к рулевым наконечникам автомобиля, предъявляемых отечественными и зарубежными автопроизводителями. В ходе анализа установлено, что существующие в отечественной практике стандарты ГОСТ Р 52433-2005 и Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 018/2011 включают не все требования, регламентированные в технических спецификациях автопроизводителей и не достаточны для объективной оценки качества продукции. Выполнение комплекса технических требований, сформированного в результате ранжирования требований указанных документов, позволяет производителю выпускать более конкурентную продукцию на глобальном рынке;

3. Систематизация процесса проектирования рулевых наконечников автомобиля в виде алгоритма и селекция его компонентов позволили определить ключевые элементы процесса проектирования, подлежащие дальнейшей стандартизации. На базе алгоритма процесса проектирования разработан стандарт предприятия АО НПО «БелМаг» СТП-ОГК 8.3-02.1 «Управление проектированием продукции: рулевые наконечники автомобиля». На основе селекции компонентов алгоритма разработана многоуровневая структура документированной информации, выполненная в виде комплекса методических инструкций по качеству. Разработанная методика внедрена на предприятии-поставщике автомобильных компонентов и позволила повысить эффективность процесса проектирования за счет систематизации конструкторских компетенций, снижения вероятности возникновения конструкторских ошибок, сокращения сроков и стоимости проектирования продукции. Информация, содержащаяся в комплексе методических инструкций по качеству, постоянно пополняется и обновляется, создавая кумулятивный эффект накопления компетенций сотрудников предприятия;

4. Разработанная численная модель статических испытаний шарового пальца на изгиб позволяет определять усилие в момент начала пластических деформаций и оценивать напряженно-деформированного состояния шарового пальца при минимально допустимом перемещении центра сферы пальца до разрушения;

5. Разработанная численная модель процесса опрессовки внутреннего рулевого наконечника позволила определять геометрические параметры инструмента для выполнения основных функциональных требований, а также максимальное усилие опрессовки для разработки технического задания на сборочную технологическую линию.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ ИЗЛОЖЕНО В СЛЕДУЮЩИХ ПУБЛИКАЦИЯХ

### Публикации в журналах из Перечня ВАК РФ:

1. Гун, Е. И. Моделирование процесса опрессовки внутренних рулевых наконечников / Е.И Гун., А.Р Вахитов., В.В.Сальников, Гун И.Г., Хон Ортуэта, Агустин Анитуа // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2019. – №1 (17). – С. 46-52.

2. Гун, И. Г. Разработка конструкции и технологии производства внутренних рулевых наконечников автомобиля / И. Г. Гун, А. Р. Вахитов, Е. И. Гун, Ю. В. Калмыков, В. В. Сальников // Заготовительные производства в машиностроении. – 2019. – № 6 (17). – С. 284-288.

3. Гун, И. Г. Расчетное определение параметров модели кулоновского трения посредством моделирования процесса опрессовки внутреннего рулевого наконечника автомобиля / И. Г. Гун, А. Р. Вахитов, Ф. А. Столяров, И. А. Михайловский, А. В. Смирнов // Заготовительные производства в машиностроении. – 2021. – Т. 19. – № 2. – С. 90-94.

4. Гун, И. Г. Расчетное определение усилия начала пластической деформации при изгибе пальца шарового наружного рулевого наконечника автомобиля посредством моделирования процесса статических испытаний / И. Г. Гун, А. Р. Вахитов, Ф. А. Столяров, А. В. Смирнов, И. А. Михайловский // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2021. – Т. 19. – № 2. – С. 23-31.

### Публикации в других изданиях:

5. Vakhitov, A. Understanding the effect of friction conditions on the parameters of inner tie rod pressing / A. Vakhitov, F. Stolyarov // Magnitogorsk Rolling Practice 2020 : материалы V международной молодежной научно-технической конференции, Магнитогорск, 24–27 ноября 2020 года / под ред. А.Г. Корчунова. – Magnitogorsk: Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 2020. – Р. 123-124.

6. Гун, И. Г. Обеспечение заданного уровня качества на примере наружных и внутренних рулевых наконечников автомобиля на стадии проектирования изделия / И. Г. Гун, А. Р. Вахитов, Ф. А. Столяров // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. – 2020. – Т. 11. – № 1. – С. 101-105.

7. Вахитов, А. Р. Моделирование процесса опрессовки внутренних рулевых наконечников / А. Р. Вахитов, Е. И. Гун // Magnitogorsk Rolling Practice 2018 : Материалы III молодежной научно-практической конференции, Магнитогорск, 05–08 июня 2018 года / Под редакцией А.Г. Корчунова. – Магнитогорск: Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 2018. – С. 99-101.

### Охранные документы:

8. Пат. № 185066 RU МПК F 16 C 11/06 (2006.01). Шаровой шарнир: / И. Г. Гун, Ю. В. Калмыков, Е. И. Гун, В. И. Артюхин, А. Р. Вахитов; заявитель и патентообладатель АО НПО «БелМаг». – № 2018105009; заявл. 09.02.2018, опубл. 19.11.2018, Бюл. №32. – 11 с.

9. Пат. №204188 RU МПК В 60 G 21/02 (2006. 01), F 16 C 11/06 (2006. 01). Стойка стабилизатора поперечной устойчивости: / И. Г. Гун, Ю. В. Калмыков, А. Р. Вахитов, Е. И. Гун, Ф. А. Столяров, А. В. Смирнов; заявитель и патентообладатель АО НПО «БелМаг». – № 2021104546; заявл. 24.02.2021; опубл. 14.05.2021, Бюл. №14. – 17 с.

10. Пат. № 205156 RU МПК F 16 C 11/06. Шаровой шарнир / И. Г. Гун, Ю. В. Калмыков, А. Р. Вахитов, Е. И. Гун, Ф. А. Столяров, А. В. Смирнов; заявитель и патентообладатель АО НПО «БелМаг». – № 2021113876; заявл. 17.05.2021; опубл. 29.06.2021, Бюл. № 19. – 15 с.