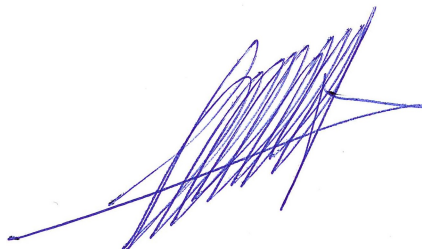


Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Магнитогорский государственный технический
университет им. Г.И. Носова»

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
Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук
профессор Гун Игорь Геннадьевич

Магнитогорск – 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1. ПРАКТИКА ВЫПОЛНЕНИЯ ТРЕБОВАНИЙ СЕРИИ СТАНДАРТОВ ISO 9000 И ОТРАСЛЕВОГО СТАНДАРТА IATF 16949 В ЧАСТИ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЕМ ПРОДУКЦИИ.....	11
1.1 Анализ требований к процессу проектирования продукции согласно серии стандартов ISO 9000 и стандарту IATF 16949	11
1.2 Обзор основных методов стандартизации.....	23
1.3 Анализ конструктивных особенностей наружных и внутренних рулевых наконечников автомобиля	29
1.4 Выводы по главе. Постановка цели и задач исследования.....	38
ГЛАВА 2. СТАНДАРТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПРОЕКТИРОВАНИЯ НАРУЖНЫХ И ВНУТРЕННИХ РУЛЕВЫХ НАКОНЕЧНИКОВ И СОЗДАНИЕ МНОГОУРОВНЕВОЙ СТРУКТУРЫ ДОКУМЕНТИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИИ	41
2.1 Анализ и классификация технических требований к рулевым наконечникам автомобиля, предъявляемых отечественными и зарубежными автопроизводителями.....	41
2.2 Систематизация процесса проектирования наружных и внутренних рулевых наконечников	47
2.2.1 Представление процесса проектирования в виде системы.....	47
2.2.2 Создание алгоритма процесса проектирования наружных и внутренних рулевых наконечников автомобиля.....	50
2.3 Селекция компонентов алгоритма процесса проектирования наружных и внутренних рулевых наконечников.....	61
2.4 Создание многоуровневой структуры документированной информации и ее кодирование	63
2.4.1 Методические инструкции по качеству I уровня	68
2.4.2 Методические инструкции по качеству II уровня	73
2.4.3 Методические инструкции по качеству III уровня.....	82
2.5 Выводы по главе 2.....	82
ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА ЧИСЛЕННОЙ МОДЕЛИ СТАТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ ШАРОВОГО ПАЛЬЦА НА ИЗГИБ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗГИБНОЙ ПРОЧНОСТИ ПАЛЬЦА НА СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ	84
3.1 Применение комплекса методических инструкций по качеству на практике..	84
3.2 Оценка требований к статической прочности шаровых пальцев на изгиб	86
3.3 Расчет шарового пальца на изгиб	88
3.4 Моделирование процесса статических испытаний шарового пальца на изгиб	90
3.4.1 Определение механических характеристик материала шарового пальца.....	90
3.4.2 Разработка конечно-элементной модели (КЭМ)	92
3.4.3 Валидация разработанной модели.....	99

3.5. Выводы по главе 3.....	105
ГЛАВА 4. РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ПРОЕКТИРУЕМЫХ ВНУТРЕННИХ РУЛЕВЫХ НАКОНЕЧНИКОВ АВТОМОБИЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОЦЕССА ОПРЕССОВКИ.....	107
4.1 Формирование неразъемного соединения внутреннего рулевого наконечника	107
4.2 Разработка конечно-элементной модели (КЭМ) процесса опрессовки внутреннего рулевого наконечника	110
4.3 Валидация численной модели.....	116
4.4 Разработка технического задания (ТЗ) на технологическую сборочную линию по производству внутренних рулевых наконечников	120
4.5 Постановка на производство внутренних рулевых наконечников автомобилей Gazelle Next, LADA XRAY Cross	127
4.6 Выводы по главе 4.....	129
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	130
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	132
Приложение 1	144
Приложение 2	159
Приложение 3	160
Приложение 4	161

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы диссертации.

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 с повышением качества выпускаемой продукции, сокращением сроков и стоимости проектирования.

Для повышения конкурентоспособности своей продукции предприятиями автомобильной отрасли РФ решается сложная 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 п. 8.3 к процессу проектирования продукции, как к важнейшему этапу ее жизненного цикла, являющемуся наиболее наукоемким процессом, постоянно испытывающим потребность в знаниях, их накоплении, систематизации и непрерывном пополнении. Согласно стандарту, организация в части проектирования должна:

- фокусироваться на предотвращении ошибок в процессе проектирования, а не на их выявлении и устранении постфактум;

- рассматривать характер, продолжительность и сложность работ по проектированию;
- рассматривать требуемые действия в отношении верификации и валидации проектирования;
- рассматривать внутренние и внешние ресурсы, необходимые для проектирования продукции и услуг;
- рассматривать документированную информацию, необходимую для демонстрации выполнения требований к проектированию, а также регистрировать и сохранять документированную информацию по входным и выходным данным проектирования;
- обеспечить, чтобы планирование проектирования охватывало все затрагиваемые заинтересованные стороны в организации;
- обеспечить, чтобы персонал, ответственный за проектирование продукции, обладал компетентностью для выполнения требований к проектированию и владел применимыми инструментами и методами проектирования продукции. Применимые инструменты и методы должны быть идентифицированы организацией;
- определить требования, имеющие важное значение для конкретного вида проектируемой продукции. Организация должна рассмотреть функциональные и эксплуатационные требования; информацию, полученную из предыдущей аналогичной деятельности по проектированию; законодательные и нормативные правовые требования; стандарты или своды практик, которые организация обязалась применять; возможные последствия неудачи, связанные с характером продукции и услуг;
- идентифицировать и документировать специальные характеристики продукции.

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.

Степень разработанности темы исследования:

Общим вопросам стандартизации, вопросам практического применения принципов и методов стандартизации посвящено множество работ, основанных на трудах зарубежных и российских ученых: Г. Тагути, Ф. Кросби, Ф. Тейлора, Ю.П. Адлера, М.А. Поляковой, С.В. Пономарева, М.В. Латышева, В.Т. Жадана, И.М. Лифица, В.В. Ткаченко, В. В Будилова, А.Г. Сергеева и других. Общие подходы к организации управления знаниями и процессом проектирования и разработки посвящены зарубежные и отечественные стандарты. Однако вопросам стандартизации процесса проектирования не уделено должного внимания.

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

Задачи исследований:

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 диссертационной работы заключается в следующем:

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.

Теоретическая и практическая значимость.

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».

Методология и 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.

Положения, выносимые на защиту.

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 структуры документированной 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.

Степень достоверности и апробация результатов исследования.

Достоверность научных положений, выводов и практических рекомендаций подтверждена соответствием результатов реализации методики и численных моделей информации 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 и разработки наружных и внутренних рулевых наконечников автомобиля.

Предмет исследования: наружные и внутренние рулевые наконечники автомобиля.

Личный вклад автора заключается в выборе и обосновании актуальности темы исследования, постановке задач для реализации поставленной в работе цели, проведении анализа современных требований, предъявляемых отечественными и зарубежными автопроизводителями к рулевым наконечникам автомобиля, систематизации процесса проектирования в виде алгоритма и селекции его компонентов, создании и кодировании многоуровневой системы документированной информации по проектированию рулевых наконечников автомобиля, выполненной в виде комплекса методических инструкций по качеству, разработке численных моделей, подготовке статей по теме диссертационного исследования.

Публикации. Основное содержание работы отражено в 7 печатных работах, в том числе 4 статьи опубликованы в журналах, включенных в перечень ведущих российских рецензируемых научных журналов и изданий ВАК РФ, имеется в 3 патентах Российской Федерации 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.

ГЛАВА 1. ПРАКТИКА ВЫПОЛНЕНИЯ ТРЕБОВАНИЙ СЕРИИ СТАНДАРТОВ ISO 9000 И ОТРАСЛЕВОГО СТАНДАРТА IATF 16949 В ЧАСТИ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЕМ ПРОДУКЦИИ

1.1 Анализ требований к процессу проектирования продукции согласно серии стандартов ISO 9000 и стандарту IATF 16949

В настоящее время качество продукции является основным инструментом конкурентной борьбы в условиях глобального рынка. Необходимость постоянного улучшения качества продукции обусловлена как экономическими соображениями, так и соображениями обеспечения безопасности жизни человека и окружающей среды. На этой основе базируется подход всеобщего менеджмента качества TQM [1-8].

Основные принципы концепции TQM, международный опыт по разработке систем менеджмента качества (СМК) нашли отражение в стандартах ISO серии 9000 [9-11]. Опираясь на требования данных стандартов, были определены фундаментальные требования к СМК для производств автомобильной промышленности и организаций, производящих соответствующие сервисные части, и формализованы в отраслевой стандарт IATF 16949, целью которого является разработка системы менеджмента качества, обеспечивающей постоянное улучшение с акцентом на предупреждение дефектов и уменьшение вариации и потерь в цепи поставок [11].

Применение СМК является стратегическим решением для организации, которое может помочь улучшить результаты ее деятельности и обеспечить прочную основу для инициатив, ориентированных на устойчивое развитие [1-8]. В стандартах ISO 9001 и IATF 16949 применен процессный подход, который включает цикл «Планируй - Делай - Проверь – Действуй» (Plan-Do-Check-Act – PDCA), и риск-ориентированное мышление. Процесс проектирования продукции является не только объектом процессного подхода, но и неотъемлемой частью жизненного цикла продукции и наиболее важным и наукоемким процессом,

постоянно испытывающим потребность в знаниях, их накоплении, систематизации и непрерывном пополнении. [9-16].

Знания организации

Знания организации, согласно стандарту ISO 9000, это знания, специфичные для организации и полученные в основном из опыта. Знания в целом – это информация, которая используется и которой обмениваются для достижения целей организации [17]. Стандарт IATF 16949 регламентирует требования к знаниям организации. Основой знаний организации могут быть [11]:

- внутренние источники (например, интеллектуальная собственность; знания, полученные из опыта; выводы, извлеченные из неудачных или успешных проектов; сбор и обмен недокументированными знаниями и опытом; результаты улучшений процессов и продукции);
- внешние источники (например, стандарты, знания научного сообщества, конференции, семинары, знания, полученные от потребителей и внешних поставщиков).

В соответствии со стандартом организация должна [8-11]:

- определять знания, необходимые для функционирования ее процессов и для достижения соответствия продукции и услуг;
- поддерживать знания в необходимом объеме и обеспечивать их доступность для сотрудников организации;
- при рассмотрении изменяющихся нужд и тенденций оценивать текущий уровень знаний и определять, каким образом получить или обеспечить доступ к дополнительным знаниям и их необходимым обновлениям.

Немаловажное значение в части применения знаний организации имеет компетентность сотрудников. Организация должна обеспечить, чтобы персонал, ответственный за проектирование продукции, обладал достаточной компетентностью для выполнения требований к проектированию и владел применимыми инструментами и методами проектирования продукции. Применимые инструменты и методы должны быть идентифицированы

организацией. Для обеспечения компетентности участвующих в процессе проектирования продукции сотрудников организация должна [8-11]:

- определять необходимую компетентность сотрудников, выполняющих проектирование, которая оказывает влияние на результативность и эффективность процесса проектирования;

- обеспечивать компетентность сотрудников на основе соответствующего образования, подготовки и опыта;

- там, где это применимо, предпринимать действия, направленные на получение требуемой компетентности, и оценивать результативность предпринятых действий;

- регистрировать и сохранять соответствующую документированную информацию как свидетельство компетентности.

Процесс проектирования

Требования ISO 9001 и IATF 16949 к процессу проектирования направлены более на предотвращение ошибок, чем на их выявление постфактум [8-11,18]. Организация должна разработать, внедрить и поддерживать процесс проектирования, обеспечивающий минимизацию ошибок и подходящий для обеспечения последующего производства продукции [9-11].

Важно отметить, насколько объёмен процесс проектирования и какое место он занимает в процедуре менеджмента проекта, в частности, в процедуре перспективного планирования качества продукции (advanced product quality planning – APQP) [19-22].

APQP – это процесс планирования качества продукции, который поддерживает разработку продукта, удовлетворяющего требованиям потребителя. Основной целью процедуры APQP является разработка плана качества нового продукта, который будет являться основополагающим при освоении данного продукта, что приведет к полному удовлетворению конечного потребителя, начиная с исходной фазы планирования проекта вплоть до начала серийного производства и завершая окончанием жизненного цикла продукта [20-23].

Структурно процедура APQP состоит из пяти фаз (рисунок 1.1). Все фазы направлены на единую конечную цель – достижение соответствия потребностям и ожиданиям потребителей для серийно производимой продукции [20-23].



Рисунок 1.1 – Фазы процедуры перспективного планирования качества продукции (APQP)

Фаза 1 – Организация и планирование. Цель Фазы 1 – проанализировать требования потребителя с целью планирования и определения программы разработки продукции, направленной на достижение требуемых целевых показателей по качеству, затратам и срокам. Процесс проектирования на Фазе 1 заключается в анализе поступившего запроса на предложение цены/информации (Request for quotation/information – RFQ/RFI) от потребителя, рассмотрении специальных характеристик продукции, проведении внутреннего анализа конструкции (Design Review) и анализа видов и последствий потенциальных отказов конструкции (design failure mode and effects analysis – DFMEA) [24,25], разработке перечня научно-технической документации (НТД), необходимой для проектирования продукции, разработке Плана испытаний, разработке предварительной КД. На основании предварительной КД организация-поставщик

получает технико-коммерческие предложения (ТКП) от субпоставщиков комплектующих [20-23].

Фаза 2 – Разработка продукции и процесса. Цель Фазы 2 – убедиться, что конструкция продукта и технологический процесс соответствуют требованиям потребителя по качеству, затратам и срокам. Процесс проектирования на Фазе 2 заключается в разработке КД на прототип с учетом поступившей информации от субпоставщиков, анализе результатов испытаний прототипов, проведении внутреннего анализа конструкции (Design Review), разработке КД на установочную серию продукции. После проведения испытаний прототипов происходит корректирование DFMEA [24,25], исходя из их результатов. В случае положительных результатов конструкция продукта «замораживается». После «заморозки» какие-либо значительные изменения конструкции не производятся [20-23].

Фаза 3 – Производство оснастки. Цель Фазы 3 – завершить разработку и изготовление производственной оснастки и подтвердить, что детали, изготовленные с серийной оснастки, соответствуют техническим требованиям на продукт. Процесс проектирования на Фазе 3 заключается в анализе результатов испытаний продукции из серийной оснастки, проведении внутреннего анализа конструкции (Design Review). После проведения испытаний продукции из серийной оснастки происходит корректирование DFMEA [24,25], исходя из их результатов. Проведение испытаний продукции из серийной оснастки производится в случае необходимости, поскольку на этом этапе важно подтвердить соответствие геометрических размеров комплектующих и изделий в сборе, химического состава и механических свойств используемых материалов на соответствие КД [20-23].

Фаза 4 – Наладка производственного процесса. Цель Фазы 4 – завершить разработку продукта и технологического процесса и подтвердить возможности производственного процесса по достижению целевых показателей по качеству, затратам и срокам в условиях выхода на полную мощность. Процесс проектирования на Фазе 4 заключается в анализе результатов испытаний

установочной серии продукции, проведении внутреннего анализа конструкции (Design Review), разработке КД на серийную продукцию. После проведения испытаний установочной серии продукции происходит корректирование DFMEA, исходя из их результатов [20-25].

Фаза 5 – Нарращивание производства (ramp-up) и серийное производство. Цель Фазы 5 – управление деятельностью по наращиванию производства и производственным процессом. Процесс проектирования на Фазе 5 заключается в техническом сопровождении ramp-up и старта серийного производства вплоть до подписания потребителем заявки одобрения к поставкам (part submission warrant – PSW) и расформирования команды по проекту [20-23].

Таким образом, процесс проектирования наиболее активно охватывает Фазы 1, 2 и 4, менее активно Фазы 3 и 5, поскольку эти фазы направлены в большей степени на создание технологии производства и выход на серийные мощности [18,20-22].

При планировании проектирования и определении этапов и средств управления проектированием организация должна рассматривать [17,20-23]:

- характер, продолжительность и сложность работ по проектированию;
- требуемые стадии процесса, включая проведение применимых анализов проектирования;
- требуемые действия в отношении верификации и валидации проектирования;
- обязанности, ответственность и полномочия в области проектирования;
- внутренние и внешние ресурсы, необходимые для проектирования продукции;
- необходимость в управлении взаимодействиями между сотрудниками, участвующими в процессе проектирования;
- необходимость вовлечения потребителей и пользователей в процесс проектирования;
- требования для последующего производства продукции;

- уровень управления процессом проектирования, ожидаемый потребителями и другими соответствующими заинтересованными сторонами;

- документированную информацию, необходимую для демонстрации выполнения требований к проектированию и разработке.

Организация должна обеспечить, что планирование проектирования охватывает все затрагиваемые заинтересованные стороны в организации и цепь её поставщиков [9-11,18]. Примеры областей для использования такого многофункционального подхода включают следующее, но не ограничиваются этим:

- менеджмент проектов (например, перспективное планирование качества продукции (APQP) или обеспечение уровня завершенности (VDA-RGA)) [19-23];

- деятельность по проектированию продукта (например, проектирование с учетом условий производства (design for manufacturability – DFM) и проектирование с учетом условий сборки (design for assembly – DFA)), рассмотрение использования альтернативных проектов/конструкций [18];

- разработка и рассмотрение анализа рисков проекта/конструкции продукта (FMEA), включая действия по снижению потенциальных рисков [24,25];

Входные данные проектирования

Организация должна определить требования, имеющие важное значение для конкретного вида проектируемых продукции. Входные данные должны быть адекватны целям проектирования, а также быть полными и непротиворечивыми. Противоречия входных данных проектирования и разработки должны быть разрешены. Организация должна рассмотреть [8-11]:

- функциональные и эксплуатационные требования;
- информацию, полученную из предыдущей аналогичной деятельности по проектированию;
- законодательные и нормативные правовые требования;
- стандарты или своды практик, которые организация обязалась применять;
- возможные последствия неудачи, связанные с характером продукции.

Организация должна регистрировать и сохранять документированную информацию по входным данным проектирования. Организация должна идентифицировать, документировать и рассматривать требования входных данных проектирования продукта как результата рассмотрения контракта. Минимальный набор входных данных проектирования продукта включает следующее [8-11]:

- спецификации продукта, включая специальные характеристики;
- требования к габаритным размерам и к окружающим деталям (интерфейсу);
- информацию о применяемых и новых материалах;
- идентификацию, прослеживаемость и упаковку;
- рассмотрение вариантов проекта/конструкции, включая опыт из предыдущих проектов;
- оценку рисков с требованиями входных данных и способности организации снижать риски/управлять рисками, включая риски из анализа осуществимости;
- целевые значения по соответствию требованиям к продукции, включая сохранность, надежность, долговечность, ремонтпригодность, здоровье человека, безопасность, окружающую среду, календарное планирование разработки и затраты;
- применимые законодательные и нормативные правовые требования страны назначения, идентифицированной потребителем;

Организация должна иметь процесс развертывания информации, полученной из предыдущих проектов по проектированию, анализа конкурирующих продуктов (бенчмаркинга), обратной связи с поставщиками, внутренних входных данных, данных из сферы эксплуатации и других значимых источников для текущих и будущих проектов подобного характера [8-11].

Также организация должна использовать многофункциональный подход для установления, документирования и введения в действие своих процессов по идентификации специальных характеристик [26], включая характеристики, назначенные потребителем, и анализ рисков, выполняемый организацией:

- документирование специальных характеристик в документах по продукту (например, конструкторской документации (КД), соответствующем анализе рисков (например, анализе рисков и последствий потенциальных отказов (FMEA)) [24,25];

- соблюдение определений и символов, установленных потребителем, или эквивалентных символов или пометок организации, как определено в таблице преобразования символов. Таблица преобразования символов должна быть представлена потребителю, если требуется.

Меры управления проектированием

Организация должна применять средства управления процессом проектирования для обеспечения уверенности в том, что [8-11]:

- результаты, которые должны быть достигнуты, определены;
- проведены анализы для оценивания способности результатов проектирования выполнить требования;
- проведены действия по верификации в целях обеспечения соответствия выходных данных проектирования входным требованиям к проектированию;
- проведены действия по валидации в целях обеспечения соответствия готовой продукции требованиям к установленному применению или намеченному использованию;
- предприняты необходимые действия по выявленным проблемам в ходе анализа или верификации и валидации;
- документированная информация об этих действиях зарегистрирована и сохранена.

Верификация и валидация проектирования

Верификация и валидация проектирования и разработки имеют различные цели. Они могут выполняться по отдельности или совместно. Верификация – это подтверждение на основе представления объективных свидетельств того, что установленные требования были выполнены. Валидация – это подтверждение на основе представления объективных свидетельств того, что требования, предназначенные для конкретного использования или применения в определенных потребителем условиях, выполнены [8-11,27].

Верификация аналогична неспецифическим испытаниям. Она, с точки зрения организации, является подтверждением того, что процессы внутри организации, материалы, продукция и персонал соответствуют всем установленным самой организацией требованиям. Валидация аналогична специфическим испытаниям. Она, с точки зрения потребителя и других заинтересованных сторон, является подтверждением того, что процессы внутри организации, материалы, продукция и персонал соответствуют всем установленным требованиям заказа (для конкретного применения или использования). Верификация производится всегда, выполняется методом проверки (сличения) характеристик продукции с заданными требованиями, результатом является вывод о соответствии (или несоответствии) продукции. А необходимость в валидации появляется только тогда, когда возникают требования, связанные с конкретным применением продукции. Валидация выполняется методом анализа заданных условий применения и оценки соответствия характеристик продукции этим требованиям, результатом является вывод о возможности применения продукции для конкретных условий [27].

Верификация и валидация должна выполняться в соответствии с требованиями потребителя, включая любые применимые нормативные правовые стандарты промышленности и государственных органов [8-11].

Выходные данные проектирования

Организация должна обеспечить, чтобы выходные данные проектирования [8-11]:

- соответствовали входным требованиям;
- были адекватными для последующих процессов производства продукции;
- определяли характеристики продукции, которые имеют важное значение для их целевого назначения, безопасного и надлежащего предоставления.

Организация должна регистрировать и сохранять документированную информацию по выходным данным проектирования.

Выходные данные проектирования продукта должны быть выражены в терминах, которые могут быть верифицированы и валидированы по отношению к

требованиям входных данных проектирования продукта. Минимальный набор выходных данных проектирования продукта включает следующее [8-11]:

- FMEA;
- результаты изучения надёжности;
- специальные характеристики продукта;
- результаты защиты от ошибок в конструкции продукта, например, методология дизайна процессов шести сигм (design for six sigma – DFSS), DFM и DFA, анализ дерева отказов (fault tree analysis – FTA);
- определение продукта, включая 3D-модели, комплекты технических данных, информацию по изготовлению продукта и назначение геометрических параметров и допусков;
- КД, технические условия, спецификации;
- руководство по диагностике в сервисе и инструкции по ремонту или замене, ремонтпригодности;
- требования к упаковке и этикетированию для перевозки грузов;
- перечень специальных характеристик продукта.

В промежуточные выходные данные проектирования следует включать любые технические проблемы, решаемые с помощью процесса компромиссного выбора параметров.

Документированная информация

Документированная информация – это информация, которая должна управляться и поддерживаться организацией, и носитель, который ее содержит. Документированная информация может быть любого формата и на любом носителе и может быть получена из любого источника [9].

Система менеджмента качества организации должна включать [1-7]:

- документированную информацию, требуемую стандартами ISO 9001 и IATF 16949;
- документированную информацию, определенную организацией как необходимую для обеспечения результативности системы менеджмента качества.

Документированная информация должна находиться под управлением в целях обеспечения ее доступности и пригодности, где и когда она необходима и ее достаточной защиты (например, от несоблюдения конфиденциальности, от ненадлежащего использования или потери целостности).

Для управления документированной информацией организация должна предусматривать следующие действия:

- распределение, обеспечение ее доступности и поиска, а также использование; хранение и защиту, включая сохранение разборчивости;
- управление изменениями (например, управление версиями);
- соблюдение сроков хранения и порядка уничтожения.

Документированная информация внешнего происхождения, определенная организацией как необходимая для планирования и функционирования системы менеджмента качества, должна быть соответствующим образом идентифицирована и находиться под управлением.

Документированная информация, регистрируемая и сохраняемая в качестве свидетельства соответствия, должна быть защищена от непредумышленных изменений.

Исходя из вышеперечисленных требований стандартов ISO 9001 и IATF 16949, в организациях наиболее остро стоит вопрос обеспечения заданного уровня продукции путем повышения результативности и эффективности процесса проектирования. Достижение этой цели возможно при применении процессного подхода и риск-ориентированного мышления [8-11]. Базой для достижения поставленной цели являются:

- 1) стандартизированный процесс проектирования продукции, обеспечивающий минимизацию конструкторских ошибок за счет использования знаний организации;
- 2) необходимые знания, которые определены и аккумулированы в виде документированной информации. Знания организации должны актуализироваться и пополняться в соответствии с текущим уровнем развития науки и техники.

Знания организации должны служить не только для проектирования продукции, но и являться базой для обеспечения компетентности ее сотрудников;

В данной работе предлагается стандартизировать процесс проектирования на базе существующих методов стандартизации.

1.2 Обзор основных методов стандартизации

Стандартизация по определению ИСО/МЭК – это установление и применение правил с целью упорядочения деятельности в определенной области на пользу и при участии всех заинтересованных сторон, в частности для достижения всеобщей оптимальной экономии при соблюдении условий эксплуатации (использования) и требований безопасности. Применительно к процессу проектирования можно сформулировать определение стандартизации следующим образом: это деятельность по установлению правил проектирования в целях их многократного использования, направленная на достижение упорядоченности и повышение конкурентоспособности продукции. Результатом деятельности по стандартизации является стандарт. Это документ, в котором в целях добровольного многократного использования устанавливаются характеристики продукции, правила осуществления и характеристики процессов проектирования (включая изыскания), строительства, монтажа, наладки, эксплуатации [28,29,48,49,64].

Метод стандартизации – это прием или совокупность приемов, с помощью которых достигаются цели стандартизации [28-44]. Основные методы стандартизации в порядке их проведения при стандартизации приведены ниже:

Систематизация объектов стандартизации [28-35] заключается в научно-обоснованном, последовательном классифицировании и ранжировании совокупности конкретных объектов стандартизации и преследует цель расположить их в определенном порядке и последовательности, образующей четкую систему, удобную для использования. При систематизации необходимо учитывать взаимосвязь объектов.

Кодирование [28-35] представляет собой образование по определенным правилам и присвоение кодов объекту или группе объектов, позволяющее заменить несколькими знаками (символами) наименования этих объектов. С помощью кодов обеспечивается идентификация объектов максимально коротким способом, т.е. с помощью минимального числа знаков. Стремление к минимизации количества знаков, идентифицирующих объекты, способствует повышению эффективности сбора, учета, хранения, обработки информации. Кодирование информации предполагает обязательную систематизацию и классификацию.

Кодовое обозначение характеризуется:

- алфавитом кода;
- структурой кода;
- числом знаков – длиной кода;
- методом кодирования.

Алфавит кода представляет собой систему знаков (символов), составленных в определенном порядке, куда могут входить цифры, буквы и другие знаки, имеющиеся на клавиатуре печатающего устройства. Коды бывают цифровые, буквенные и буквенно-цифровые.

Число знаков в коде определяется его структурой и зависит от количества объектов, входящих в подмножества, образуемые на каждом уровне деления. При определении числа знаков на каждом уровне деления необходимо иметь в виду возможность появления новых объектов и предусматривать резервные коды.

Методы кодирования в значительной степени связаны с методами разделения множества на подмножества. Как отмечалось выше, метод присвоения объектам порядковых цифровых номеров, при котором кодовыми обозначениями служат числа натурального ряда, обеспечивает полную идентификацию объектов, но не является информативным, так как не отражает признаков, присущих множеству. В отличие от него идентифицированные методы кодирования обеспечивают идентификацию объектов через коды, составленные по определенным правилам и включающие определенный набор кодов отдельных признаков, характеризующих эти объекты.

Коды должны удовлетворять следующим основным требованиям:

- однозначно идентифицировать объекты и (или) группы объектов, т.е. быть идентификаторами;
- иметь минимальное число знаков (минимальную длину) и достаточное для кодирования всех объектов (признаков) заданного множества;
- иметь достаточный резерв для кодирования вновь возникающих объектов кодируемого множества;
- быть удобными для использования человеком, а также для компьютерной обработки закодированной информации;
- обеспечивать возможность автоматического контроля ошибок при вводе в компьютерные системы.

Классификационные методы кодирования разделяются на два типа: последовательный и параллельный (независимый) [28-44].

Последовательный метод используется при иерархическом методе классификации, когда множество разделяется на подмножества в нужной последовательности и когда кодовое обозначение строится по заданной структуре, определяющей последовательность и количественный состав признаков на каждом уровне деления.

К недостаткам метода следует отнести зависимость кода от установленных правил образования, необходимость иметь резервные коды на случай включения дополнительных объектов, невозможность изменения состава и количества признаков, через которые идентифицируется объект [44-47].

Параллельный метод используется при фасетной классификации объектов, когда коды присваиваются фасетам и признакам независимо друг от друга. Структура кодового обозначения определяется фасетной формулой. Параллельный метод широко применяется при машинной обработке и при решении технико-экономических задач, характер которых часто меняется, и когда необходимо анализировать различные множества объектов. Метод обеспечивает возможность независимого изменения и дополнения характеристик объектов и их различных сочетаний, необходимых для решения конкретных задач. К недостаткам

параллельного метода следует отнести громоздкость фасетных формул и избыточную емкость кодов.

Необходимо отметить, что кодирование при обоих методах осуществляется путем присвоения порядковых номеров, причем параллельный метод может успешно применяться при иерархическом методе классификации, когда одинаковыми кодами кодируются одинаковые объекты (признаки), находящиеся на одном уровне деления, но в разных подмножествах.

Классификация – разделение множества объектов стандартизации на классификационные группировки по сходству или различию на основе определенных признаков в соответствии с принятыми правилами. Основными методами классификации объектов технико-экономической информации являются иерархический и фасетный [28-44,49].

При иерархическом методе исходное множество объектов последовательно разделяется на подмножества (классификационные группировки), а те, в свою очередь, на подмножества и т.д. В данном случае реализуется принцип от общего к частному: множество объектов разделяется на классы, группы, виды и т.д. по основным признакам, характеризующим эти объекты. Каждая группировка в соответствии с выбранным признаком (основанием деления) делится на несколько других группировок, каждая из которых по другому признаку делится еще на несколько подчиненных группировок, и т.д. Таким образом, между классификационными группировками устанавливается отношение подчинения (иерархии) [28-44] .

Построение иерархической классификации объектов, как правило, происходит в следующей последовательности [28-44]:

1. Определяется множество объектов, которое необходимо классифицировать;
2. Выделяются основные признаки (свойства, характеристики, показатели, параметры и др.), по которым множество будет делиться на подмножества;

3. Выбирается порядок следования признаков – уровень деления и их количество.

При построении иерархической классификации необходимо соблюдать следующие правила [28,29]:

- разделение множества на подмножества на каждом уровне производится только по одному признаку деления;
- получаемые в результате деления группировки на каждом уровне относятся только к одной вышестоящей группировке и не пересекаются, т.е. не повторяются;
- разделение множества осуществляется без пропусков очередного или добавления промежуточного уровня деления;
- классификация производится таким образом, чтобы сумма образованных подмножеств составляла делимое множество.

Наиболее сложными вопросами, возникающими при построении иерархической классификации, считают выбор системы признаков, используемых в качестве основания деления, и определение порядка их следования.

В основу иерархической классификации закладываются признаки, являющиеся необходимыми в решении задач, для которых она создается. При этом последовательность признаков определяется по принципу – от общего к частному, с учетом приоритетной вероятности обращений к разным уровням деления при решении конкретных задач [28-44].

Основные преимущества иерархической классификации заключаются в ее логичности, последовательности и хорошей приспособленности для ручной обработки информации. Недостатком является малая гибкость структуры, обусловленная фиксированностью признаков (оснований деления) и заранее установленным порядком их следования [28,29].

Фасетный метод классификации характеризуется тем, что множество объектов разделяется на независимые подмножества (классификационные группировки), обладающие определенными признаками, необходимыми для решения конкретных задач [28-44].

Последовательность построения фасетной классификации практически такая же, как при построении иерархической, т.е. определяется множество объектов, выделяются основные признаки и группы признаков этого множества и выбирается порядок следования групп признаков (фасетов) и признаков-характеристик [28,29].

Для вычисления из множества объектов конкретного подмножества, обладающего определенными признаками, необходимо выделить основные признаки-характеристики, всесторонне характеризующие объект и обеспечивающие его идентификацию, сгруппировать их по принципу однородности в фасеты, присвоить им коды, определить фасетные формулы для образования подмножеств.

Особенность фасетного метода состоит в том, что подмножества составляются по принципу «от частного к общему», т.е. на основе различных наборов конкретных характеристик объекта формируются конкретные подмножества [28,29].

Основным преимуществом фасетной классификации является гибкость, которая позволяет систематизировать объекты по необходимому набору признаков и осуществлять информационный поиск по любому сочетанию фасетов. Она также хорошо приспособлена для компьютерного формирования подмножеств на основе выбранного перечня признаков, но менее удобна для ручной обработки информации [28-44].

Унификация – это приведение объектов одинакового функционального назначения к единообразию по установленному признаку и рациональное сокращение числа этих объектов на основе данных об их эффективной применяемости. Таким образом, при унификации устанавливают минимально необходимое, но достаточное число объектов стандартизации. Целью унификации процессов является рациональное сокращение числа процессов одинакового функционального назначения [28-44].

Симплификация объектов стандартизации – форма стандартизации, цель которой уменьшить число объектов стандартизации до числа, достаточного для удовлетворения существующих в данное время потребностей. Симплификация

заключается в определении таких конкретных объектов, которые признаются нецелесообразными для дальнейшего применения, т.е. сокращение наиболее употребляемых элементов до целесообразного минимума. При симплификации обычно исключают разновидности объектов стандартизации, которые не являются необходимыми. В объекты симплификации не вносят какие-либо технические усовершенствования [28-45].

Селекция объектов стандартизации – деятельность, заключающаяся в отборе таких конкретных объектов, которые признаются целесообразными для дальнейшего применения [28,29].

Типизация объектов стандартизации – разработка и установление типовых (образцовых) конструкции, процессов для проектирования однотипной продукции, форм документации или изделий той или иной классификационной группы. В отличие от селекции отобранные конкретные объекты подвергают каким-либо техническим преобразованиям, направленным на повышение их качества и универсальности [47,49].

1.3 Анализ конструктивных особенностей наружных и внутренних рулевых наконечников автомобиля

Автокомпоненты шасси и рулевого управления автомобиля являются ответственными узлами, влияющими на безопасность. Рулевые тяги рулевого механизма типа «шестерня-зубчатая рейка» соединяют зубчатую рейку с рычагами поворотного кулака, осуществляя тем самым передачу управляющего воздействия водителя на колеса. С точки зрения кинематики рейка и рулевая тяга являются кривошипно-шатунным механизмом: рейка может рассматриваться как поршень – элемент, совершающий возвратно-поступательное движение, рычаги поворотных кулаков – как кривошпы, совершающие вращательное движение. Рулевые тяги в данном случае являются соединительными элементами (рисунок 1.2). Но поскольку колеса одновременно с этим могут перемещаться вниз или вверх, механизм является пространственным.

В этой связи наконечники рулевых тяг должны содержать сферические (шаровые) шарниры. Шаровые шарниры ориентированы таким образом, что основным относительным движением деталей рулевого наконечника является вращение вокруг оси шарового пальца.

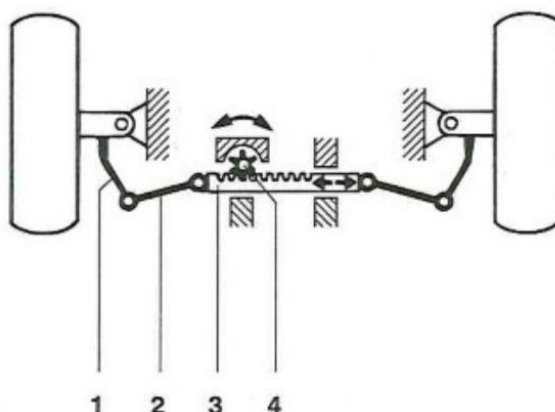


Рисунок 1.2 – Кинематика реечного рулевого управления

1 – рычаг поворотного кулака; 2 – боковая рулевая тяга; 3 – зубчатая рейка; 4 – шестерня

Поэтому рулевой наконечник в месте крепления к рычагам поворотного кулака всегда содержит угловой или радиальный шарнир и называется наружный рулевой наконечник (Outer Tie Rod – OTR), а в месте крепления рулевой тяги к рейке – шарнир осевого типа и называется внутренний рулевой наконечник (Inner Tie Rod – ITR) (рисунок 1.3-1.4) [50-56].

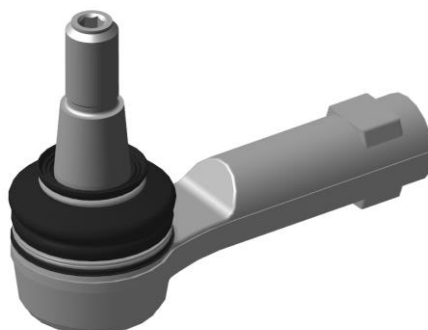


Рисунок 1.3 – Общий вид наружного рулевого наконечника (OTR)



Рисунок 1.4 – Общий вид внутреннего рулевого наконечника (ITR)

Во избежание изгиба рулевых тяг, форма детали, соединяющей два шаровых шарнира, должна быть «прямолинейной» насколько это возможно. За счет этого может быть снижен размер поперечного сечения, необходимого для обеспечения гарантированно жесткого соединения между шарнирами. Однако положение рычагов направляющего устройства, полуосей и колеса не всегда позволяет реализовать оптимальный вариант компоновки элементов рулевого привода. Рулевая тяга изогнутой формы тяжелее и дороже [54].

Важно обеспечить возможность изменения длины рулевой тяги в диапазоне ± 15 мм с целью регулировки угла схождения управляемых колес. Для выполнения данного требования все рулевые тяги состоят из указанных двух компонентов, которые соединены посредством резьбового соединения с возможностью регулировки. Защитой от самоотвинчивания пальца внутреннего рулевого наконечника является контргайка.

Другим требованием является направленная деформация рулевой тяги или рулевых наконечников при аварии. Необходимо добиться того, чтобы рулевая тяга не препятствовала деформации передней части автомобиля. Кроме того, рулевые наконечники могут быть расположены так, чтобы снижать вероятность повреждения более дорогих деталей рулевого управления. Водитель может сразу распознать наличие изогнутой рулевой тяги по углу поворота рулевого колеса и неустойчивому прямолинейному движению автомобиля.

Сила, необходимая для изгиба рулевой тяги должна быть значительно больше максимальной силы, возникающей при нормальной эксплуатации.

Экстремальные по величине осевые силы на рулевые тяги, возникающие при парковке и заезде на бордюр, могут достигать значений до 25 кН [52-56].

Наружный рулевой наконечник рулевой тяги (рисунок 1.5) состоит горячештамповонного или холодноштампованного корпуса 1, шарового пальца 2 с коническим участком и резьбой, полученного методом холодной высадки, пластикового вкладыша 3, обоймы 4, защитного чехла 5, пружинного 6 и уплотнительного 7 колец, защитного транспортного колпака 8 и синтетической смазки, заложенной между пальцем и вкладышем, а также в герметичную полость защитного чехла.

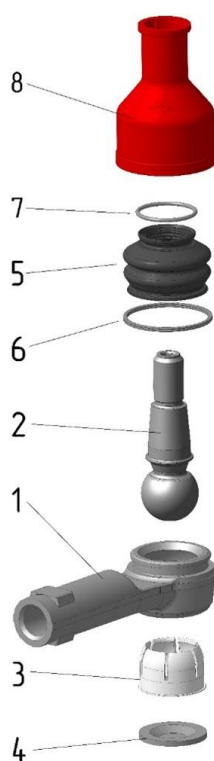


Рисунок 1.5 – Общий вид наружного рулевого наконечника

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

Корпус, получаемый горячей или холодной штамповкой, имеет полость для установки шарового пальца и внутреннюю резьбу, входящую в зацепление с резьбой на стержне пальца внутреннего рулевого наконечника.

Наиболее простым вариантом конструкции наружного наконечника является такой, где центр сферы пальца лежит на осевой линии резьбы корпуса. Однако в силу недостатка места в компоновке рулевого управления, использование конструкций данного типа возможно не всегда. В этом случае центр сферы может быть сдвинут в одном или нескольких направлениях.

Несмотря на то, что идеальной формой корпуса наружного наконечника является условно прямолинейная форма, без смещений оси резьбы относительно центра сферы пальца, в некоторых случаях допускается использовать изогнутые корпуса (рисунок 1.6). Однако, необходимо учитывать возникающие нагрузки. Так, например, размеры поперечного сечения выбирают из соображений обеспечения приблизительного равенства возникающих напряжений по длине корпуса.



Рисунок 1.6 – Различные варианты конструктивного исполнения корпуса наружного рулевого наконечника:

без смещения (слева сверху); с осевым смещением (посередине сверху); с радиальным смещением (справа сверху); изогнутый (слева снизу); дважды изогнутый (справа снизу)

Для снижения массы может быть использован штампованный и термообработанный корпус из алюминия. Однако использование алюминия повышает стоимость. Если рычаг поворотного кулака выполнен из алюминия, необходимо наличие дополнительной конической втулки для снижения давления на присоединительную поверхность пальца наружного рулевого наконечника.

В качестве присоединительных элементов рекомендуется использовать коническую поверхность пальца и резьбу (рисунок 1.7, а). Конические шаровые пальцы получили самое широкое распространение из-за простоты конструкции и механической обработки, достаточной несущей способности конического соединения.

Если габариты изделия должны быть минимальными, присоединительными элементами могут служить окружная проточка на поверхности пальца и цилиндрическая поверхность (рисунок 1.7, б). Однако в этом случае наличие зазора в сопряжении с рычагом поворотного кулака негативным образом сказывается на коррозионной стойкости пальца. Поэтому для пальца данной конструкции необходимо специальное покрытие (нитроцементация). Шарнир должен быть расположен пальцем вниз, т.к. в этом случае снижается негативное действие воды и грязи, скапливающейся на защитном чехле. Цилиндрические шаровые пальцы применяются в составе шаровых опор подвески и не имеют широкого распространения, поскольку требуют большего числа крепежных деталей для фиксации в ответной детали (поворотном кулаке), отсутствие резьбы на пальце создает дополнительные трудности при монтаже в ответную деталь, в частности применение защитного чехла с внутренним кольцом верхней горловины, требующим напрессовки на палец, исключает монтаж опоры в поворотный кулак без дополнительного оборудования. Также аксиальный разрез кулака создает дополнительные сложности для работы верхней горловины чехла в области контакта: дополнительный износ горловины чехла вследствие трения об острые кромки аксиального разреза. Это также требует применения дополнительных деталей (шайб, внутренних колец) для их размещения между верхней горловиной чехла и кулаком. Также имеет место отсутствие герметизации в области аксиального разреза.

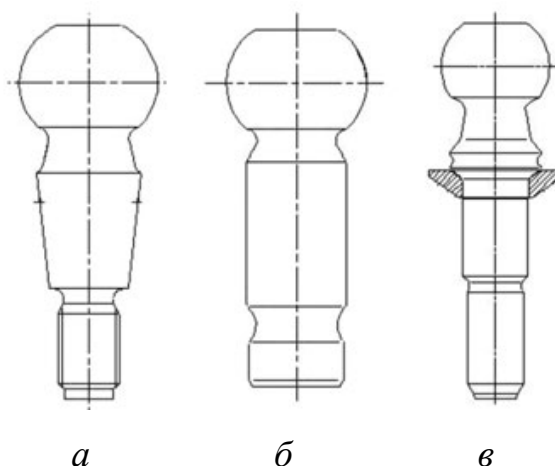


Рисунок 1.7 – Различные конструктивные исполнения пальца радиального шарнира

а – конический; *б* – цилиндрический; *в* – с конической втулкой

В связи с указанными преимуществами в конструкции наружных рулевых наконечников целесообразно применять конические шаровые пальцы [52-56]. В данной работе указанные шаровые пальцы будут являться объектом рассмотрения в качестве примера.

Если в одном из направлений отклонения шарового пальца должно быть больше, окно корпуса можно выполнить овальной формы. Это позволит увеличить полный угол качания в одном направлении до 60 градусов. Тогда угол качания в плоскости, перпендикулярной плоскости качания с большим углом, достигнет максимум 30 градусов [52-56].

Внутренний рулевой наконечник (рисунок 1.8) состоит из холодноштампованного корпуса 1 с резьбовым хвостовиком, шарового пальца 2 с резьбовым участком, полученного методом холодной высадки, пластикового вкладыша 3, опорного кольца 4, защитного транспортного колпака 5 и синтетической смазки, заложенной между пальцем и вкладышем [52-56,57].

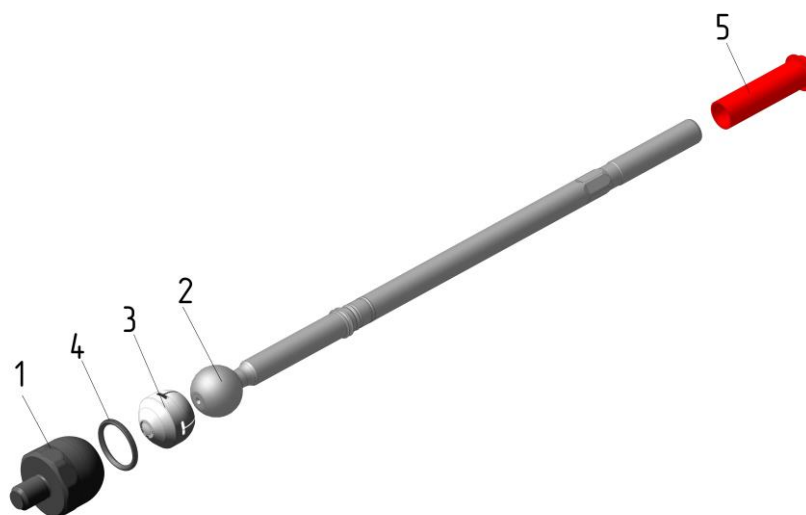


Рисунок 1.8 – Общий вид внутреннего рулевого наконечника

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

Механической обработке подвергается только поверхность сферы и прилегающий участок (галтель) шарового пальца. При сборке изделия, после установки вкладыша с пальцем в корпус, участок корпуса около отверстия пластически деформируют под действием значительных нагрузок. Таким образом шаровой палец фиксируется в корпусе, причем усилие вырыва пальца из корпуса может достигать 40 кН при моменте качания меньше, чем 3,5 Нм. Настолько точные характеристики сопряжения достигаются контролем и настройкой перемещения и силы в процессе деформации. После сборки зазор в шарнире недопустим. Необходимо наличие предварительного напряжения в сопряжении деталей, которое определяет величину момента качания – не менее 0,5 Нм. После сборки внутреннего рулевого наконечника измеряются характеристики шарнира. Если момент качания слишком маленький, то прикладывают дополнительное давление. В том случае, если значение велико, его снижают с помощью термического воздействия (термостабилизации) [54].

Данные флуктуации момента качания могут быть снижены за счет использования составной конструкции корпуса, состоящего из двух частей. При сборке шарнир удерживается в собранном состоянии с помощью регулируемой

осевой силы (при этом используется система управления с моментом качания на входе и осевой силой на выходе), и составные части корпуса соединяются с помощью лазерной сварки. В данном случае установлено резиновое опорное кольцо 4 между корпусом и вкладышем, исключая зазор в шарнире даже после длительного периода эксплуатации. Еще одним назначением опорного кольца является гашение высокочастотных вибраций, передающихся от опорной поверхности дороги через рулевые тяги. Кроме способности гашения вибраций, рулевые наконечники должны оставаться достаточно жесткими при значительных нагрузках. Поэтому любой резиновый виброизолирующий элемент должен охватываться корпусом. В противном случае страдает точность управления автомобилем [57,58]. На наружной поверхности корпуса имеются лыски под ключ для монтажа/демонтажа в рейку и вентиляционные пазы на наружной поверхности корпуса или резьбового хвостовика. На стержне пальца внутреннего наконечника имеются канавки для установки защитного чехла, поверхность прямой шестигранной призмы и резьба для регулировки схождения колес. Для защиты резьбы в процессе транспортировки внутреннего наконечника или при монтаже в состав рулевого управления предусмотрен защитный колпак.

Допустимый диапазон температур, как правило, от -40°C до $+85^{\circ}\text{C}$ для наружного рулевого наконечника. Для внутреннего рулевого возможно кратковременное повышение рабочей температуры до $+120^{\circ}\text{C}$. Если расчетные нагрузки и температуры выше указанных, вкладыш, который является наименее прочным компонентом любого шарового шарнира, может быть выполнен не из POM (polyoxymethylene – полиоксиметилена), а из РЕЕК (polyether ether ketone – кетон полиэфир эфира). РЕЕК способен выдерживать на 20% большие нагрузки и температуры до 120°C . Более высокая цена материала, необходимые в данном случае более узкие поля допусков размеров корпуса, применение специальной синтетической смазки, используемой с РЕЕК, приводит к значительному повышению цены изделия [54].

В данной работе в качестве примера рассмотрен процесс проектирования составных частей рулевой тяги: наружного и внутреннего рулевых наконечников автомобиля.

1.4 Выводы по главе. Постановка цели и задач исследования

1. Качество продукции является основным инструментом конкурентной борьбы в условиях глобального рынка. Целью серии стандартов ISO 9000 и разработанного на ее основе отраслевого стандарта IATF 16949 является разработка такой СМК организации, которая обеспечивала бы стабильно высокое качество продукции. Основой указанных стандартов являются процессный подход и риск-ориентированное мышление. Процесс проектирования продукции неотъемлемой частью ее жизненного цикла и наиболее наукоемким процессом, постоянно испытывающим потребность в знаниях, их накоплении, систематизации и непрерывном пополнении;

2. Достижение целей по качеству продукции возможно при выполнении требований вышеуказанных стандартов, особенно в части процесса проектирования продукции. Эти требования направлены на предотвращение ошибок при проектировании. В этой связи организации необходимо реализовать требования стандартов, базируясь на специфичных знаниях, необходимых для проектирования продукции, которые организация должна определять, поддерживать в необходимом объеме, обеспечивать их доступность для всех участников процесса проектирования, пополнять, актуализировать и аккумулировать в виде документированной информации. Особо стоит отметить, что знания организации должны служить не только для проектирования продукции, но и являться базой для обеспечения компетентности ее сотрудников;

3. Организация должна разработать, внедрить и поддерживать процесс проектирования, обеспечивающий минимизацию ошибок и подходящий для обеспечения последующего производства продукции. При этом организация должна учитывать все особенности планирования процесса проектирования, обеспечивать полноту входных данных проектирования и их адекватность целям

проектирования, иметь процесс развертывания информации, полученной из предыдущих проектов, использовать многофункциональный подход для установления и документирования специальных характеристик продукции, применять средства управления процессом проектирования, выполнять верификацию и валидацию продукции в соответствии с требованиями потребителя, обеспечивать соответствие выходных данных проектирования входным требованиям.

4. Выполнение требований стандартов затруднено ввиду отсутствия методики реализации этих требований. В этой связи актуальной является задача стандартизации процесса проектирования для обеспечения заданного уровня качества продукции. Знания организации предлагается аккумулировать в методику проектирования продукции на примере рулевых наконечников автомобиля, выполненной в виде многоуровневой структуры документированной информации, направленной на повышение эффективности процесса проектирования за счет снижения сроков проектирования и вероятности конструкторских ошибок посредством применения стандартизированных конструкторских решений.

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

Задачи исследования:

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 и внутренних 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.

ГЛАВА 2. СТАНДАРТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПРОЕКТИРОВАНИЯ НАРУЖНЫХ И ВНУТРЕННИХ РУЛЕВЫХ НАКОНЕЧНИКОВ И СОЗДАНИЕ МНОГОУРОВНЕВОЙ СТРУКТУРЫ ДОКУМЕНТИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИИ

2.1 Анализ и классификация технических требований к рулевым наконечникам автомобиля, предъявляемых отечественными и зарубежными автопроизводителями

Как отмечалось ранее, шаровые шарниры шасси автомобиля, в частности, шарниры рулевого управления автомобиля, являются ответственными узлами, поскольку потеря их работоспособности влечет создание аварийных ситуаций с угрозой безопасности конечного потребителя, а также вызывает дискомфорт потребителя в процессе управления транспортным средством [50,53].

В этой связи, шаровые шарниры подвески и рулевого управления автомобиля должны соответствовать комплексу технических требований, регламентированных в следующих нормативных документах:

1. ГОСТ Р 52433-2005 «Автомобильные транспортные средства. Шарниры шаровые. Технические требования и методы испытаний» [59];
2. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 018/2011 «О безопасности колесных транспортных средств» [60];
3. Технические спецификации заказчиков OEM-уровня (original equipment manufacturer — «оригинальный производитель оборудования», в данном случае — «производитель автомобилей») [61].

Следует отметить, что ГОСТ Р 52433-2005 и Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 018/2011 являются более общими документами, в отличие от технических спецификаций OEM-заказчиков. Требования к прочности, функциональности и эксплуатационной надежности отражены не в полном объеме. Руководствуясь лишь этими документами, велика вероятность того, что при проектировании возможно упустить важные параметры, что может привести к потере работоспособности изделий.

Техническая спецификация заказчика OEM-уровня [61] представляет собой комплекс технических требований и методов испытаний, которые необходимо выполнить, чтобы выпускать продукцию на регламентируемом уровне. Техническая спецификация является неотъемлемой частью согласованного между заказчиком и поставщиком габаритного чертежа. Техническая спецификация может содержать в себе ссылки на другие нормативные документы или другие спецификации.

Для начала поставки изделий заказчику производитель обязан провести весь комплекс испытаний для подтверждения выполнения требований, указанных в спецификации. Результат испытаний должен быть положительный. Лишь в этом случае продукция считается удовлетворяющей заданному уровню качества. Допускаются незначительные отклонения, но они должны быть согласованы между поставщиком и потребителем. Обычно техническая спецификация описывает требования к группе узлов (например, к рулевым наконечникам, к шаровым опорам, к стойкам стабилизатора). Величины испытательных нагрузок или иных параметров, применяемых для подтверждения конструкции и проверки процесса, чаще всего указываются потребителем в согласованном чертеже или определяются в спецификации в зависимости от диаметра сферы пальца. Испытательные нагрузки могут быть реальными данными, определенными с помощью специального оборудования в составе подвески или рулевого управления транспортного средства или теоретическими (расчетными) нагрузками. Испытательные нагрузки указываются в габаритном чертеже изделия и, при необходимости, транслируются в рабочих чертежах комплектующих. Допускается проведение дополнительных испытаний, не указанных в спецификации, инициированной поставщиком, в том случае, если поставщик докажет корреляцию между испытанием и возможным появлением дефекта [61].

Для подтверждения выполнения всех требований хранения и учета результатов испытаний в сводной форме, между заказчиком и поставщиком автокомпонентов согласовывается План испытаний. Испытания проводятся в два

этапа – Design Validation (прототип/серийный инструмент) и Process Verification (серийный инструмент / серийный процесс) [21,22].

Технические спецификации ведущих OEM-заказчиков (Robert Bosch Automotive Steering, Renault, Ford и др.) структурно и содержательно похожи и отличия несущественны. Формально могут быть скомпонованы в один документ или представлять собой комплекс документов.

Все технические требования спецификации можно классифицировать на четыре группы, с учетом порядка их выполнения (таблица П.1.1, Приложение 1). Не обеспечив требования предыдущей группы, выполнение требований последующей группы не имеет смысла, поскольку конструкция не будет работоспособна.

1. Требования безопасности – комплекс технических требований и методов испытаний, связанных с прочностью изделия в сборе или его отдельных комплектующих. Все требования этой группы должны быть строго выполнены в первую очередь. Отклонение от этих требований приводит или потенциально может привести к критическому отказу транспортного средства с угрозой для жизни и здоровья окружающих;

2. Функциональные требования – комплекс технических требований и методов испытаний, связанных с функциональными свойствами изделия в сборе. Отклонения от этих требований обнаруживаются сразу после сборки изделия с помощью несложных и непродолжительных замеров и являются своего рода индикаторами выполнения технологического процесса и могут привести к полной или частичной потере работоспособности транспортного средства / системы, узла, или изделия, а также оказывают значительное влияние на ресурс или срок службы или вызывают ухудшение восприятия транспортного средства потребителем;

3. Требования эксплуатационной надежности – комплекс технических требований и методов испытаний, связанных с ресурсом изделия в сборе. Применяются после выполнения требований первой и второй группы. Отклонения от этих требований обнаруживаются, как правило, после сложных и длительных

испытаний. Требования связаны в основном с износостойкостью, герметичностью и коррозионной стойкостью изделия в сборе;

4. Прочие – комплекс технических требований, описывающих порядок хранения испытанных изделий, объём периодических испытаний серийной продукции, маркировку и др.

Из первой группы требований можно выделить ряд основных – их необходимо подтвердить на стадии проектирования расчетными методами:

- вырыв пальца шарового из корпуса;
- выдавливание пальца шарового из корпуса наружного наконечника;
- изгибная прочность пальца шарового наружного наконечника;
- усталостная долговечность пальца шарового наружного наконечника;
- устойчивость тяги в сборе под действием сжимающей силы;
- прочность тяги в сборе на разрыв под действием растягивающей силы.

Если расчет затруднителен, возможно изготовление опытных образцов для подтверждения в условиях эксперимента (испытания).

Техническая спецификация является входными данными для процесса проектирования и, в совокупности с габаритным чертежом или эскизом, в значительной степени определяют все конструктивные решения.

В Приложении 1 выполнен анализ технических требований двух OEM-заказчиков (потребителей), а также ГОСТ Р 52433-2005 и Технического регламента Таможенного союза ТР ТС 018/2011. На основании анализа 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 приведен в таблице 2.1. В Приложении 1 предпочтительные требования имеют ранг 3 (зеленый цвет), неполные требования имеют ранг 2 (желтый цвет), отсутствие требований – ранг 1 (красный цвет). В таблицу 1.1 включены требования с наивысшим рангом.

Таблица 2.1 – Комплекс технических требований для проектирования наружных (OTR) и внутренних (ITR) рулевых наконечников

Классификационная группа требований	Требование	Изделие	Принадлежность
Требования безопасности	Нормирование размера зерна аустенита металлических компонентов Austenite grain size	ITR, OTR	OEM №1
	Нормирование чистоты (неметаллических включений) металлических компонентов Purity (non metallic inclusions)	ITR, OTR	OEM №1
	Отсутствие внутренних дефектов Internal defects and surface condition	ITR, OTR	OEM №1
	Устойчивость тяги в сборе при сжатии Buckling force	ITR+OTR	OEM №1
	Прочность тяги при растяжении Pulling force	ITR+OTR	OEM №1
	Ударная прочность тяги в сборе Tie Rod End Assembly Impact Test	ITR+OTR	OEM №2
	Вязкость материала стержня рулевой тяги	ITR+OTR	ГОСТ Р 52433-2005
	Усилие вырыва пальца из корпуса Pull-out force of the joint	ITR, OTR	OEM №1
	Усилие выдавливания пальца из корпуса Press-out force of the joint	ITR, OTR	OEM №1
	Работоспособность тяги в сборе при моделировании «отталкивания от бордюра» Setting properties under maximum loading (kerb push-off test)	ITR+OTR	OEM №1
	Изгибная прочность пальца шарового Testing of ball stud bending	OTR	OEM №2
	Ударная прочность шарового пальца Ball Stud Bending Impact Test	OTR	OEM №2
	Работоспособность тяги в сборе при моделировании рабочей нагрузки в составе автомобиля Operating-load simulation test complete tie rod in the car	ITR+OTR	OEM №1
	Работоспособность тяги в сборе при моделировании рабочей нагрузки на тестовой установке Operating-load simulation test complete tie rod on test rig	ITR+OTR	OEM №1
	Усталостная долговечность шарового пальца наружного наконечника Single stage fatigue test	OTR	OEM №1
	Усталостная долговечность наружного наконечника в сборе Durability Test	OTR	OEM №2
	Усталостная долговечность тяги в сборе Tie Rod and Outer Ball Joint Assembly Fatigue Test	ITR+OTR	OEM №2
	Нормирование твердости корпуса и пальца внутреннего наконечника в осевом сечении	ITR	OEM №1
	Прочность резьбы внутреннего наконечника Test of thread strength	ITR	OEM №1
	Работоспособность тяги в сборе при моделировании торможения на дороге типа «стиральная доска» Braking on washboard road	ITR+OTR	OEM №1
Требование к осевому перемещению шарового пальца OTR при затяжке в ответной детали Ball Stud Pull-up Test	OTR	OEM №2	

	Требование к осевому перемещению пальца с нанесенной на конус смазкой Ball joint Pull-Up With Greased Taper	OTR	OEM №2
--	--	-----	--------

Продолжение таблицы 2.1

Функциональные требования	Требование к максимальному углу качания пальца	ITR, OTR	определены везде
	Работоспособность при действии рабочих температур / Парковка Operating temperature / Parking test	ITR+OTR	OEM №1
	Грузоподъемность вкладыша Ball joint Bearing Load Capacity Test	OTR	OEM №2
	Подвижность шарнирного соединения Testing of joint movability	ITR, OTR	OEM №1, OEM №2
	Момент вращающего пальца шарового при различных температурах Stud Rotating Torque at Temperature	ITR, OTR	OEM №2
	Требование к скольжению поверхности сферы в шарнире Stick Slip Test, Inner Tie Rod Stick-Slip Noise Test	ITR, OTR	OEM №2
	Поведение уплотнительной системы при вращении Rotation behavior of the sealing system	OTR	OEM №1
	Герметичность уплотнительной системы под давлением воздуха Dust Seal Air Pressure Test	OTR	OEM №2
	Требование к удержанию чехла под действием внешней силы Dust Seal Retention Test	OTR	OEM №2
	Герметичность закатного соединения Pressure test of housing cover	OTR	OEM №1
	Требования к эксплуатационной надежности	Требование к износостойкости шарнира Testing of joint wear	ITR, OTR
Требование к вибрационной нагрузке внутреннего наконечника Inner ball joint Fatigue / Micro Vibration Test		ITR	OEM №2
Герметичность шарнира при моделировании окружающей среды Environmental simulation		OTR	OEM №2
Герметичность шарнира при термическом ударе Temperature shock test		OTR	OEM №2
Податливость чехла при отрицательных температурах Dust Seal Cold Flexibility Test		OTR	OEM №2
Требование к функционированию уплотнительной системы Sealing bellows function test		OTR	OEM №1
Герметичность шарнира при воздействии струи воды высокого давления High pressure (HP) cleaner test		OTR	OEM №1
Коррозионная стойкость Corrosion-protection test		ITR, OTR	OEM №2
Прочие требования	Требование к идентификационной маркировке Marking	ITR, OTR	по требованию потребителя
	Требование к упаковке Packaging	ITR, OTR	OEM №2
	Требование к отсутствию заусенцев No sharp edges or burrs	ITR, OTR	OEM №2
	Требования к материалу защитного чехла Sealing bellows	OTR	OEM №1
	Требование к усилию снятия защитного колпака Protection Cap Pull Off Test	OTR	OEM №2
	Моменты затяжки резьбовых соединений Tightening torques	ITR, OTR	OEM №1
	Соблюдение экологических требований/переработка	ITR, OTR	OEM №2

	Environmental compliance /recycling		
	Требование к проведению периодических испытаний Tests beside series production	ITR, OTR	OEM №1

2.2 Систематизация процесса проектирования наружных и внутренних рулевых наконечников

2.2.1 Представление процесса проектирования в виде системы

Процесс проектирования продукции является системой, т.е. совокупностью элементов, находящихся в определенных отношениях друг с другом и со средой и обладает всеми ее свойствами [62,63].

Процесс проектирования содержит элементы и связи, имеет цель и наблюдателя, принимающего решения (в данном случае, инженер-конструктор).

Простейшим случаем выделения процесса проектирования из среды является определение процесса проектирования в виде структуры через входы и выходы. Процесс проектирования в этом случае является «черным ящиком». Входом в систему являются входные данные для проектирования (техническое задание (ТЗ), эскиз, технические требования к объекту проектирования и т.д.). Выходом из системы является документация на объект проектирования (конструкторская документация (КД), технические условия (ТУ) и т.д.). По выходным данным можно воспроизвести объект проектирования, в данном случае, создать физическое изделие.

Составной частью процесса проектирования является компонент. В данном случае под компонентом процесса проектирования подразумевается действие инженера-конструктора, итерационно приближающее систему к своей цели и имеющее подцель. Между компонентами процесса проектирования есть определенные связи. Составными частями компонентов являются элементы – простейшая неделимая часть системы. В данной работе с целью упрощения анализа процесса проектирования структура системы представлена в виде совокупности компонентов без ее отягощения разбиением на элементы.

Свойства процесса проектирования как системы, следующие:

Целостность системы – интегративное свойство процесса проектирования, означающее, что каждый элемент системы вносит вклад в реализацию целевой функции системы. Целостность проявляется в том, что система обладает собственной закономерностью функциональности, собственной целью.

Организованность – свойство систем процесса проектирования, заключающееся в наличии структуры и функционирования (поведения).

Функциональность – это проявление определенных свойств (функций) при взаимодействии с внешней средой. Здесь же определяется цель (назначение системы) как желаемый конечный результат.

Структурность – это упорядоченность системы, определенный набор и расположение элементов со связями между ними. Между функцией и структурой системы существует взаимосвязь. Изменение содержания (функций) влечет за собой изменение формы (структуры), и наоборот.

Важным свойством системы является наличие *поведения*. *Поведение системы* – это процесс целенаправленного изменения во времени состояния системы. Поведение системы связано со средой (окружающей), т.е. с другими системами с которыми она входит в контакт или вступает в определенные взаимоотношения. В отличие от управления, когда изменение состояния системы достигается за счет внешних воздействий, поведение реализуется исключительно самой системой, исходя из собственных целей. Поведение каждой системы объясняется структурой систем низшего порядка, из которых состоит данная система, и наличием признаков равновесия (гомеостаза). В соответствии с признаком равновесия система имеет определенное состояние (состояния), которое является для нее предпочтительным. Поэтому поведение систем описывается в терминах восстановления этих состояний, когда они нарушаются в результате изменения окружающей среды.

Еще одним свойством является свойство *роста (развития)*. Развитие можно рассматривать как составляющую часть поведения (при этом важнейшим). В результате возникает новое качество или состояние объекта. Поведение системы определяется характером реакции на внешние воздействия. Фундаментальным

свойством систем является устойчивость, т.е. способность системы противостоять внешним возмущающим воздействиям. От нее зависит продолжительность жизни системы. Простые системы имеют пассивные формы устойчивости: прочность, сбалансированность, регулируемость, гомеостаз. Для сложных определяющими являются активные формы: надежность, живучесть и адаптируемость. Если перечисленные формы устойчивости простых систем (кроме прочности) касаются их поведения, то определяющая форма устойчивости сложных систем носят в основном, структурный характер.

Надежность – свойство сохранения структуры систем, несмотря на удаление отдельных её элементов с помощью их замены или дублирования, а живучесть – как активное подавление вредных качеств. Таким образом, надежность является более пассивной формой, чем живучесть.

Адаптируемость – свойство изменять поведение или структуру с целью сохранения, улучшения или приобретения новых качеств в условиях изменения внешней среды. Обязательным условием возможности адаптации является наличие обратных связей. Всякая реальная система существует в среде. Связь системы и среды бывает настолько тесной, что определять границу между ними становится сложно. Поэтому выделение системы из среды связано с той или иной степенью идеализации. Можно выделить два аспекта взаимодействия [62,63]:

- во многих случаях принимает характер обмена между системой и средой (веществом, энергией, информацией);
- среда обычно является источником неопределенности для систем. Воздействие среды может быть пассивным либо активным (антагонистическим, целенаправленно противодействующим системе). Поэтому в общем случае среду следует рассматривать не только как безразличную, но и антагонистическую по отношению к исследуемой системе.

2.2.2 Создание алгоритма процесса проектирования наружных и внутренних рулевых наконечников автомобиля

Процесс проектирования наружных и внутренних рулевых наконечников автомобиля следует рассматривать в виде системы последовательных операций, т.е. алгоритма, учитывая специфику проектирования автокомпонентов подвески и рулевого управления автомобиля. Процесс проектирования рулевых наконечников автомобиля и с учетом фаз процедуры APQP [20-22] можно представить в виде трех последовательных стадий:

Стадия 1: Разработка концепции изделия и создание прототипов. Стадия 1 начинается с запроса на предложение цены/информации (RFQ/RFI) и оканчивается согласованием габаритного (сборочного) чертежа с потребителем на прототипы. При этом, к концу Стадии 1, с субпоставщиками должны быть согласованы все технические требования к прототипам комплектующих;

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. При этом, к концу Стадии 2, с субпоставщиками должны быть согласованы все технические требования к предсерийным комплектующим рулевых наконечников;

Стадия 3: Верификация процесса (Process Verification). Стадия 3 начинается с получения предсерийных комплектующих от субпоставщиков и оканчивается согласованием габаритного (сборочного) чертежа с потребителем на серийные изделия. После согласования габаритного (сборочного) чертежа с потребителем на серийные изделия и начала серийного производства (SOP) процесс проектирования заканчивается.

Стадия 1 процесса проектирования для наружного и внутреннего рулевых наконечников автомобиля начинается с получения запроса на предложение цены/информации (RFQ/RFI) и формирования проектной команды.

Входными данными (ВХОД 1) для внутреннего анализа конструкции является:

- Документация, полученная в запросе RFQ/RFI (техническое задание; габаритный чертёж; технические условия; инженерные спецификации и т.д.);
- Нормативно-техническая документация (ГОСТ, DIN, ISO, научно-техническая литература);
- База прошлых проблем / «выученных уроков» по аналогичной продукции;
- Законодательные требования, предъявляемые к продукции;
- Электронные базы данных конструкторской документации (ЭБКД) и научно-технической документации (ЭБНТД), дополнительная информация по решению главного конструктора.

Входные данные аккумулируются для проведения внутреннего анализа конструкции.

На рисунке 2.1. представлен алгоритм процесса проектирования на Стадии 1: Разработка концепции изделия и создание прототипов наружных и внутренних рулевых наконечников автомобиля.

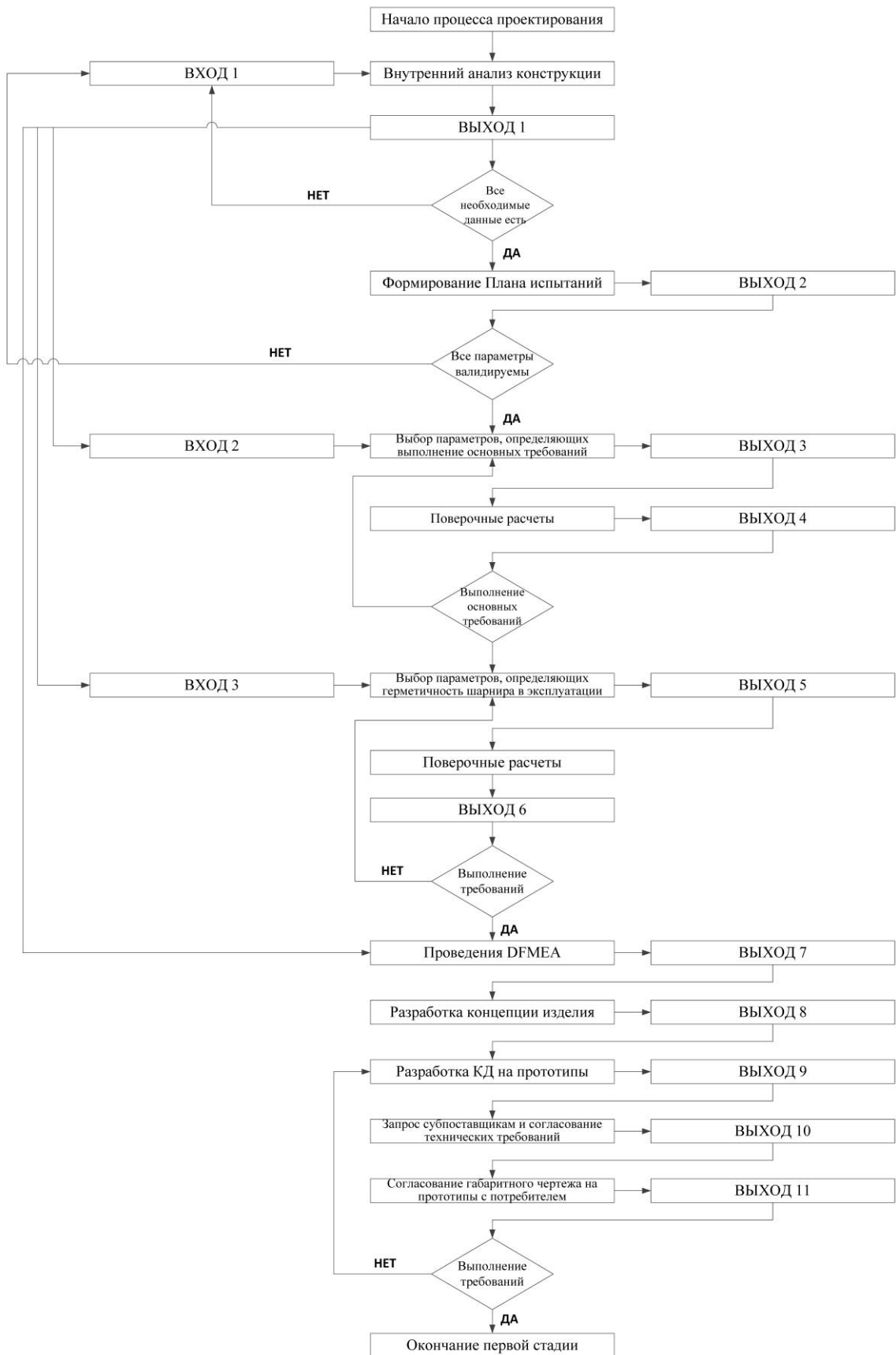


Рисунок 2.1 – Алгоритм процесса проектирования на Стадии 1: Разработка концепции изделия и создание прототипов наружных и внутренних рулевых наконечников автомобиля

В процессе формирования входных данных для внутреннего анализа конструкции осуществляется:

- Анализ входных данных;
- Сравнение технических требований с требованиями аналогичных проектов;
- Определение и получение недостающих или неполных данных;
- Формулирование основных технических решений;
- Формирование перечня комплектующих с указанием возможности унификации;
- Формирование и обсуждение открытых вопросов с членами проектной команды, с потребителем и потенциальными субпоставщиками.

В процессе проведения внутреннего анализа конструкции производится: структурный синтез, заключающийся в определении перечня комплектующих рулевых наконечников и способа их связи между собой, подробное изучение технических требований, предварительные размеры комплектующих, применяемые материалы в зависимости от указанных в технических требованиях условий работы изделий, покрытия, перечень специальных характеристик с целью определения возможности исполнения изделия в рамках указанных потребителем технических требований и возможность унификации комплектующих.

В процессе анализа технических требований и возможности их выполнения осуществляется (ВЫХОД 1):

- Разработка необходимых 3D-моделей изделия (детализировка и сборка);
- Разработка предварительной КД для комплектующих изделий и узлов в сборе. Предварительная КД может включать в себя спецификацию, сборочный и габаритный чертежи, рабочие чертежи комплектующих. В поле основной надписи чертежа указывается литера «О»;
- Разработка Матрицы соответствия (Compliance Matrix), в которой указываются все технические требования потребителя и специальные характеристики. Напротив каждого пункта Матрицы соответствия указывается статус (возможность) выполнения (цветовая «система светофора»: «ОК» / «NOK» / «TBD – to be discuss»). Матрица соответствия согласовывается с потребителем;

- Разработка перечня НТД, необходимой для проектирования данных изделий.

В случае отсутствия необходимых входных данных, понимания некоторых технических требований или в случае необходимости уточнения возможности выполнения требований инженер-конструктор направляет соответствующие запросы потребителю с целью получения всей необходимой и достаточной информации для проведения внутреннего анализа конструкции.

Следующим этапом является формирование Плана испытаний для определения сроков их проведения и согласования с потребителем (ВЫХОД 2). Программа испытаний должна содержать перечень испытаний с указанием сроков проведения и целевых значений характеристик, направленных на подтверждение технических требований, т.е. на верификацию конструкции. По результатам внутреннего анализа конструкции и формирования Плана испытаний определяется возможность проведения испытаний в условиях поставщика, субпоставщика или в условиях сторонних организаций. В случае, если все испытания осуществимы, проектной командой принимается решение о дальнейшей работе по проекту (ВЫХОД 2). В случае наличия каких-либо непреодолимых препятствий проектная команда вынуждена проводить переговоры с потребителем о возможности изменения технических требований или изменении методов проведения испытаний.

В случае разрешения всех вопросов процесс проектирования продолжается выбором параметров конструкции, определяющих выполнение основных прочностных требований (параметрический синтез).

Параметрический синтез заключается в определении:

- числовых значений геометрических параметров комплектующих рулевых наконечников;
- допусков параметров компонентов рулевых наконечников.

Выбранные геометрические параметры комплектующих рулевых наконечников (ВЫХОД 3) должны обеспечивать, с одной стороны, кинематику

работы шарнира и взаимодействие с ответными и окружающими деталями, с другой, требуемую прочность и жесткость.

Выбранные в ходе параметрического синтеза геометрические параметры, определяющие выполнения основных прочностных требований, подтверждаются комплексом поверочных расчетов, если это возможно. Поверочные расчеты производятся с целью минимизации физических экспериментов на прототипах. Если расчеты затруднены, можно воспользоваться информацией, полученной из предыдущих проектов, анализа конкурирующих продуктов (бенчмаркинга), обратной связи с субпоставщиками, данных из эксплуатации и других значимых источников. В таком случае, в качестве входных данных для этого этапа может выступать комплекс видеоинструкций для проведения поверочных расчетов.

Для наружного рулевого наконечника выполняется следующий комплекс расчетов:

- расчет размерных цепей для обеспечения необходимых посадок в сопряжении шарнира;
- расчет усилия вырыва пальца шарового из корпуса;
- расчет усилия выдавливания пальца шарового из корпуса;
- расчет шарового пальца на изгиб;
- расчет шарового пальца на усталостную долговечность;

Для внутреннего рулевого наконечника выполняется следующий комплекс расчетов:

- расчет размерных цепей для обеспечения необходимых посадок в сопряжении шарнира;
- расчет усилия вырыва пальца шарового из корпуса;
- расчет угла качания пальца шарового в деформированном корпусе.

Для тяги в сборе:

- расчет тяги в сборе на растяжение и устойчивость.

После подтверждения поверочными расчетами правильности выбора параметров (ВЫХОД 4), определяющих основные требования, для наружного

рулевого наконечника выбираются параметры (ВЫХОД 5), определяющие герметичность шарнира в эксплуатации (т.е. его эксплуатационную надежность).

Для внутреннего рулевого наконечника этот этап проводится в случае необходимости, поскольку чаще всего герметичность шарнира внутреннего рулевого наконечника является зоной ответственности поставщика рулевого механизма. Необходимое численное моделирование с целью подтверждения рациональности выбора параметров, определяющих герметичность шарнира, является ВЫХОДОМ 6.

Следующими обязательными этапами являются проведение Design Failure Mode and Effects Analysis (DFMEA) для учета возможных рисков и последствий потенциальных отказов (ВЫХОД 7). Целью DFMEA является определение функций изделия и его комплектующих и связанные с ними потенциальные виды отказов, вызывающих наибольший риск для потребителя, последствия и причины отказов, а также внесение изменений в конструкцию изделия, которые бы позволили снизить такой риск. Кроме того, DFMEA используется для оценки достаточности уже запланированных мер управления по предупреждению и обнаружению потенциальных отказов и для рекомендации дополнительных действий. DFMEA документирует и отслеживает действия, которые предпринимаются для снижения риска. Методология DFMEA позволяет определить приоритеты и сфокусироваться на предупреждении (предотвращении) возникновения проблем с конечным продуктом.

После проведения DFMEA окончательно формируется концепция будущих изделий (ВЫХОД 8), разрабатывается КД на прототипы (ВЫХОД 9). В КД должны содержаться все необходимые технические требования, включая специальные характеристики. После согласования всех технических требований и КД с субпоставщиками, с одной стороны, и с потребителем, с другой (ВЫХОД 10, ВЫХОД 11), Стадия 1 процесса проектирования завершается.

Стадия 2 процесса проектирования для наружного и внутреннего рулевых наконечников автомобиля, алгоритм которой показан на рисунке 2.2, начинается с получения прототипов комплектующих (ВХОД 4).

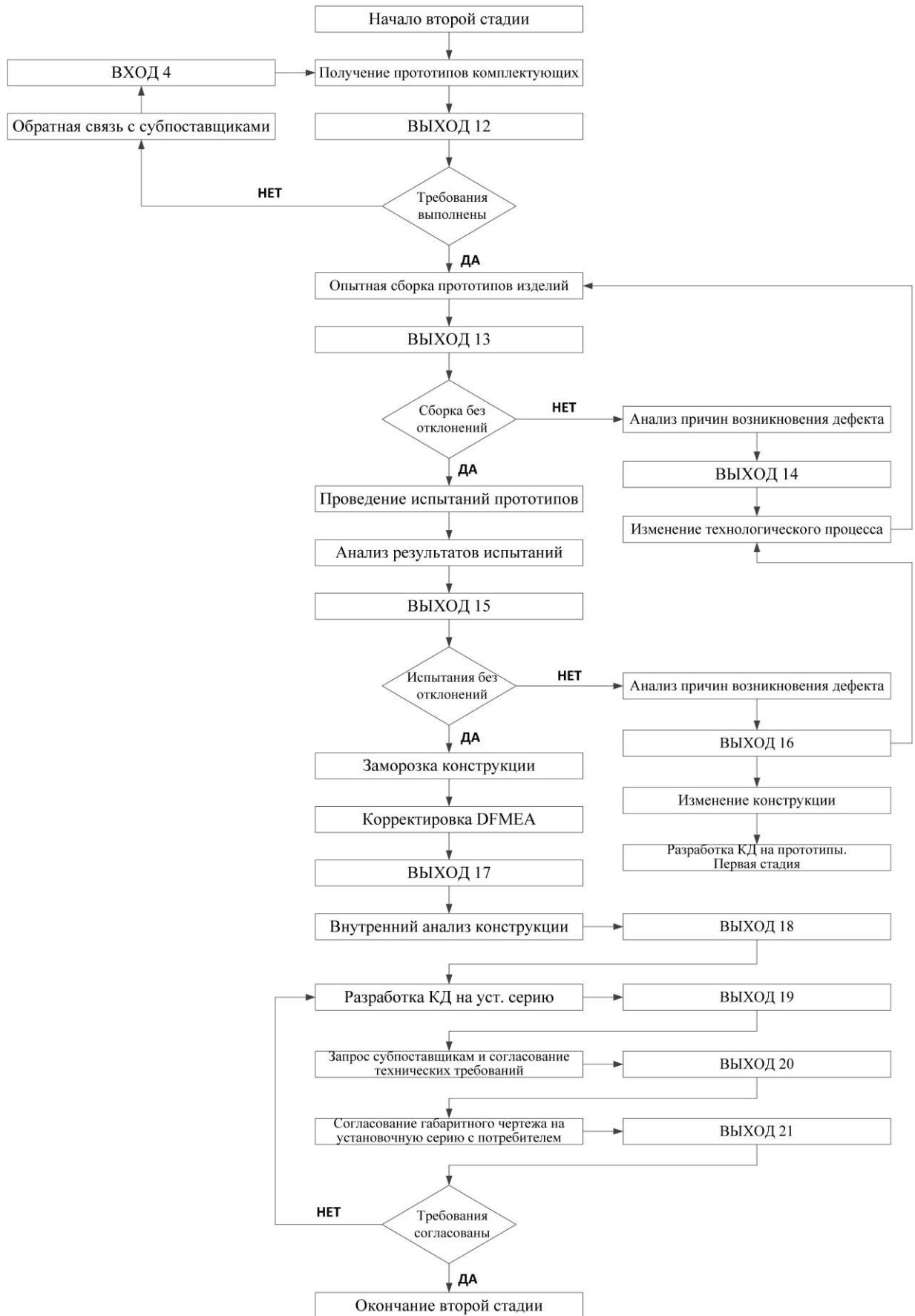


Рисунок 2.2 – Алгоритм процесса проектирования на Стадии 2: Валидация конструкции (Design Validation)

Прототипы комплектующих проверяются на предмет соответствия КД на прототипы. По результатам проведения проверки формируется Карта замеров (Dimensions and property report), где указывается соответствие геометрических размеров комплектующих, химического состава и механических свойств используемых материалов требованиям КД. Напротив каждого размера или требования КД в Карте замеров указывается статус выполнения (цветовая «система светофора»: «ОК» / «NOK» / «TBD»). Карта замеров направляется субпоставщикам в случае необходимости или наличия спорных вопросов или отклонений прототипов комплектующих от КД на прототипы (ВЫХОД 12).

В случае отсутствия замечаний к прототипам комплектующих осуществляется опытная сборка прототипов изделий. В случае наличия отклонений от КД на прототипы выполняется анализ причин возникновения несоответствия (ВЫХОД 14) и при необходимости вносятся изменения в технологический процесс. После этого опытная сборка выполняется повторно.

После успешной сборки прототипов изделий проводятся испытания прототипов согласно Плану испытаний. По окончании испытаний проводится анализ их результатов (ВЫХОД 15). В случае возникновения в процессе испытаний отказа по результатам анализа должна быть определена корневая причина его возникновения (ВЫХОД 16). Корневая причина может быть связана с конструкцией или с технологией изготовления. Если корневая причина связана с конструкцией, производится возврат к разработке КД на прототипы Стадии 1 и вносятся необходимые изменения в конструкцию. Если корневая причина связана с технологией изготовления, проводится сборка прототипов изделий повторно или вносятся изменения в режимы механической обработки комплектующих и т.д.

После получения положительных результатов испытаний происходит «заморозка» конструкции. Какие-либо существенные изменения конструкции после этого не допускаются.

После «заморозки» конструкции и по результатам испытаний производится корректировка DFMEA (ВЫХОД 17) и производится внутренний анализ конструкции, где указывается весь ход работы с прототипами, наличие каких-либо

отклонений, результаты анализа испытаний, ход установления корневой причины отказа и т.д. (ВЫХОД 18).

Далее, разрабатывается КД на установочную серию продукции (ВЫХОД 19). В поле основной надписи чертежей указывается литера «О₁». Аналогично Стадии 1, после согласования всех технических требований и КД с субпоставщиками, с одной стороны, и с потребителем, с другой (ВЫХОД 20, ВЫХОД 21), Стадия 2 процесса проектирования завершается.

Стадия 3 процесса проектирования, алгоритм которой изображен на рисунке 2.3, аналогична Стадии 2, за исключением некоторых особенностей:

- после получения комплектующих установочной серии, их проверки на предмет соответствия КД на установочную серию, проведения опытной сборки и испытаний какие-либо существенные изменения в конструкцию уже не вносятся. На Стадии 3 комплектующие получены уже из серийной оснастки и ее изменение может повлечь за собой не только срыв сроков проекта и репутационные потери, но и существенные затраты;

- При разработке КД на серийную продукцию в основной надписи чертежей указывается литера «А», что свидетельствует о том, что КД является окончательной и соответствует серийной продукции.

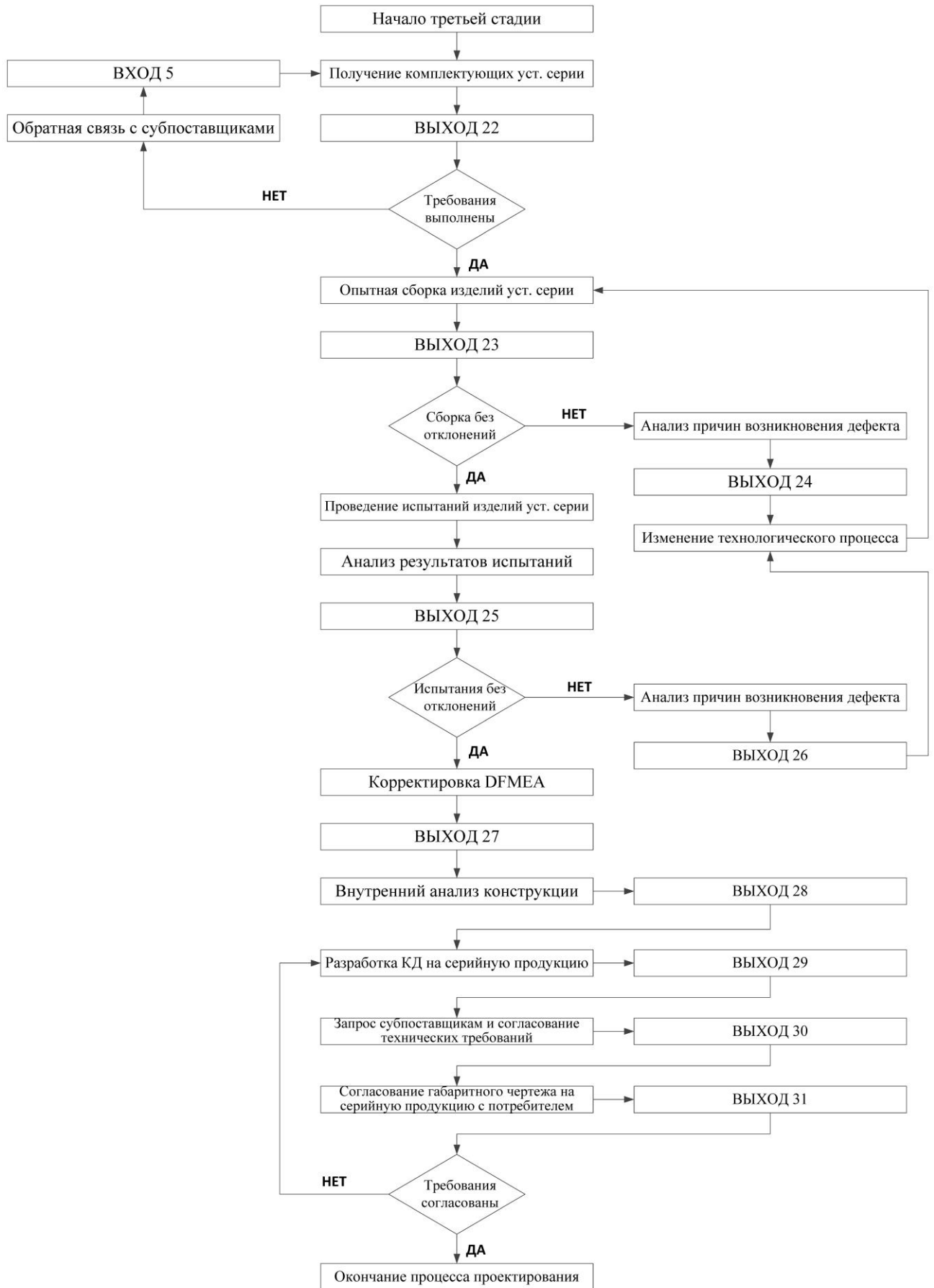


Рисунок 2.3 – Алгоритм процесса проектирования на Стадии 3: Верификация процесса (Process Verification)

По результатам систематизации процесса проектирования можно сделать вывод, что в процесс проектирования пошагово определен. Каждый компонент алгоритма является подсистемой и имеет вход и выход. Любой компонент алгоритма является «черным ящиком» [62,63]. 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, целесообразно произвести селекцию.

На основе разработанного алгоритма создан стандарт предприятия АО НПО «БелМаг» СТП-ОГК 8.3-02.1 «Управление проектированием продукции: рулевые наконечники автомобиля», включающих карту процесса и порядок его выполнения, а также требования к входным и выходным данным компонентов алгоритма.

2.3 Селекция компонентов алгоритма процесса проектирования наружных и внутренних рулевых наконечников

Произведем селекцию компонентов алгоритма с точки зрения возможности упорядочения деятельности внутри этих компонентов [64]. Для каждого компонента алгоритма оценим возможность стандартизации (таблица 2.2), исходя из следующего:

- 1) возможность упорядочивания работы с помощью создания стандартных форм документации;
- 2) возможность упорядочивания работы с помощью создания последовательности действий в виде методических инструкций;
- 3) возможность упорядочивания работы с помощью создания видеоинструкций;
- 4) возможность упорядочивания деятельности с помощью созданий стандартных шаблонов КД.

Таблица 2.2 – Селекция компонентов алгоритма процесса проектирования

Компонент алгоритма	Объекты для последующей стандартизации	Статус для последующей стандартизации ДА – стандартизация осуществляется НЕТ – в стандартизации нет необходимости
Стадия 1: Разработка концепции изделия и создание прототипов наружных и внутренних рулевых наконечников автомобиля		
Внутренний анализ конструкции	Последовательность анализа на Стадии 1; Стандартная форма для оформления отчета о внутреннем анализе конструкции	ДА
План испытаний	- стандартная форма для оформления Плана испытаний	ДА
Выбор параметров, определяющих выполнение основных требований (параметрический синтез)	- порядок разработки конструкции для выполнения основных требований	ДА
Поверочные расчеты	- порядок проведения поверочных расчетов	ДА
Выбор параметров, определяющих герметичность шарнира в эксплуатации (параметрический синтез)	- порядок разработки конструкции для выполнения требований к герметичности	ДА
Поверочные расчеты	- порядок проведения поверочных расчетов	ДА
Проведение DFMEA	- стандартная форма DFMEA	ДА
Разработка концепции изделия	не требуется	НЕТ
Разработка КД на прототипы	Шаблоны рабочих чертежей, сборочных и габаритных чертежей, спецификаций	ДА
Запрос субпоставщикам и согласование технических требований	не требуется	НЕТ
Согласование габаритного чертежа на прототипы с потребителем	не требуется	НЕТ
Стадия 2: Валидация конструкции (Design Validation)		
Получение прототипов комплектующих	не требуется	НЕТ
Обратная связь с субпоставщиками	не требуется	НЕТ
Опытная сборка прототипов изделий	не требуется	НЕТ
Анализ причин возникновения дефекта (технологическая причина)	не требуется	НЕТ
Изменение технологического процесса	не требуется	НЕТ
Проведение испытаний прототипов	не требуется	НЕТ
Анализ результатов испытаний	в соответствии с техническими спецификациями	НЕТ
Анализ причин возникновения дефекта (конструкторская причина)	- типовой анализ дефекта; - определение взаимосвязи между техническими решениями и состоянием изделий после испытаний и/или эксплуатации	ДА
Изменение конструкции	в зависимости от определенного дефекта	НЕТ
Заморозка конструкции	не требуется	НЕТ
Корректировка DFMEA	Стандартная форма DFMEA	ДА
Внутренний анализ конструкции	Последовательность анализа на Стадии 2; Стандартная форма для оформления отчета о внутреннем анализе конструкции	ДА
Разработка КД на установочную серию	Шаблоны рабочих чертежей, сборочных и габаритных чертежей, спецификаций	ДА

Продолжение таблицы 2.2

Запрос субпоставщикам и согласование технических требований	не требуется	НЕТ
Согласование габаритного чертежа на прототипы с потребителем	не требуется	НЕТ
Стадия 3: Верификация процесса (Process Verification)		
Получение комплектующих установочной серии	не требуется	НЕТ
Обратная связь с субпоставщиками	не требуется	НЕТ
Опытная сборка установочной серии	не требуется	НЕТ
Анализ причин возникновения дефекта (технологическая причина)	не требуется	НЕТ
Изменение технологического процесса	не требуется	НЕТ
Проведение испытаний установочной серии	не требуется	НЕТ
Анализ результатов испытаний	В соответствии с техническими спецификациями	НЕТ
Анализ причин возникновения дефекта (технологическая причина)	не требуется	НЕТ
Корректировка DFMEA	Стандартная форма DFMEA	ДА
Внутренний анализ конструкции	Последовательность анализа на Стадии 3; Стандартная форма для оформления отчета о внутреннем анализе конструкции	ДА
Разработка КД на серийную продукцию	Стандартная форма для оформления отчета о внутреннем анализе конструкции	ДА
Запрос субпоставщикам и согласование технических требований	Шаблоны рабочих чертежей, сборочных и габаритных чертежей, спецификаций	НЕТ
Согласование габаритного чертежа на прототипы с потребителем	не требуется	НЕТ

2.4 Создание многоуровневой структуры документированной информации и ее кодирование

Повышение требований потребителя к качеству продукции и необходимость дальнейшего совершенствования качества определяют уровень и степень сложности проведения работ по стандартизации, а также поиск и совершенствование новых эффективных форм разработки стандартов на продукцию и процессы. Важное значение для повышения качества продукции, является введение стандартизации на всех этапах производства, начиная от сырья, комплектующих и кончая готовыми изделиями и их утилизацией. Это позволяет установить взаимоувязанные нормы качества для всех видов продукции.

Использование работ, выполняемых при стандартизации, позволяет усовершенствовать процессы проектирования и изготовления изделий, что

значительно сократит время, необходимое для освоения новых изделий и обеспечит стабильность качества.

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:

1. Методических инструкций по качеству I уровня, которые описывают общую последовательность выбора параметров компонентов изделия при проектировании, содержат стандартную форму DFMEA, а также описывают порядок проведения внутреннего анализа конструкции;

2. Методических инструкций по качеству II уровня, которые содержат рекомендации по совместному выбору параметров компонентов, который призван обеспечить выполнение всех требований к изделию в сборе;

3. Методических инструкций по качеству III уровня, содержат рекомендации по разработке рабочих чертежей компонентов, касающиеся:

- простановки основных размеров и выбора их номинальных значений и допусков;
- указания допусков формы и расположения поверхностей;
- выбора шероховатости поверхностей;
- минимального состава и содержания технических требований;
- материала;
- минимального набора специальных характеристик.

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.

Основными целями комплекса методических инструкций по качеству являются:

- систематизация конструкторских компетенций (обеспечения 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;
- минимизация вероятности возникновения конструкторских ошибок на этапе проектирования новых изделий за счёт использования «проверенных» конструктивных решений;
- сокращение сроков проектирования новых изделий за счёт использования «проверенных» конструктивных решений;
- повышение качества продукции в соответствии с развитием науки и техники, с потребностями потребителя за счет постоянной актуализации инструкций и их пополнения;
- обеспечение совместимости и взаимозаменяемости продукции.

Основными задачами комплекса методических инструкций по качеству являются:

- документирование и систематизация знаний о связи конструктивных параметров изделий с выполнением предъявляемых к ним требований и состоянием изделий в эксплуатации;
- стандартизация конструктивных решений, обеспечивающих соответствие предъявляемым требованиям;
- разработка типовых сборочных чертежей и чертежей комплектующих изделий.

Требованиями к разрабатываемому комплексу методических инструкций по качеству являются:

- возможность оперативного обновления инструкций;
- отражение связи закладываемых параметров (размеров и допусков, посадок, материалов, покрытий и т.п.) с результатами испытаний и техническим состоянием изделия в эксплуатации.

Кодирование комплекса методических инструкций по качеству [44,64] показано на рисунке 2.4.

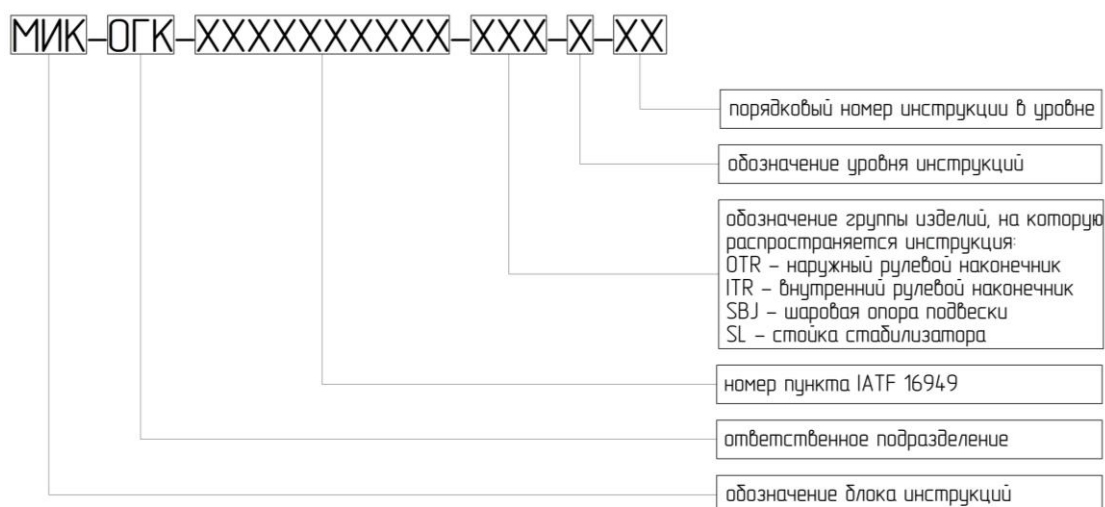


Рисунок 2.4 – Система кодирования методических инструкций по качеству

Структура кода каждой методической инструкции по качеству реализует принцип «от общего к частному» [28-30]. В данном случае использован последовательный классификационный метод кодирования. Алфавит кода выполнен в буквенно-цифровом виде. Для возможности реализации резервных знаков подмножества символов разделены дефисом.

Первые три символа кода обозначают блок инструкций, в данном случае «МИК». Последующие три символа обозначают ответственное подразделение для однозначного определения принадлежности в структуре предприятия. Последующие десять символов обозначают номер пункта требований IATF 16949 по максимальному числу возможных символов. Последующие три символа обозначают группу изделий, на которые распространяется действие данной инструкции. Последующий символ обозначает уровень инструкции. Порядковый номер инструкции в уровне обозначен последними двумя символами.

В таблице 2.3 показана реализованный комплекс методических инструкций по качеству.

Таблица 2.3 – Многоуровневая структура документированной информации по разработке конструкции наружного и внутреннего рулевых наконечников

Группа	Обозначение	Наименование
Наружный рулевой наконечник		
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
Внутренний рулевой наконечник		
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
Тяга в сборе		
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

2.4.1 Методические инструкции по качеству I уровня

Разработку конструкции следует осуществлять, исходя из рекомендаций, изложенных в методических инструкциях по качеству I уровня. Данные инструкции содержат алгоритм разработки конструкции, порядок проведения внутреннего анализа конструкции, а также стандартное DFMEA.

В процессе внутреннего анализа конструкции следует отметить и принять во внимание следующие технические особенности:

- конструктивные исполнения корпусов наружных и внутренних рулевых наконечников;

- конструктивные исполнения вкладышей наружных и внутренних рулевых наконечников;

- наличие требований по использованию определённого способа фиксации пальца в корпусе наружного рулевого наконечника (закатка/опрессовка бурта корпуса и обоймы) [65];

- наличие требований по использованию конкретных материалов (пальца шарового, корпуса; вкладыша, чехла защитного и других комплектующих), накладывающих ограничения на выбор субпоставщиков компонентов;

- наличие требований по коррозионной стойкости металлических компонентов, накладывающих ограничения на выбор субпоставщиков покрытия [66-69];

- наличие требований по использованию конкретных типов покрытия металлических комплектующих, накладывающих ограничения на выбор субпоставщиков покрытия;

- наличие требований по химико-термической обработке пальца шарового, накладывающих ограничения на выбор субпоставщиков заготовки пальца и обуславливающих необходимость поиска субпоставщиков данных процессов [66-69];

- наличие требований по шероховатости поверхностей, определяющих необходимость механической обработки комплектующих [71,72];

- наличие и тип элемента фиксации пальцев шаровых наружного рулевого наконечника от поворота вокруг своей оси при монтаже/демонтаже (внутреннее звездообразное углубление; внутреннее шестигранное углубление; наружный шестигранник и т.п.), накладывающие ограничение на выбор субпоставщиков заготовки пальца шарового;

- наличие и тип элемента фиксации пальцев шаровых внутреннего рулевого наконечника от поворота вокруг своей оси при монтаже/демонтаже (наружные двухгранные, шестигранные лыски и т.п.);

- наличие требований по точности угла и шероховатости конической поверхности пальца шарового наружного рулевого наконечника, определяющих необходимость её механической обработки [71-74];

- диаметр сферы пальца и возможность унификации имеющихся серийных комплектующих;

- наличие требований к ответным деталям (присоединительные размеры, шероховатость, свойства материала и проч.)

- состав, принципиальное содержание и выполнимость испытаний, содержащихся в технических условиях или технической спецификации, влияющие на сроки проекта;

- возможность изготовления / наличие технологических процессов в условиях поставщика и субпоставщиков;

- требования к гарантийному сроку и пробегу (в сравнении с изделиями из числа текущих проектов).

На основе анализа исходных данных для проектирования формируется концепция разрабатываемого изделия (совокупность принципиальных конструктивных решений, необходимых для выполнения изделием в сборе формализованных и ожидаемых требований потребителя). При этом руководствуются следующими положениями:

Для наружного рулевого наконечника:

- если потребителем не регламентирован тип конструкции по способу фиксации пальца шарового в корпусе, то следует выбрать конструкцию с закаткой

бурта корпуса и обоймы, как наиболее отработанный и технологически простой вариант конструктивного исполнения;

- если потребителем заданы требования по нанесению определённого типа покрытия на металлические компоненты, то данные типы покрытия должны быть применены для указанных компонентов;

- если потребителем не заданы требования по нанесению определённого типа покрытия, но заданы требования по коррозионной стойкости металлических компонентов, то покрытия должны быть выбраны совместно с поставщиками покрытий во исполнение требований потребителя по коррозионной стойкости;

- если со стороны потребителя отсутствуют требования относительно покрытий и коррозионной стойкости металлических компонентов, то следует применить покрытие, обеспечивающее отсутствие коррозии основного металла после 240 часов минимум в камере нейтрального соляного тумана согласно ISO 9227 [68].

Для внутреннего рулевого наконечника:

- если потребителем не регламентирован тип конструкции по способу фиксации пальца шарового в корпусе, то следует выбрать конструкцию с закаткой бурта корпуса и обоймы, как наиболее отработанный и технологически простой вариант конструктивного исполнения;

- если потребителем заданы требования по нанесению определённого типа покрытия на металлические компоненты, то данные типы покрытия должны быть применены для указанных компонентов;

- если потребителем не заданы требования по нанесению определённого типа покрытия, но заданы требования по коррозионной стойкости металлических компонентов, то покрытия должны быть выбраны совместно с поставщиками покрытий во исполнение требований потребителя по коррозионной стойкости;

- если со стороны потребителя отсутствуют требования относительно покрытий и коррозионной стойкости металлических компонентов, то следует применить покрытие, обеспечивающее отсутствие коррозии основного металла

после 240 часов минимум в камере нейтрального соляного тумана согласно ISO 9227.

Стандартное DFMEA [24,25] для наружного и внутреннего рулевых наконечников служит для облегчения выполнения процедуры анализа видов и последствий потенциальных отказов с учетом следующей документации и данных:

- конструкторская документация по проекту;
- DFMEA аналогичных изделий;
- результаты испытаний и математического моделирования;
- законодательные нормы;
- специальные характеристики продукции;
- база прошлых проблем;
- информация от потребителя.

В процессе DFMEA проводится:

1. Формирование DFMEA-команды [24,25];
2. Функциональный анализ конструкции.

Под функциональным анализом понимается мысленное или фактическое расчленение объекта на составные части (элементы) с их последующим изучением применительно к работе самого объекта. В результате анализа выявляются недостатки конструкции, устранение которых позволяет получить более совершенное изделие. В правильно спроектированном объекте каждый элемент выполняет вполне определенную функцию по обеспечению его работы; при лишении такого объекта какого-либо элемента он либо перестает работать (выполнять свою функцию), либо ухудшает показатели своей работы [24,25].

Результатом функционального анализа конструкции является вывод о лишних и недостающих элементах конструкции.

Одновременно с разделением изделия на элементы выделяют объекты окружающей среды, с которыми оно находится в функциональном или вынужденном взаимодействии и которые существенно влияют на его конструкцию.

3. Экспертное определение потенциальных дефектов конструкции, последствий и причин возникновения.

Проводится составление перечня потенциальных дефектов рассматриваемых конструкций, команда рассматривает последствия проявления дефекта в эксплуатации изделия и причины его возникновения для каждого из потенциальных дефектов [24,25].

4. Оценка комплексного риска дефекта по критериям S, O, D.

Оценка риска (каждого дефекта/причины) производится в отношении слабых мест объекта, которые определяются по совокупности трех показателей, учитывающих значимость по последствиям (балл S); частоту возникновения дефекта по данной причине (балл O); вероятность обнаружения дефекта (балл D). Величина оценки от 1 до 10 [24,25].

Оценка значимости (балл S) может быть получена от потребителя, назначена исходя из класса специальной характеристики или определена экспертно. Оценки возникновения (балл O) и обнаружения (балл D) определяются экспертно [24,25].

5. Сравнение ПЧР с критической границей $ПЧР_{кр}$.

Приоритетное число рисков ПЧР ($ПЧР = S \times O \times D$, которое может принимать значения от 1 до 1000), показывает, в каких отношениях друг к другу в настоящее время находятся причины возникновения дефектов.

Если полученное ПЧР больше критической границы $ПЧР_{кр}$, то данная конструкция должна быть доработана. Критическая граница $ПЧР_{кр}$ для различных рангов значимости обычно задана потребителем.

6. Разработка рекомендуемых действий DFMEA-командой [24,25].

Рассматриваются рекомендуемые действия в следующей последовательности:

- При помощи изменения конструкции уменьшить возможность возникновения дефекта (уменьшается параметр O).
- Облегчить и повысить достоверность выявления отказа (уменьшается параметр D).

- Снизить значимость дефекта по согласованию с потребителем (уменьшается параметр S).

Разработанные мероприятия учитываются в протоколе DFMEA с учетом сроков их выполнения.

7. Доработка конструкции в случае необходимости [24,25].

Доработка конструкции производится в соответствии с намеченными действиями в сроки, указанные в протоколе DFMEA.

2.4.2 Методические инструкции по качеству II уровня

Выбор параметров, определяющих выполнение основных требований и параметров, определяющих герметичность шарнира наружного рулевого наконечника следует осуществлять, исходя из рекомендаций, изложенных методических инструкциях по качеству II уровня.

Для наружного рулевого наконечника:

1. Выбирать номинальные значения и допуски размеров, определяющих обеспечение приемлемых посадок в сопряжении «палец-вкладыш-корпус-обойма». От выполнения данного требования зависят моменты сопротивления качанию и вращению пальца шарового в корпусе шарнира, а также наличие зазоров в шарнире. В случае некорректного выбора указанных параметров конечный наружный рулевой наконечник сохранит работоспособность, но при его работе конечный потребитель будет ощущать дискомфорт (скрип, стук в приводе рулевого управления).

Формирование равномерного (по степени и площади) обжатия шаровой головки пальца внутренней сферической поверхностью вкладыша после закатки перед операцией термостабилизации (снятия внутренних напряжений) и герметичного закатного соединения создается путём:

- обжатия корпусом подборки палец-вкладыш в «радиальном» направлении за счёт определённого соотношения размеров;

- обжатия обоймой подборки палец-вкладыш в «осевом» направлении за счёт определённого соотношения размеров;

- обжатия корпусом конического участка на наружной поверхности вкладыша за счёт определённых значений размеров;

- заполнения канавки корпуса фланцем вкладыша;

- контактом площадки обоймы с площадкой корпуса.

2. Выбирать номинальные значения и допуски размеров, влияющих на усилие выдавливания пальца из корпуса;

3. Выбирать номинальные значения размеров, влияющих на усилие вырыва пальца из корпуса и изгибную прочность пальца шарового. Значения данных размеров должны быть выбраны таким образом, чтобы обеспечить, с одной стороны, требуемое усилие вырыва и изгибную прочность шарового пальца, с другой – минимальное требуемое значение полного угла качания пальца в корпусе с запасом – проверку осуществляют путём графического расчёта с учётом неблагоприятного сочетания отклонений всех влияющих размеров;

После предварительного выбора параметров провести проверку выполнения требований по усилию вырыва и изгибной прочности пальца одним из двух способов:

- в результате расчёта с использованием методов численного моделирования процесса вырыва и статического изгиба пальца;

- в результате испытаний опытных образцов, изготовленных специально или полученных в результате доработки доступных аналогичных изделий.

В том случае, если результаты проверки показали соответствие усилия вырыва и параметров изгибной прочности пальца требованиям потребителя, то выбранные размеры и материалы используются для дальнейшей работы. В том случае, если результаты проверки показали несоответствие усилия вырыва и параметров изгибной прочности пальца требованиям потребителя, то выбранные размеры и материалы должны быть пересмотрены, и проверка должна быть проведена повторно для пересмотренных значений. В том случае, если проверка выполнения требований по усилию вырыва и изгибной прочности пальца на стадии разработки конструкции не представляется возможной ни одним из указанных способов, в протоколе DFMEA в обязательном порядке должны быть

запланированы действия по проверке данных показателей при изготовлении прототипов.

4. После обеспечения выполнения основных требований осуществлять выбор параметров, определяющих герметичность шарнира в эксплуатации. Герметичность шарнира в эксплуатации зависит от правильного выбора номинальных значений и допусков размеров в сопряжениях:

- «корпус-чехол-кольцо»;
- «палец-чехол-кольцо».

Следует особо отметить значимость антикоррозионного покрытия пальца для герметичности сопряжения «палец-чехол-кольцо», т.е. в области динамического уплотнения, так как палец совершает вращательное движение относительно чехла. Отсутствие антикоррозионного покрытия на пальце в процессе длительной эксплуатации, а также в процессе длительных испытаний, включающих моделирование работы наконечника при воздействии окружающей среды (перепады температуры и влажности, воздействие воды с механическими примесями и солью), приводит к коррозии цилиндрического участка шарового пальца под защитный чехол, что ведёт к износу горловины чехла, дальнейшей потере герметичности сопряжения «палец-чехол-кольцо», выходу шарнира в целом из строя, и, как следствие, к увеличению возвратов изделий в гарантийный период эксплуатации и недовольству конечного потребителя.

Для снижения риска таких нежелательных последствий рекомендуется использовать металлические неорганические покрытия пальца шарового [65-69], либо химико-термическую обработку поверхности пальца (например, газовую или плазменную нитрокарбюризацию с оксидированием).

Однако при использовании покрытия ZnNi в том случае, если твердость пальца шарового превышает твердость 33 HRC [70], в обязательном порядке непосредственно после нанесения покрытия должна быть проведена операция обезводороживания во избежание охрупчивания материала.

Если на шаровой палец наносится защитное покрытие, то необходимо учитывать следующие особенности [65-69]:

– нанесение защитного покрытия производится на шаровой палец до выполнения операции по токарной обработки и обкатки сферической поверхности. Остальные элементы пальца (галтель, конический участок, резьбовой участок и т.д.) должны быть сформированы.

– после нанесения покрытия на резьбовой участок изменяется его поле допуска. В чертеже рекомендуется указывать поле допуска на резьбовой участок до нанесения покрытия и поле допуска после нанесения покрытия.

– после нанесения защитного покрытия в процессе контроля резьбового участка калибрами происходит нарушение защитного покрытия. В процессе обработки сферической может происходить повреждение защитного покрытия. Поскольку покрытие предназначено для участка, контактирующего с защитным чехлом, то рекомендуется обсуждать данную особенность с потребителем.

– наносимые защитные покрытия должны обладать хорошей стойкостью к механическим повреждениям. Рекомендуется в пункте технических требований к покрытию регламентировать данное свойство.

5. Для правильной работы защитного чехла при качании пальца провести выбор номинальных размеров, определяющих конфигурацию гофр защитного чехла. Правильный выбор данных размеров позволяет:

- Исключить натяжения чехла при отклонении пальца шарового на максимально возможный угол за счёт достаточной длины образующей гофры. Проверку достаточности длины образующей гофры следует проводить одним из следующих способов: графический расчёт при условии, когда палец отклонён до упора в корпус; в этом случае длина L_2 должна быть больше длины L_1 с приемлемым запасом (рисунок 2.5) или численное моделирование деформированного состояния чехла защитного; в этом случае величина напряжений сжатия в области чехла, контактирующей с пальцем шаровым, должна быть одинаковой при пальце шаровом, находящемся в нейтральном положении, и при пальце шаровом, отклонённом на максимальный угол (рисунок 2.6).

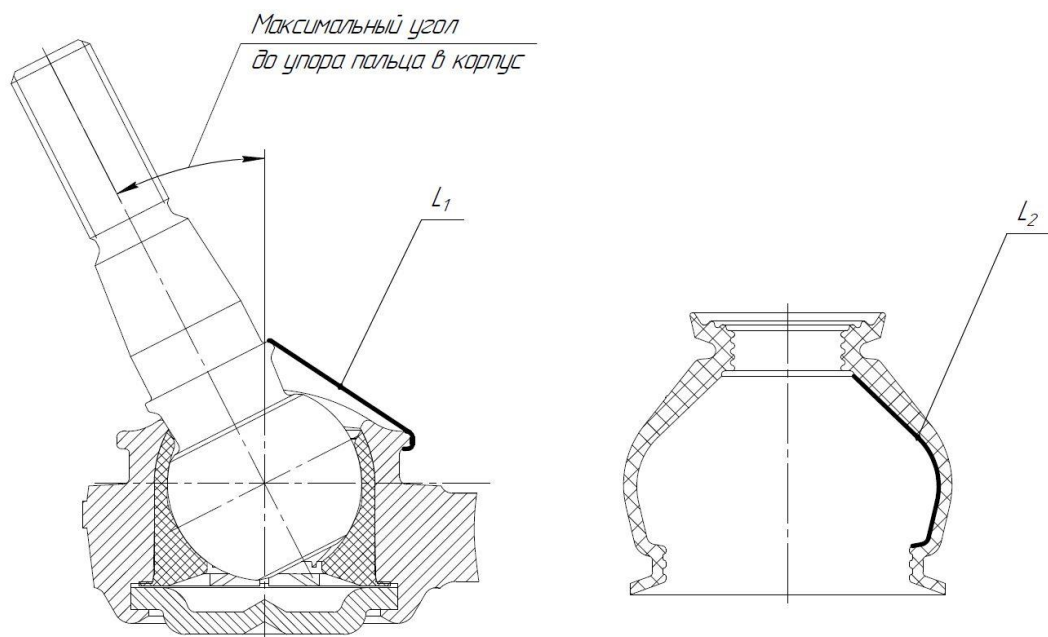


Рисунок 2.5 – Проверка достаточности длины образующей гофры графическим способом



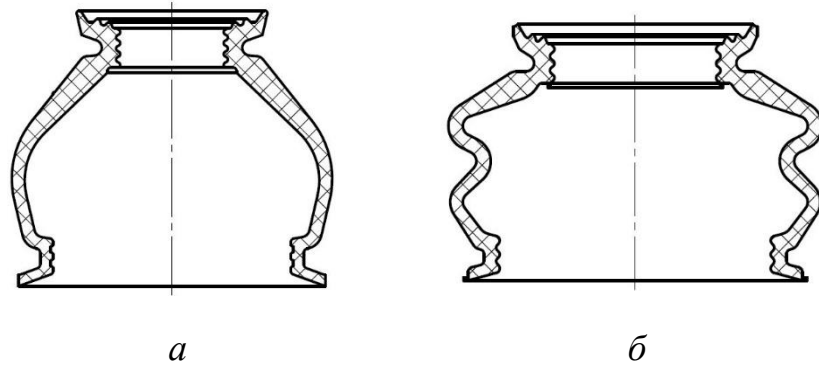
Рисунок 2.6 – Деформированное состояния защитного чехла, полученное в результате численного моделирования

а – при сжатии на рабочую высоту; б – при отклонении пальца на максимальный угол

При обеспечении описанных выше условий приоритетной является одногофровая (грушевидная) конфигурация чехла (рисунок 2.7, а), т.к. при данном исполнении чехла минимален риск истирания гофры «самой об себя» в процессе эксплуатации.

Если обеспечение требуемого угла качания при использовании одногофровой (грушевидной) конфигурации чехла приводит к такой длине гофры,

при которой не выполняются требования по габаритным размерам чехла, или чрезмерно увеличивается размер B пружинного кольца, тогда используют двухгофровую конфигурацию чехла с поперечным изгибом (рисунок 2.7, б). В этом случае геометрические параметры, описывающие форму гофр, должны быть выбраны таким образом, чтобы минимизировать риск истирания гофры «самой об себя» в процессе эксплуатации.



2.7 – Конфигурации гофр защитного чехла

a – грушевидная; *б* – двухгофровая с поперечным изгибом

- Исключить контакт гофры чехла и ответной детали.

Для этого соотношение размеров S_1 и S_2 (рисунок 2.8) должно быть выбрано таким образом, чтобы при сжатии чехла на рабочую высоту гофра деформировалась так, как показано на рисунках 2.9 (*a*, *б*, *в*). В случае *г* происходит контакт чехла и ответной детали – это недопустимо.

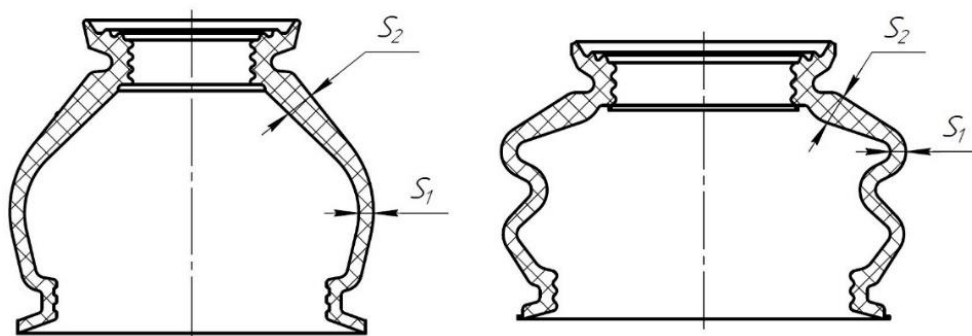


Рисунок 2.8 – Непостоянство толщины «стенки» защитного чехла

*a**б**в**г*

Рисунок 2.9 – Деформация гофры при сжатии чехла на рабочую высоту:
a, б, в – контакт с деталью, ответной для пальца шарового, отсутствует; *г* –
 контакт присутствует (недопустимо)

- По возможности исключить контакт гофры чехла с корпусом наружного рулевого наконечника (рисунок 2.10).

*a**б**в*

Рисунок 2.10 – Деформированное состояние защитного чехла:
a – при сжатии на рабочую высоту; *б, в* – при сжатии на рабочую высоту и
 отклонении пальца на максимально возможный угол

Для внутреннего рулевого наконечника:

1. Выбирать номинальные значения и допуски размеров, определяющих обеспечение приемлемых посадок в сопряжении «палец-вкладыш-опорное кольцо-корпус». От выполнения данного требования зависят моменты сопротивления качанию и вращению пальца шарового в корпусе шарнира, а также наличие зазоров в шарнире. В случае некорректного выбора указанных параметров конечный наружный наконечник сохранит работоспособность, но при его работе конечный потребитель будет ощущать дискомфорт (слышимость скрипов, стуков в приводе рулевого управления). Формирование равномерного (по степени и площади) обжатия шаровой головки пальца внутренней сферической поверхностью

вкладыша после опрессовки перед операцией термостабилизации (снятия внутренних напряжений). Для этого в сопряжении «палец-вкладыш-корпус» создаётся натяг путём:

- обжатия корпусом подборки палец-вкладыш в «радиальном» направлении за счёт определённого соотношения размеров;

- обжатия деформированным корпусом подборки палец-вкладыш в «осевом» направлении за счёт определенного соотношения размеров, а также за счёт выбора определенных режимов технологического процесса опрессовки корпуса внутреннего наконечника.

- дополнительного поджатия опорным кольцом подборки палец-вкладыш в «радиальном» и в «осевом» направлении за счёт определённых значений размеров.

2. Выбирать номинальные значения размеров, влияющих на усилие вырыва пальца из корпуса. Значения данных размеров должны быть выбраны таким образом, чтобы обеспечить минимальное значение полного угла качания пальца в деформированном корпусе, заданное потребителем, с запасом – проверку осуществляют путём графического расчёта с учётом неблагоприятного сочетания отклонений всех влияющих размеров).

После предварительного выбора параметров провести проверку выполнения требований по усилию вырыва одним из двух способов:

- в результате расчёта с использованием методов численного моделирования процесса вырыва после графического расчета формы корпуса после опрессовки;

- в результате испытаний опытных образцов, изготовленных специально или полученных в результате доработки доступных аналогичных изделий.

В том случае, если результаты проверки показали соответствие усилия вырыва пальца шарового из корпуса требованиям потребителя, то выбранные размеры и материалы использовать для дальнейшей работы. Если результаты проверки показали несоответствие усилия вырыва пальца шарового из корпуса требованиям потребителя, то выбранные размеры и материалы должны быть пересмотрены, и проверка должна быть проведена повторно для пересмотренных

значений. Когда проверка выполнения требований по усилию вырыва пальца шарового из корпуса на стадии разработки конструкции не представляется возможной ни одним из указанных способов, в протоколе DFMEA в обязательном порядке должны быть запланированы действия по проверке данных показателей при изготовлении первых прототипов.

Для тяги в сборе.

После определения параметров для наружного и внутреннего рулевых наконечников, осуществляют выбор параметров, определяющих прочность рулевой тяги в сборе на растяжение и сжатие, которые бы обеспечивали имеющиеся со стороны потребителя требования (например, отсутствие разрушения при действии максимальных нагрузок, при сжатии и растяжении тяги в сборе, лежащие в заданных диапазонах и т.п.).

Требуемые параметры прочности рулевой тяги на сжатие и растяжения должны быть определены одним из двух способов:

- в результате расчёта с использованием методов численного моделирования процесса сжатия и растяжения рулевой тяги;
- в результате испытаний опытных образцов, изготовленных специально или полученных в результате доработки доступных аналогичных изделий.

В том случае, если результаты проверки показали соответствие требованиям потребителя, то выбранные размеры и материалы используют для дальнейшей работы. В том случае, если результаты проверки показали несоответствие параметров требованиям потребителя, то выбранные размеры и материалы должны быть пересмотрены, и проверка должна быть проведена повторно для пересмотренных значений. В том случае, если проверка выполнения требований по прочности рулевой тяги на сжатие и растяжение на стадии разработки конструкции не представляется возможной ни одним из указанных способов, в протоколе DFMEA в обязательном порядке должны быть запланированы действия по проверке данных показателей при изготовлении первых прототипов.

2.4.3 Методические инструкции по качеству III уровня

В заключении осуществляется разработка, утверждение и управление КД в соответствие с существующими методическими инструкциями по качеству III уровня. Рекомендации по разработке КД, касающиеся простановки основных размеров; указания основных допусков формы и расположения поверхностей; выбора шероховатости поверхностей; минимального состава и содержания технических требований; материала; минимального набора специальных характеристик отражены в методических инструкциях по качеству III уровня.

2.5 Выводы по главе 2.

1. По результатам анализа и классификации технических требований, предъявляемых к рулевым наконечникам автомобиля отечественными и зарубежными автопроизводителями, следует отметить, что существующие в отечественной практике стандарты ГОСТ Р 52433-2005 «Автомобильные транспортные средства. Шарниры шаровые Технические требования и методы испытаний» и Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 018/2011 «О безопасности колесных транспортных средств» являются наиболее общими документами, регламентирующими лишь технические требования безопасности, в отличие от технических спецификаций OEM-заказчиков (автопроизводителей). В указанных стандартах практически не отражены функциональные требования и требования к эксплуатационной надежности. При проектировании целесообразно руководствоваться разработанным комплексом технических требований для снижения вероятности возникновения конструкторских ошибок, появление которых может привести к потере или частичной потере работоспособности изделия. Выполнение требований технических спецификаций позволяет производителю выпускать более конкурентную продукцию на современном глобальном рынке.

2. В результате систематизации процесса проектирования наружных и внутренних рулевых наконечников автомобиля создан алгоритм, состоящий из трех последовательных стадий:

- Стадия 1: Концепция изделия и разработка прототипов;
- Стадия 2: Валидация конструкции (Design Validation);
- Стадия 3: Верификация процесса (Process Verification).

Компоненты алгоритма рассмотрены как объекты стандартизации. По результатам селекции компонентов алгоритма выявлены те объекты, которые признаются целесообразными для дальнейшей стандартизации. 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.

3. Создана многоуровневая структура документированной информации в виде комплекса методических инструкций по качеству, состоящей из 3-х уровней и включающая 37 инструкций. Данный комплекс охватывает весь процесс проектирования наружного и внутреннего рулевых наконечников, в том числе в составе тяги привода рулевого управления.

Разработанный комплекс методических инструкций по качеству позволяет систематизировать конструкторские компетенции, снизить вероятность возникновения конструкторских ошибок и значительно снизить сроки проектирования новых изделий, а также служит базой для обучения вновь принятых сотрудников. Информация, содержащаяся в указанном комплексе, постоянно пополняется и обновляется, создавая кумулятивный эффект накопления компетенций сотрудников предприятия. Данный подход может быть реализован не только на предприятии – поставщике автокомпонентов, он универсален для любой отрасли и, в конечном счете, позволяет повысить конкурентоспособность предприятия за счет снижения сроков проектирования и повышения качества продукции в целом. С использованием разработанной методики созданы комплексы методических инструкций по качеству для групп изделий «Шаровая опора подвески» и «Стойка стабилизатора поперечной устойчивости», а также разработаны конструкции этих узлов [108,111,113].

ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА ЧИСЛЕННОЙ МОДЕЛИ СТАТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ ШАРОВОГО ПАЛЬЦА НА ИЗГИБ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗГИБНОЙ ПРОЧНОСТИ ПАЛЬЦА НА СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

3.1 Применение комплекса методических инструкций по качеству на практике

При движении автомобиля в условиях бездорожья, по выбоинам, наезде на бордюр и т.д. пальцы шаровые шарниров подвески и рулевого управления подвержены значительным по величине нагрузкам в направлении, перпендикулярном оси пальца. Под действием этих нагрузок шаровый палец может испытывать пластические деформации, а, в наиболее критических случаях, может произойти его разрушение. Пластическая деформация, вызывающая необратимые изменения геометрических параметров шарового пальца, может вызывать нарушение кинематики подвески и рулевого управления и ухудшение управляемости автомобиля, а также может привести к ударам пальца о корпус в крайних положениях, внести значительное усталостное повреждение и, в конечном счете, привести к преждевременному излому пальца. В этой связи одним из основных требований к безопасности является требование к статической и усталостной прочности шарового пальца на изгиб [53].

Параметры статической прочности шарового пальца на изгиб определяются, 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, 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 3.1):

- 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.

Помимо этого, на статическую и усталостную прочность шарового пальца на изгиб влияют твёрдость (предел прочности σ_b), предел текучести σ_T материала шарового пальца, а также наличие операции обкатки галтели [85,104-107].

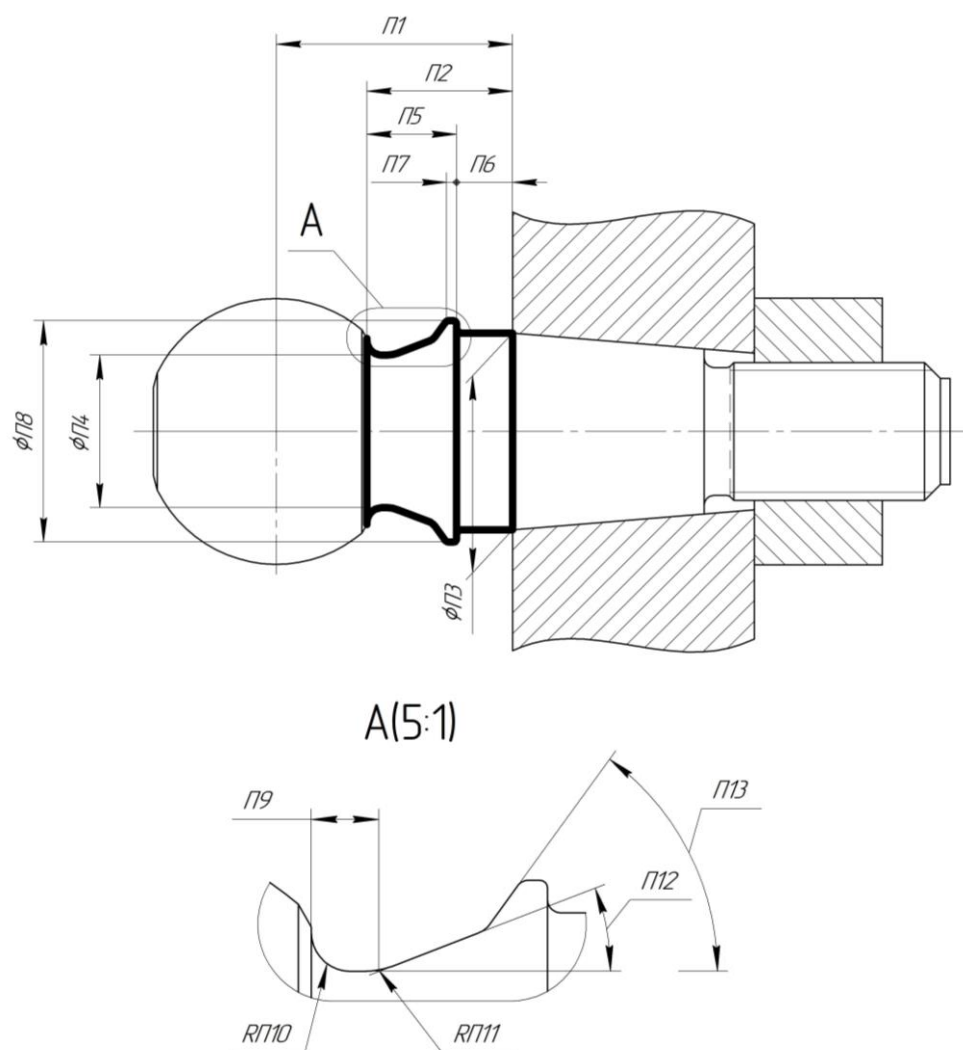


Рисунок 3.1 – Параметры шарового пальца, определяющие статическую и усталостную прочность пальца

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 соответствие 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 $F_{пл}$, определенное путем графического построения, максимальное усилие при изгибе F^{max}). Если геометрические параметры и материал вновь проектируемого шарового пальца совпадают с указанными в инструкции, то необходимость проведения расчетов и испытаний отсутствует, что значительно сокращает сроки проектирования. Если геометрические параметры и материал вновь проектируемого шарового пальца отличаются от приведенных в инструкции, необходимо проведение расчетов и испытаний. Даже в этом случае сокращение сроков проектирования достигается путем использования приложения-видеоинструкции по проведению расчетов.

3.2 Оценка требований к статической прочности шаровых пальцев на изгиб

Схема статических испытаний шарового пальца на изгиб приведена на рисунке 3.2 [61,114].

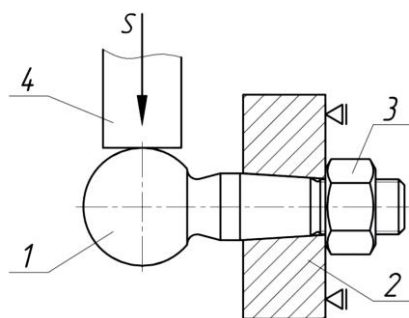


Рисунок 3.2 – Схема статических испытаний шарового пальца на изгиб:

1 – палец шаровый; 2 – оснастка; 3 – гайка; 4 – нагрузочное устройство; S – направление перемещения нагрузочного устройства

Шаровый палец 1 закрепляется в специальной оснастке 2 гайкой 3 с заданным моментом затяжки, которая является либо частью реальной детали автомобиля (поворотного кулака или рычага) либо является деталью с максимально близкими к реальным геометрическим размерами и механическими свойствами. После этого нагрузочное устройство перемещается в направлении, перпендикулярном оси пальца, и передает нагрузку на сферу шарового пальца. В процессе испытаний фиксируется зависимость силы, действующей на плоскость нагрузочного устройства от его вертикального перемещения S . По полученной диаграмме сила-перемещение определяют силу в момент начала пластических деформаций F_{nl} и силу, при которой произошло разрушение пальца. Известно несколько методик определения F_{nl} . Наиболее распространенная сводится к построению прямой через точки экспериментальной кривой с ординатами 20% и 80% от требуемого минимального усилия F_{nl}^{\min} и определения ординаты точки пересечения построенной прямой с имеющейся диаграммой сила-перемещение (рисунок 3.3).

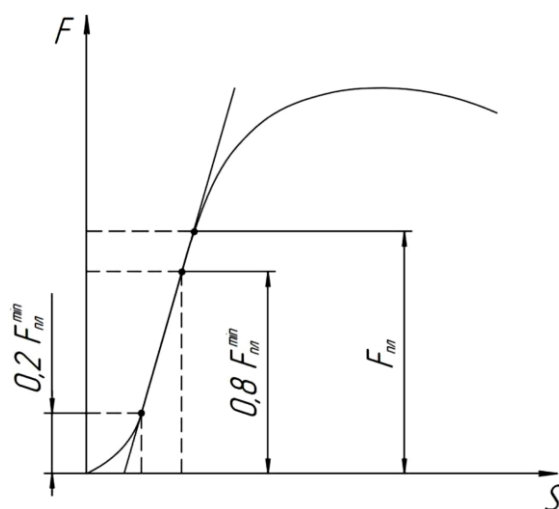


Рисунок 3.3 – Определение силы в момент начала пластических деформаций при испытании шаровых пальцев на изгиб:

F_{nl}^{\min} – требуемое минимальное по КД значение усилия в момент начала пластической деформации, F_{nl} – усилие начала пластической деформации

Считается, что палец прошел испытания, если значения указанных параметров не меньше величин, регламентированных для конкретного шарового пальца [61].

Требуемые параметры изгибной прочности шарового пальца наружного рулевого наконечника автомобиля Gazelle Next приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Требуемые параметры изгибной прочности шарового пальца Gazelle Next

Параметр	Значение
Минимальная сила в момент начала пластических деформаций F_{nl}^{\min}, H	40000
Минимальная сила в момент разрушения, $F_{раз}^{\min}, H$	60000
Перемещение центра сферы пальца в момент разрушения $S_{раз}^{\min}, мм$	4

3.3 Расчет шарового пальца на изгиб

Для обеспечения условия равнопрочности детали вращения, в частности шарового пальца, работающего на изгиб, и минимизации его массы, оптимальной является такая форма галтели, контур которой совпадает с кубической параболой: изменение диаметра сечения по длине происходит согласно функции кубического корня, т.к. момент сопротивления изгибу сплошного круглого сечения пропорционален его диаметру в третьей степени (рисунок 3.4) [52,53,75]:

$$\sigma_{и} = \frac{M_{и}}{W_{и}} = \frac{32 \cdot F \cdot l}{\pi \cdot d^3} \leq [\sigma] \rightarrow d(l) \geq \sqrt[3]{\frac{32 \cdot F \cdot l}{[\sigma] \cdot \pi}} \quad (3.1)$$

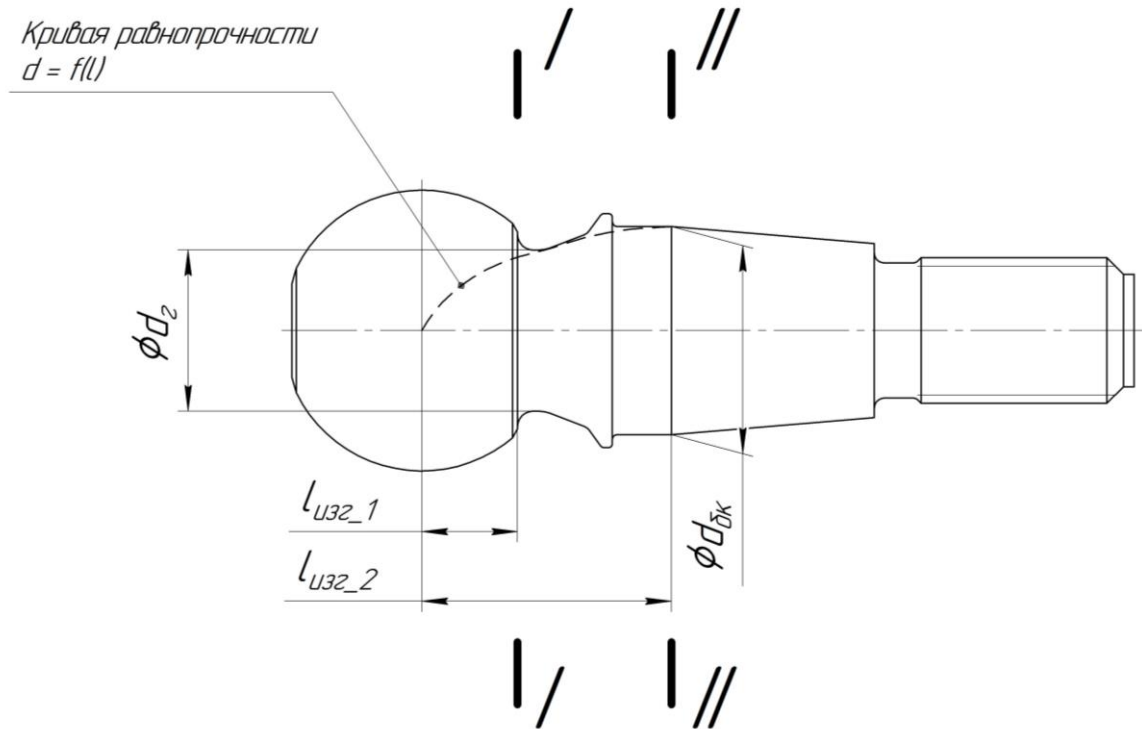


Рисунок 3.4 – Кривая равнопрочности и геометрические параметры шарового пальца:

$l_{\text{изг}_1}$ – расстояние от центра шаровой головки до сечения I-I, $l_{\text{изг}_2}$ – расстояние от центра шаровой головки до базового диаметра конуса или до сечения II-II, $\phi d_{\text{бк}}$ – базовый диаметр конуса пальца, ϕd_2 – диаметр галтели пальца шарового

В открытых источниках предлагается расчет пальца на прочность по допускаемым напряжениям [53]. В опасных сечениях I-I и II-II, обозначенных на рисунке 3.4, напряжения изгиба под действием изгибающей силы, линия действия которой проходит через центр сферической головки, не должны превышать допускаемых напряжений для материала шарового пальца:

$$\sigma_{\text{и I-I}} = \frac{M_{\text{и I-I}}}{W_{\text{и I-I}}} = \frac{32 \cdot F \cdot l_{\text{изг}_1}}{\pi \cdot d_2^3} \leq [\sigma] \quad (3.2)$$

$$\sigma_{\text{и II-II}} = \frac{M_{\text{и II-II}}}{W_{\text{и II-II}}} = \frac{32 \cdot F \cdot l_{\text{изг}_2}}{\pi \cdot d_{\text{бк}}^3} \leq [\sigma] \quad (3.3)$$

где $\sigma_{и I-I}$ и $\sigma_{и II-II}$ – напряжения шарового пальца при изгибе в сечениях $I-I$ и $II-II$ соответственно; $M_{и I-I}$ и $M_{и II-II}$ – изгибающий момент в сечениях $I-I$ и $II-II$ соответственно; $W_{и I-I}$ и $W_{и II-II}$ – момент сопротивления сечения изгибу; $l_{изг_1}$ – плечо изгибающей силы (расстояние от центра шаровой головки до сечения $I-I$); $l_{изг_2}$ – плечо изгибающей силы (расстояние от центра шаровой головки до базового диаметра конуса или до сечения $II-II$); $\varnothing d_{бк}$ – базовый диаметр конуса пальца; $[\sigma]$ – допустимое напряжения материала при изгибе.

Существенным недостатком расчета по допустимым напряжениям является отсутствие возможности определить усилие в момент начала пластической деформации $F_{пл}$ при изгибе шарового пальца и произвести оценку напряженно-деформированного состояния шарового пальца при минимально допустимом перемещении центра сферы пальца до разрушения $S_{раз}^{min}$, а также учесть форму галтели шарового пальца для оценки влияния концентраторов напряжений на напряженно-деформированное состояние.

3.4 Моделирование процесса статических испытаний шарового пальца на изгиб

3.4.1 Определение механических характеристик материала шарового пальца

Механические свойства материалов комплектующих шарнира определяют по твердостям их поверхностей, поскольку испытания стандартных образцов на растяжение на разрывной машине являются более трудоемкими [76-82,110,112]. Твердость измеряют с помощью твердомера согласно методике [83].

Для определения физического σ_T или условного $\sigma_{0,2}$ пределов текучести по твердости разработаны методы, которые можно разделить на два класса [76-80]:

- основанные на определении твердости, которая характеризует упрочняемость материала и оценивается либо коэффициентом упрочнения, либо равномерной деформацией при растяжении;

- основанные на определении твердости путем вдавливания сферического индентора до получения в лунке остаточной деформации 0,2%.

К первому классу методов определения предела текучести по твердости относятся методы [76-80], в основу которых положены установленные ими закономерности пластического вдавливания шарика в металл, полученные на основании закона Мейера. Но поскольку методы основаны на признании абсолютной справедливости закона, полученного эмпирическим путем, точность методик при определении $\sigma_{0,2}$ является не очень высокой.

Способы определения предела текучести, относящиеся ко второму классу, являются наиболее обоснованными физически, т.к. условный предел текучести $\sigma_{0,2}$ при растяжении в этом случае сопоставляется с твердостью, определенной при той же остаточной степени деформации в лунке, равной 0,2%, как это принято при растяжении. Эти методы достаточно просты и отличаются высокой точностью, поэтому нашли наибольшее применение, как в лабораторных условиях, так и в промышленной практике.

Исследования М.П. Марковца [76,77] подтвердили возможность ориентировочного определения $\sigma_{0,2}$ по твердости по Бринеллю. На основании статистической обработки экспериментальных данных для широкого круга конструкционных легированных сталей зависимость $\sigma_{0,2}(HB)$ описывается уравнениями:

$$\begin{aligned} \sigma_{0,2} &= 0,367HB - 240, HB \geq 1500 \text{ МПа} \\ \sigma_{0,2} &= 0,2HB, HB < 1500 \text{ МПа} \end{aligned} \quad (3.4)$$

Существующие методы определения предела прочности σ_e по измерению можно разделить на три класса:

- основанные на определении упрочняемости материала;
- основанные на определении твердости, которое определяется при той же степени деформации в лунке, что и временное сопротивление при растяжении;
- основанные на корреляционной связи между твердостью по Бринеллю и пределом прочности.

К первому классу методов относятся методы, предложенные Г.П. Зайцевым [78], В.В. Варнелло [80], М.С. Дроздом [79]. Недостатки, которые были присущи методам этих авторов при определении предела текучести по измерению твердости, сохранились и в данных методах. Простота и достаточная точность методов второго и третьего класса позволили широко применять их на практике.

Статистическая обработка результатов испытаний [76,77,84] доказала наличие устойчивой связи между НВ и σ_0 , которая позволила рекомендовать в ГОСТ 22761-77 [83] таблицу пересчета твердости по Бринеллю с пределом прочности.

Результаты измерения твердости на специально подготовленных образцах, изготовленных из шаровых пальцев, отобранных из одной партии и результаты пересчета твердостей образцов в механические характеристики материалов на основе приведенной выше зависимости и ГОСТ 22791-77 приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Определение механических характеристик шаровых пальцев

	Образец №1	Образец №2	Образец №3
Твердость	35,5	36	36
Твердость, кгс / мм ²	333	337	337
Твердость, МПа	3266	3305	3305
Расчетный предел текучести σ_T , МПа	958	973	973
Расчетный предел прочности σ_0 , МПа	1125	1140	1140
Расчетный модуль упругости E , МПа	1273	1278	1278

3.4.2 Разработка конечно-элементной модели (КЭМ)

В данной работе на примере шарового пальца наружного рулевого наконечника автомобиля Gazelle Next на стадии проектирования и разработки производится расчетное определение силы в момент начала пластической деформации $F_{пл}$ посредством моделирования процесса статических испытаний, а также оценка напряженно-деформированного состояния шарового пальца при минимально допустимом перемещении центра сферы пальца до разрушения $S_{раз}^{min}$.

Моделирование на Стадии 1 процесса проектирования (Разработка концепции изделия и создание прототипов) позволяет после выбора параметров шарового пальца, определяющих статическую и усталостную прочность на изгиб, обосновать этот выбор без изготовления большого числа прототипов для экспериментальных исследований.

Для расчетного определения усилия начала пластических деформаций и оценки напряженно-деформированного состояния шарового пальца при минимально допустимом перемещении центра сферы пальца до разрушения предлагается смоделировать процесс статических испытаний в соответствии со схемой испытаний, приведенной на рисунке 3.2, с использованием метода конечных элементов с учетом физической и геометрической нелинейностей [85-91].

Геометрические параметры шарового пальца приведены в таблице 3.3:

Таблица 3.3 – Геометрические параметры шарового пальца наружного рулевого наконечника автомобиля Gazelle Next

Геометрический параметр	Значение
П1	24 мм
П2	14,8 мм
П3	20 мм
П4	15,5 мм
П5	9,1 мм
П6	5,7 мм
П7	1,0 мм
П8	22,5 мм
П9	2,6 мм
П10	1,5 мм
П11	3 мм
П12	21°
П13	54°

В конечно-элементной модели (КЭМ), представленной на рисунке 3.5, приняты следующие допущения [85-91]:

- рассмотрена 1/2 часть шарового пальца с граничными условиями симметрии, так как задача является симметричной относительно продольной плоскости шарового пальца;
- резьбовое соединение «палец-гайка» смоделировано «склеенным» контактом двух цилиндрических поверхностей согласно принципу Сен-Венана [75].

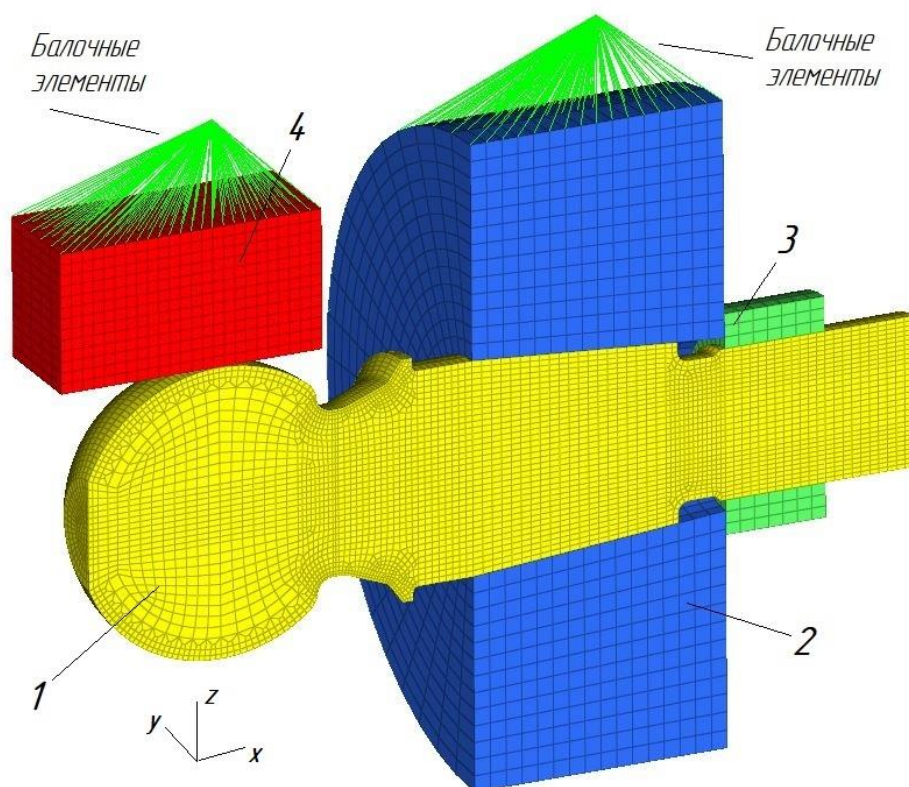


Рисунок 3.5 – Конечно-элементная модель испытаний шарового пальца на изгиб:

1 – палец шаровый; 2 – оснастка; 3 – гайка; 4 – нагрузочное устройство

- упруго-пластическое поведение материала шарового пальца описывается билинейной диаграммой напряжения-деформации, изображенной на рисунке 3.6. Материал оснастки, гайки и нагрузочного устройства описывается линейной диаграммой напряжения-деформации [94-100].

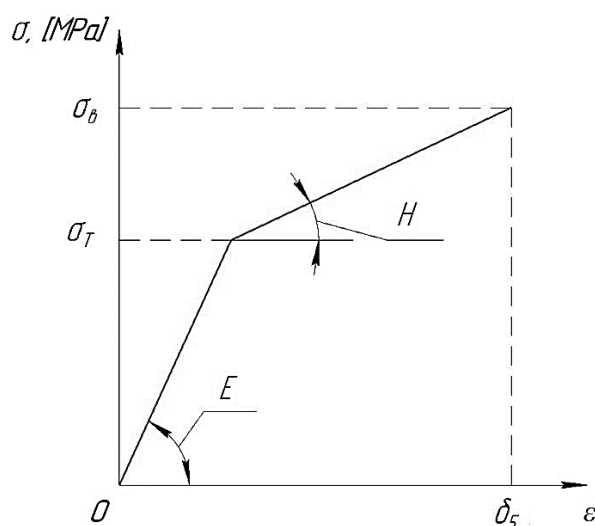


Рисунок 3.6 – Билинейная диаграмма напряжения-деформации

Свойства материалов, реализованные в модели, представлены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Свойства материалов модели

Объект	Твердость, HRC	Твердость HB, кгс/мм ²	Модуль упругости E , МПа	Коэффициент Пуассона μ	Предел текучести и σ_T , МПа	Предел прочности σ_b , МПа	Относительное удлинение, d_5	Модуль упругости H , МПа
Палец шаровый	36	337	214000	0,33	973	1099	0,13	966
Оснастка	-	-	214000	0,33	-	-	-	-
Гайка	-	-	214000	0,33	-	-	-	-
Нагрузочное устройство	-	-	214000	0,33	-	-	-	-

Конечно-элементная сетка шарового пальца, гайки, оснастки и нагрузочного устройства реализована в виде объемных восьмиузловых гексаэдров с тремя степенями свободы в узле для вычисления действующих силовых факторов и перемещений, а также одну точку интегрирования в центре гексаэдра для определения напряжений и деформаций [95-100].

Для определения искомого усилия и перемещения нагрузочного устройства в модели используется междуузловая связь в виде балочных элементов типа RBE2 (Rigid Body Element, Form 2), которая моделирует жесткое тело, присоединенное к одному узлу с независимыми степенями свободы (так называемому независимому

узлу) и произвольному количеству узлов с зависимыми степенями свободы) [95-100].

В качестве независимого узла для перемещения нагрузочного устройства выбирают узел, находящийся на прямой, параллельной оси Z и проходящей через центр сферы пальца шарового. Зависимыми узлами RBE2 элемента являются узлы на горизонтальной плоскости нагрузочного устройства. При принудительном перемещении независимого узла вдоль оси Z выбранные зависимые узлы, вследствие жесткой связи между независимым и зависимыми узлами, также перемещаются. В качестве независимого узла для определения искомого усилия выбирают узел, находящийся на прямой, параллельной оси Z и проходящей через центральную часть оснастки. Зависимыми узлами RBE2 элемента являются узлы, располагающиеся в секторе поверхности оснастки. В независимом узле для определения искомого усилия ограничиваются все степени свободы, что означает и ограничение всех степеней свобод для зависимых узлов оснастки [95-100].

Контакт между поверхностями «палец-оснастка», «палец-нагрузочное устройство», «оснастка-гайка» моделировался по принципу «Мастер-поверхность – Зависимые узлы» (Master Surface – Slave Nodes), реализующему метод штрафных функций: поверхность, образованная внешними границами конечно-элементной сетки пальца, может передавать нагрузку при контакте с зависимыми узлами остальных элементов модели. В модели заданы возможные места контактов между поверхностями «палец-оснастка», «палец-нагрузочное устройство», «оснастка-гайка» парами контактирующих поверхностей и узлов [95-101].

КЭМ содержит следующие граничные условия [85-91]:

- симметрии для узлов, находящихся в плоскости разреза;
- заделка в независимом узле RBE2 элемента, ограничивающая перемещения вдоль трёх осей координат и вращения вокруг них;
- контакт поверхностей («палец-оснастка», «палец-нагрузочное устройство», «оснастка-гайка»), реализующий метод штрафных функций;
- принудительное перемещение независимого узла для перемещения поверхности нагрузочного устройства.

• статический μ_s и кинетический μ_k коэффициенты трения 0,2 и 0,1 соответственно. Основываясь на изотропной кулоновской модели, трение можно идеализировать как возрастающую силу сопротивления, направленную против усилий сдвига с нулевым тангенциальным скольжением в месте контакта, вплоть до достижения статической силы трения. После достижения статической силы трения начинается скольжение, и сила статического трения переходит в кинетическую, которая после начала скольжения остается постоянной. На рисунке 3.7 данное представление силы трения показано в виде кусочно-линейного графика [92-97,101].

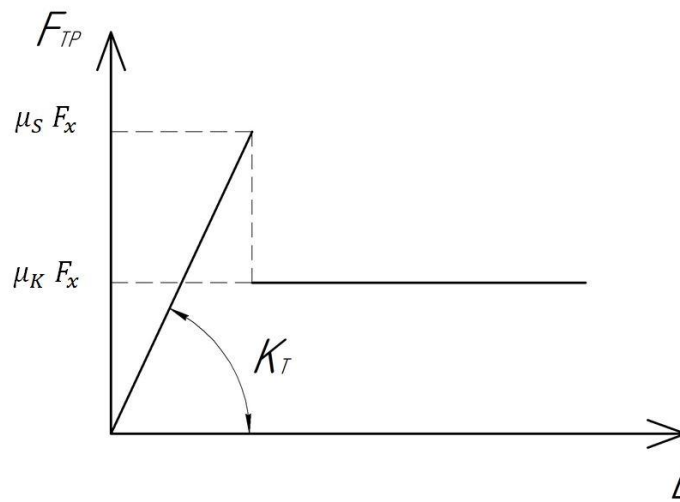


Рисунок 3.7 – Модель кулоновского трения:

F_x – нормальная сила; $\mu_s \cdot F_x$ – статическая сила трения, $\mu_k \cdot F_x$ – кинетическая сила трения, K_T – жесткость контакта

Однако в анализе методом конечных элементов такая идеализация может привести к трудностям сходимости из-за наличия разрыва между двумя линейными участками. Поэтому используется модель нелинейной пружины, в которой поперечная сила трения линейно увеличивается с расстоянием скольжения пропорционально жесткости K_T , пока не достигнет статической силы трения, равной $\mu_s \cdot F_x$ (где F_x - нормальная сила в контактном элементе), а затем переключается на кинетическую силу трения, равную $\mu_k \cdot F_x$, которая после этого остается постоянной [98-101].

В рамках нелинейного анализа модель пружины реализована на основе фиксированного расстояния скольжения (рисунок 3.8), задаваемого как параметр FRICESL, который обеспечивает однозначную идентификацию «прихвата» или проскальзывания, имеет высокую производительность и сходимость при решении из-за стабильной обработки переходов от «прихвата» к скольжению [98-101].

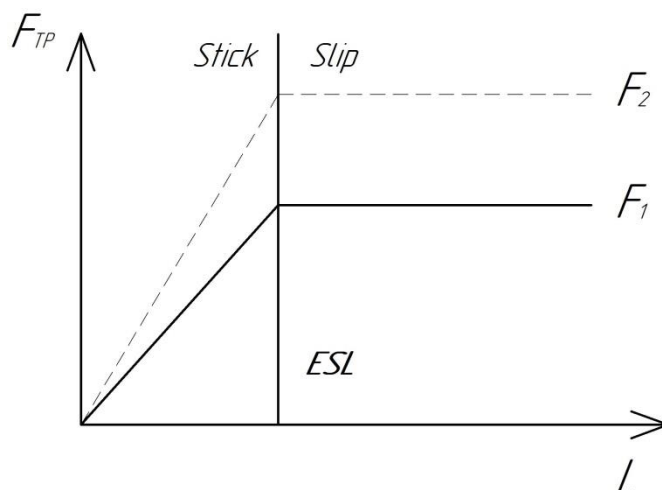


Рисунок 3.8 – Модель трения на основании взаимного упругого скольжения (Stick – «прихват», Slip – «скольжение»)

По результатам вариации значений статического и кинетического коэффициентов трения μ_s и μ_k достигается приемлемая точность получаемого результата [98-100].

Стоит отметить, что программный комплекс, реализующий метод конечных элементов путем определения матрицы жесткости и векторов нагрузок элементов и конструкции в целом, их преобразования с целью учета граничных условий и решения получаемого уравнения, не имеет определяющего значения с точки зрения учёта особенностей задачи в изложенной выше постановке. Описанный расчёт может быть проведён в любом из распространённых в настоящее время программных комплексов решателями, использующими явные методы решения уравнений динамических процессов с большой степенью деформации [26].

3.4.3 Валидация разработанной модели

Испытания проводились на шести образцах шаровых пальцев наружных рулевых наконечников Gazelle Next, отобранных из одной партии, на сервогидравлическом пульсаторе (рисунок 3.9). Для получения силы F_{nl} в момент начала пластической деформации по полученной в процессе испытания диаграмме сила-перемещение использовалась методика, описанная в п. 3.2.



Рисунок 3.9 – Сервогидравлический пульсатор

На рисунках 3.10 – 3.15 приведены полученные в результате испытаний диаграммы сила-перемещение для шести образцов.

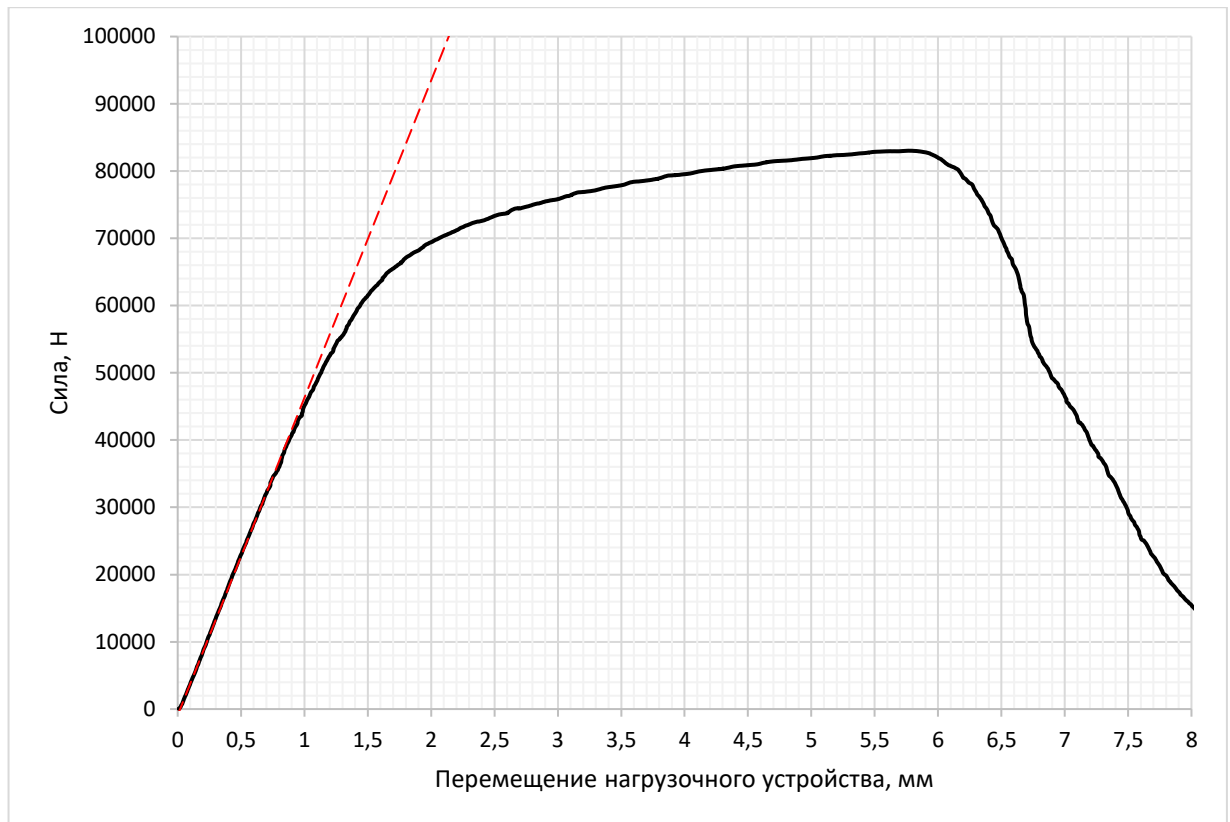


Рисунок 3.10 – Диаграмма сила-перемещение для образца №1 шарового пальца

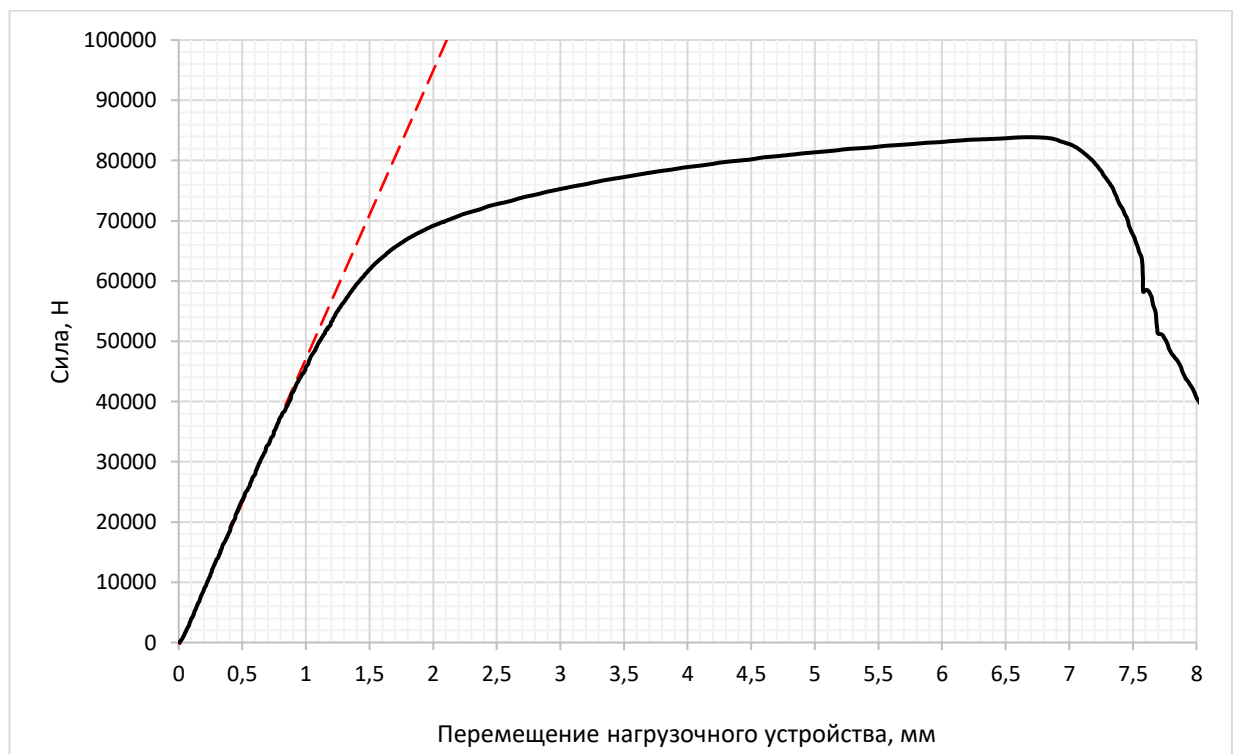


Рисунок 3.11 – Диаграмма сила-перемещение для образца №2 шарового пальца

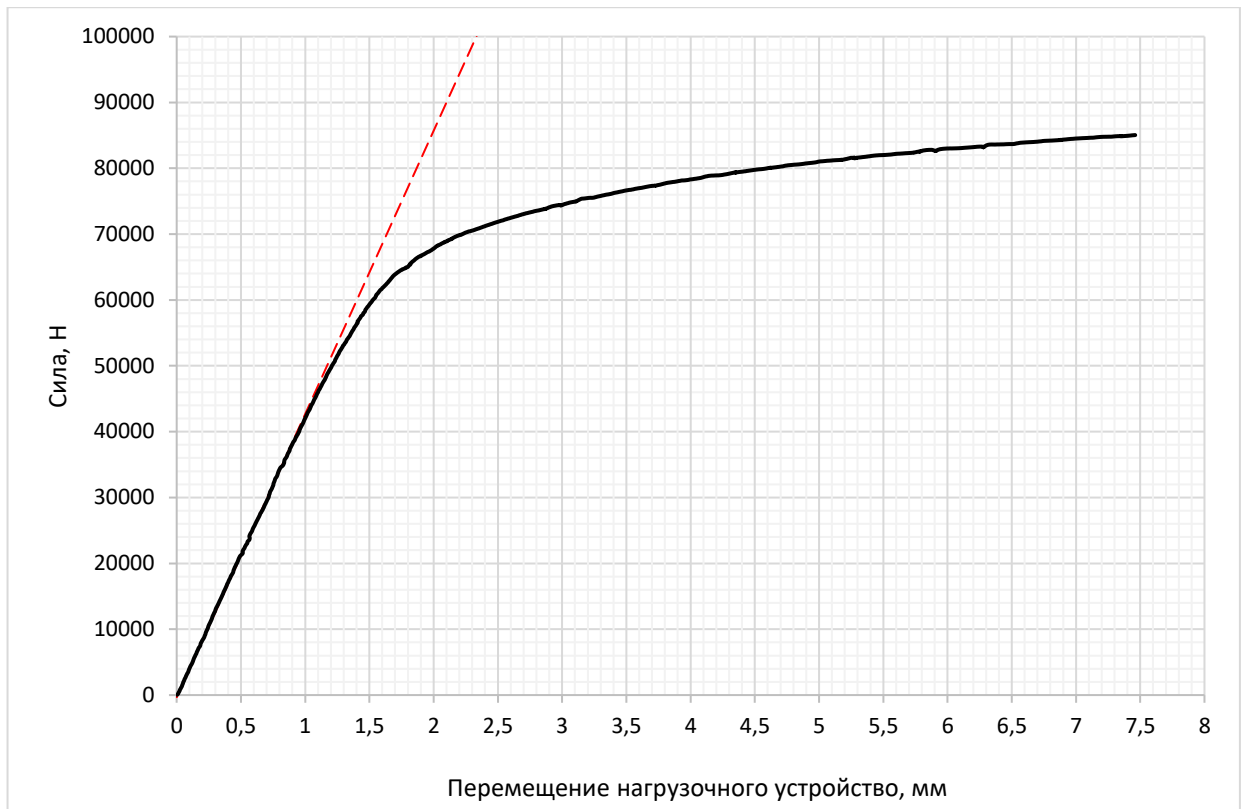


Рисунок 3.12 – Диаграмма сила-перемещение для образца №3 шарового пальца

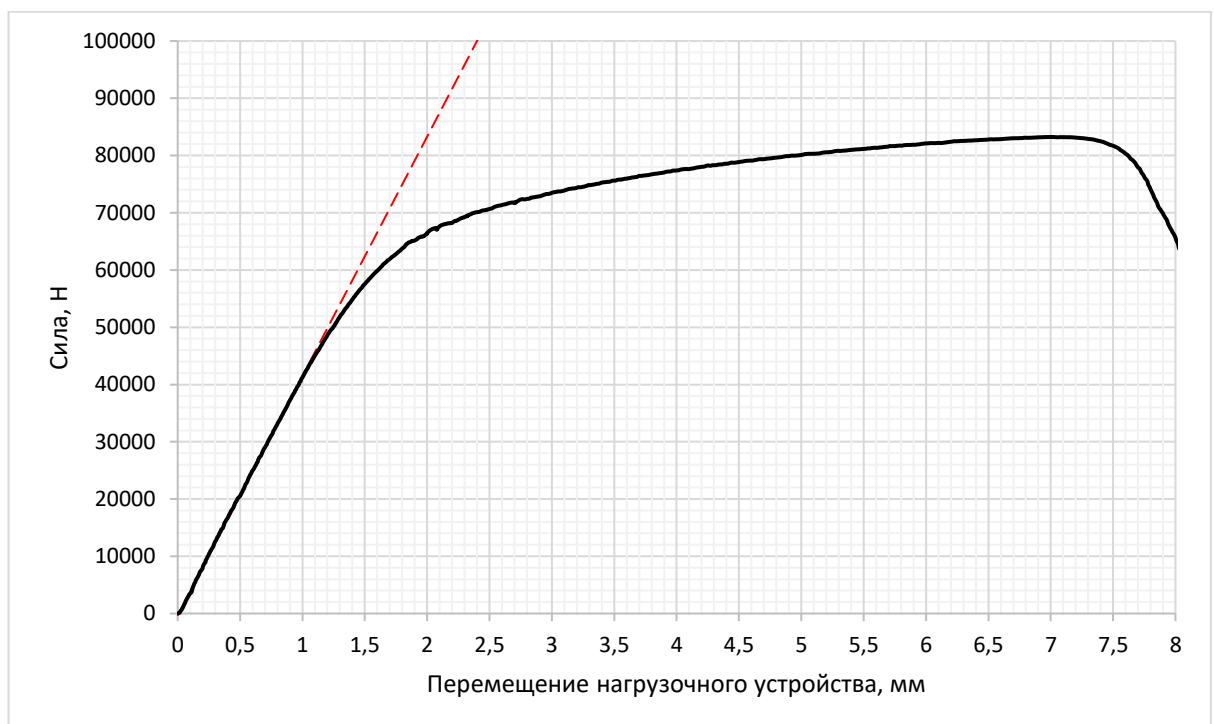


Рисунок 3.13 – Диаграмма сила-перемещение для образца №4 шарового пальца

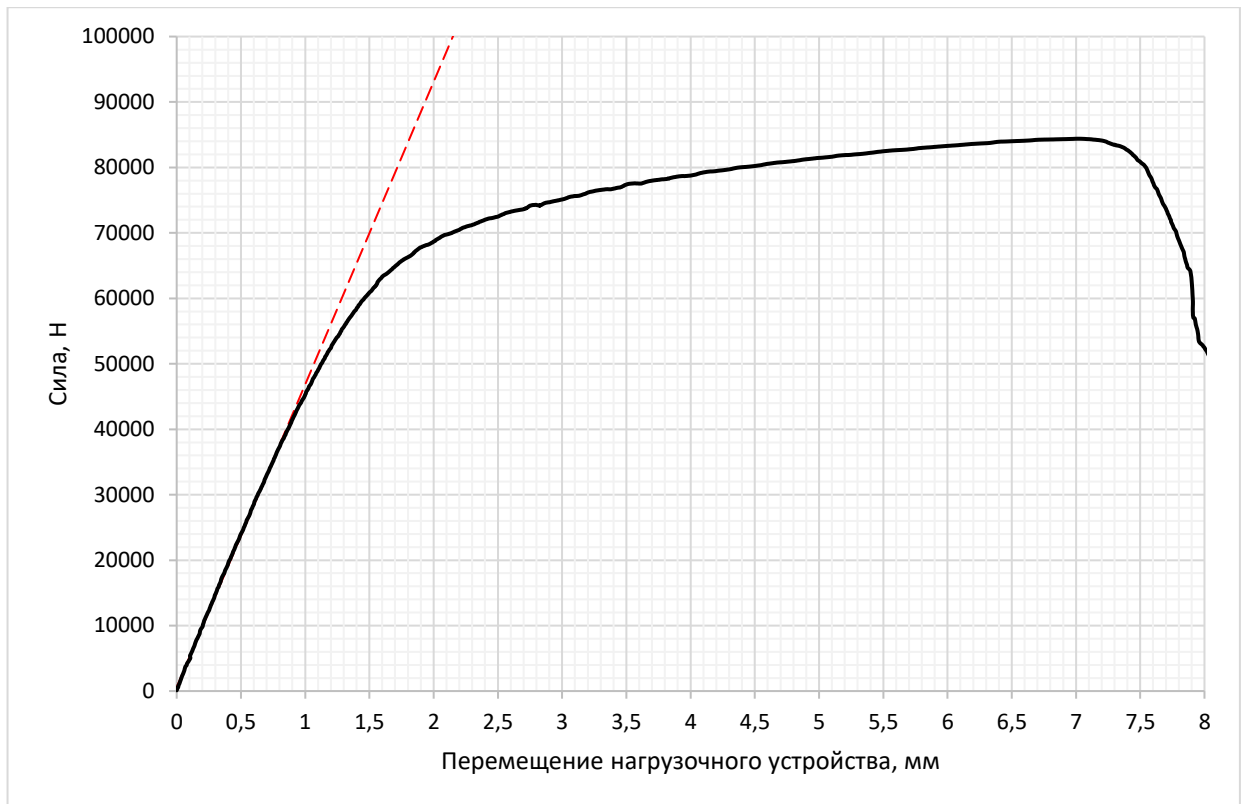


Рисунок 3.14 – Диаграмма сила-перемещение для образца №5 шарового пальца

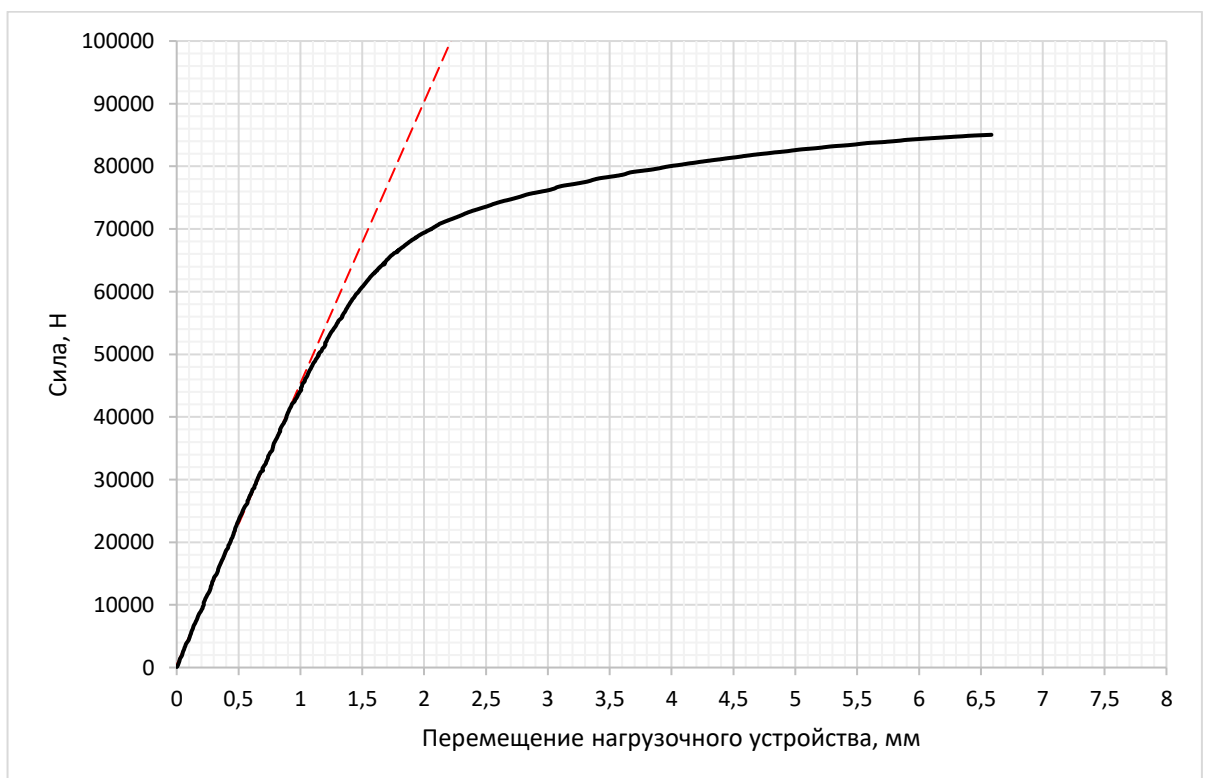


Рисунок 3.15 – Диаграмма сила-перемещение для образца №6 шарового пальца

В таблице 3.5 приведено сравнение расчетных и экспериментальных усилий в момент начала пластических деформаций. Из таблицы видно, что относительная погрешность результатов расчета в сравнении с экспериментальными данными не превышает 7%. Напряжение со стороны растянутых волокон при перемещении $S_{раз}^{min} = 4$ мм составило 912 МПа, что не превысило расчетного значения предела прочности $\sigma_g = 1125 \dots 1140$ МПа. Это позволяет говорить об отсутствии трещин на таком перемещении.

Таблица 3.5 – Сравнение расчетных и экспериментальных данных

	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 $S_{раз}^{min} = 4$ мм, МПа	
	$F_{пл}^{эксп}, Н$	$F_{пл}^{расч}, Н$			
№ образца	1	45250	43100	4,8	912 < σ_g
	2	44850		3,9	
	3	45530		5,3	
	4	45590		5,5	
	5	42360		1,7	
	6	45970		6,2	

На рисунке 3.16 приведены экспериментальные и расчетные зависимости силы от перемещения нагрузочного устройства. На рисунках 3.17-3.18 приведены картины деформаций и напряжений по Мизесу шарового пальца при перемещении $S_{раз}^{min} = 4$ мм.

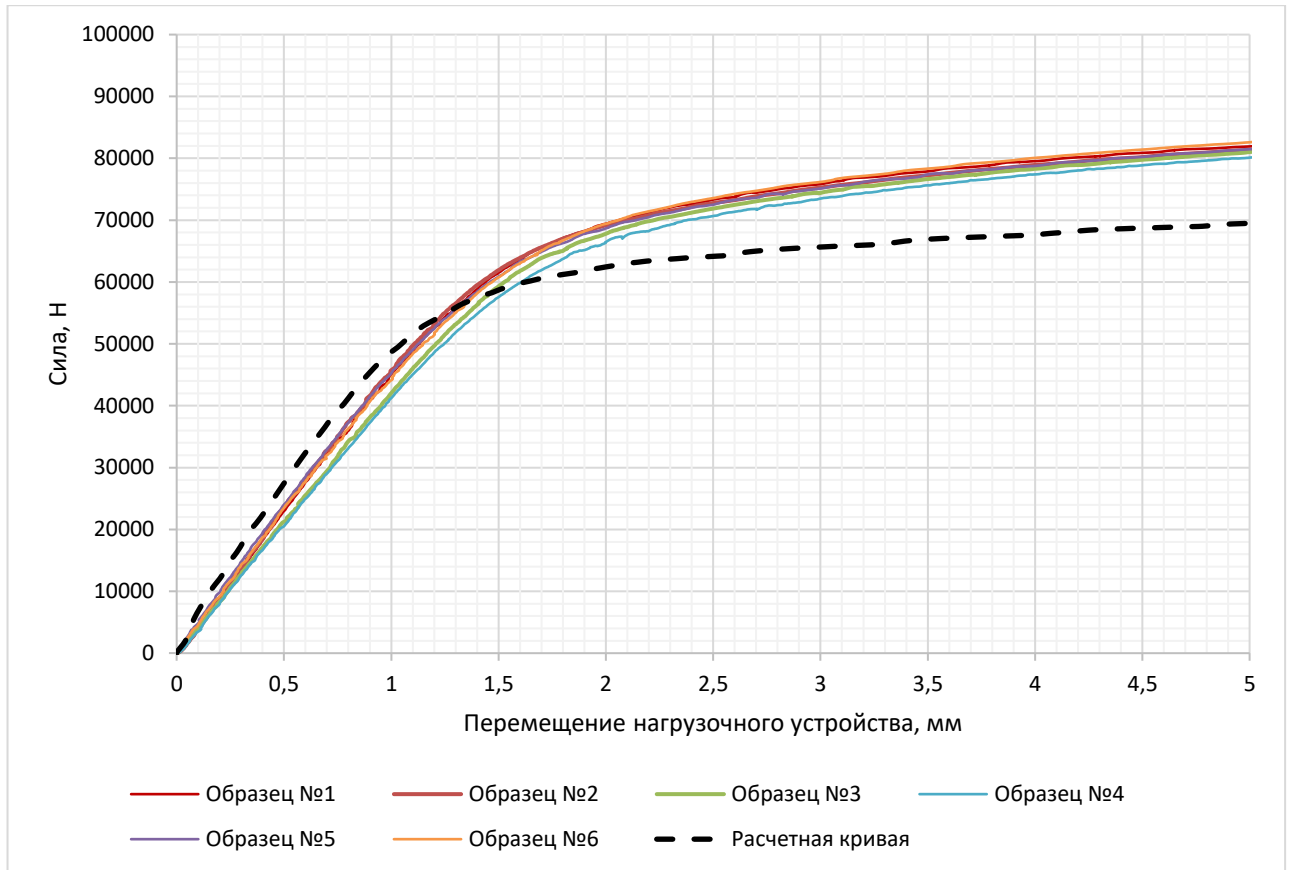


Рисунок 3.16 – Экспериментальные и расчетная зависимости силы от перемещения нагрузочного устройства

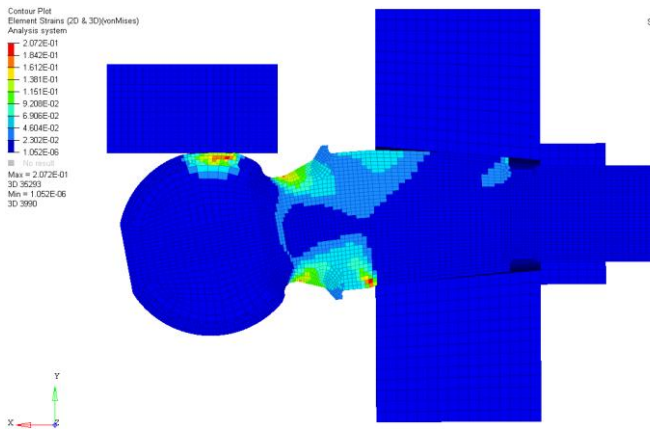


Рисунок 3.17 – Картина деформаций пальца шарового $S_{раз}^{min} = 4 мм$

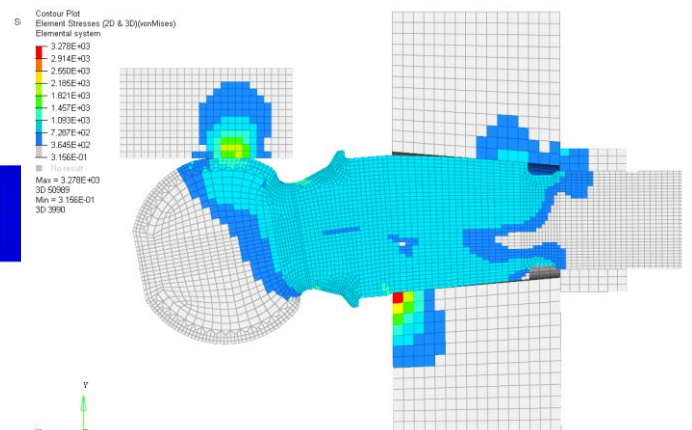


Рисунок 3.18 – Картина напряжений по Мизесу пальца шарового при перемещении на $S_{раз}^{min} = 4 мм$

Наклон расчетных и экспериментальных кривых, характеризующий жесткость конструкции, отличается в силу того, что при расчете не учитывалась

податливость нагрузочного устройства и резьбового соединения. Незначительные отклонения результатов расчетов усилия $F_{пл}$ от экспериментальных данных позволяют говорить об удовлетворительной точности разработанной конечно-элементной модели для ее использования в дальнейших исследованиях.

Оценка адекватности модели проводилась по средним значениям откликов модели и системы. Для полученного в результате моделирования значения усилия начала пластических деформаций вычисляется его t-статистика на основе экспериментальных данных и сравнивается с t-распределением Стьюдента для проведенного количества опытов и выбранного уровня доверительной вероятности.

Таблица 3.6 – Данные для оценки адекватности модели

№ образца	Усилие в момент начала пластической деформации, Н	Среднее значение, Н	Среднеквадратическое отклонение, Н	t-статистика для $F_{расч}=43100$ Н
1	45250	44925	1311	1,392
2	44850			
3	45530			
4	45590			
5	42360			
6	45970			

Для доверительной вероятности 0,95 и количества опытов $N=6$ $t_{кр}=2,447$, т.е. $t < t_{кр}$ [102,103].

Таким образом, разработанная модель процесса статических испытаний шарового пальца на изгиб являлась адекватной для расчета усилия начала пластической деформации с доверительной вероятностью 0,95.

3.5. Выводы по главе 3

По результатам проведенной работы можно сделать следующие выводы:

1. Применение комплекса методических инструкций по качеству позволяет сократить сроки проектирования и снижает степень неопределенности результатов проектирования, что подтверждается на примере проектирования шарового пальца наружного рулевого наконечника автомобиля Gazelle Next, в частности,

проведение расчета шарового пальца на изгиб для определения характеристик изгибной прочности при использовании МИК-ОГК-8.3-02-ОТР-2-04 «Обеспечение статической и усталостной прочности пальца шарового»;

2. 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. Сравнение расчетных и экспериментальных данных доказало адекватность разработанной КЭМ. Разработанная КЭМ может быть применена в дальнейшем в процессе проектирования перспективных изделий.

ГЛАВА 4. РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ПРОЕКТИРУЕМЫХ ВНУТРЕННИХ РУЛЕВЫХ НАКОНЕЧНИКОВ АВТОМОБИЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОЦЕССА ОПРЕССОВКИ

4.1 Формирование неразъемного соединения внутреннего рулевого наконечника

Неразъемное соединение шарового пальца наконечника и корпуса формируется посредством пластической деформации (опрессовки) корпуса. От качества процесса опрессовки зависит равномерность распределения нагрузки по рабочей поверхности вкладыша со стороны сферы шарового пальца и сферической поверхности сформированного корпуса [85,90,109].

Технологический процесс сборки наконечника состоит из двух технологических операций: под сборки и опрессовки [85].

На первой операции опорное кольцо помещается на дно корпуса, затем на опорное кольцо размещается вкладыш. Затем, внутрь вкладыша вносится консистентная смазка, после чего во вкладыш устанавливается шаровый палец. После операции под сборки следует операция опрессовки. Подсобранный изделие помещается в матрицу. (рисунок 4.1).

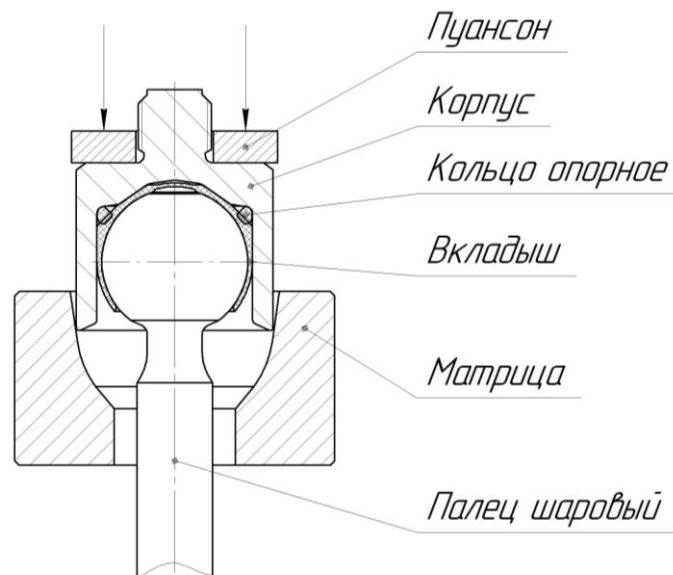


Рисунок 4.1 – Подсборка внутреннего рулевого наконечника и установка в матрицу

Опорное кольцо, применяемое в данной конструкции для исключения зазора в шарнире в процессе длительной эксплуатации и гашения высокочастотных вибраций, передающихся от опорной поверхности дороги через рулевые тяги [57,58], выполнено с поперечным сечением в форме равнобедренного треугольника (рисунок 4.2), большее основание которого представляет из себя сектор окружности, а места сопряжения и вершина треугольника выполнены скругленными, причем вершина треугольной части поперечного сечения выполнена в направлении к оси кольца. Площадь поперечного сечения опорного кольца не превышает площадь полости, образованной поверхностями корпуса и вкладыша. После опрессовки компенсатор упруго деформируется и выполняет свою функцию благодаря накопленной потенциальной энергии деформации. Указанная конструкция защищена патентом на полезную модель [58].

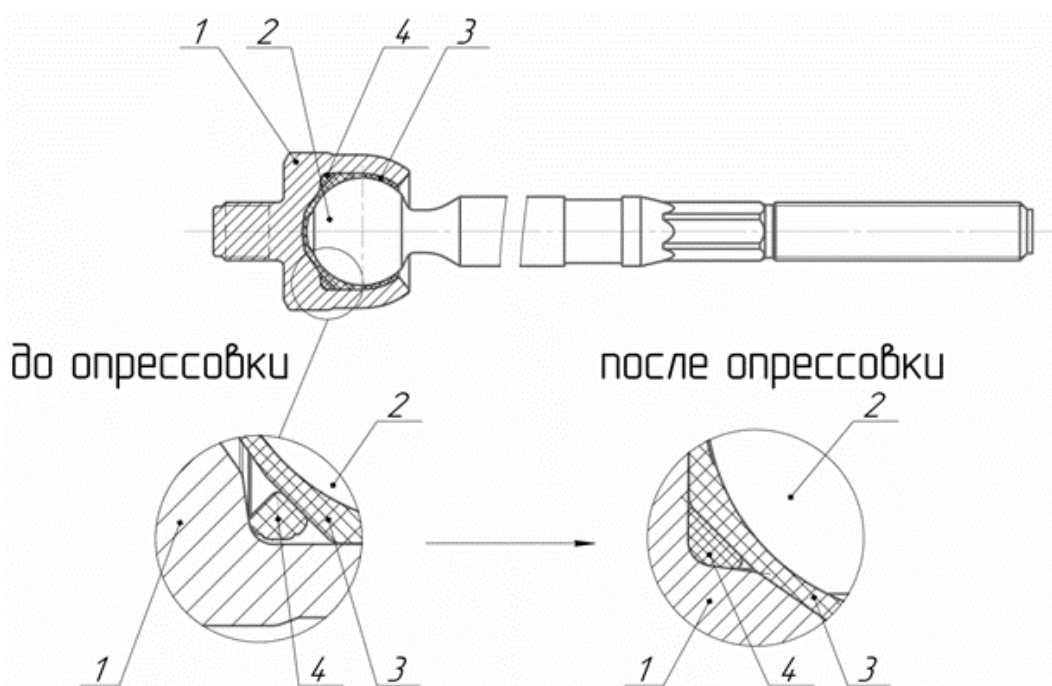


Рисунок 4.2 – Состояние опорного кольца до и после опрессовки
1 – корпус; 2 – палец шаровой; 3 – вкладыш; 4 – опорное кольцо

Затем пуансон, перемещаясь в осевом направлении, воздействует на плоский торец корпуса, деформируя его в матрице. На рисунке 4.3 показан результат опрессовки внутреннего рулевого наконечника.

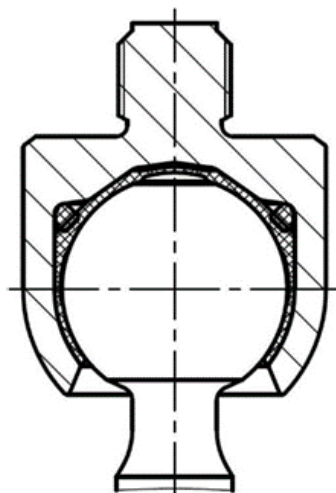


Рисунок 4.3 – Вид сдеформированного (опрессованного) корпуса

Важными вопросами при проектировании внутреннего рулевого наконечника и технологического процесса его производства являются:

1. Определение максимального усилия опрессовки внутреннего рулевого наконечника с целью разработки технического задания (ТЗ) 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 сдеформированного 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.

Оценить степень равномерности обжатия можно на готовом внутреннем рулевом наконечнике по его функциональным характеристикам:

- Момент сопротивления качанию пальца;
- Момент страгивания при качании пальца;
- Осевой зазор в шарнире;
- Осевая жесткость шарнира.

Если данные характеристики удовлетворяют соответствующим функциональным требованиям, шарнирное соединение считается качественным.

Анализ открытых источников выявил отсутствие какой-либо информации об определении максимального усилия опрессовки внутреннего рулевого наконечника, а также о выборе технологических параметров процесса опрессовки, которые непосредственно оказывают влияние на характер деформации корпуса наконечника, а, следовательно, и на функциональные характеристики.

Указанные параметры были определены по результатам моделирования процесса опрессовки внутреннего рулевого наконечника с использованием метода конечных элементов [57,87,90].

4.2 Разработка конечно-элементной модели (КЭМ) процесса опрессовки внутреннего рулевого наконечника

Максимальное усилие, реализуемое прессом, предлагается определять в результате моделирования процесса опрессовки внутреннего рулевого наконечника методом конечных элементов по явной схеме интегрирования с учетом физической и геометрической нелинейности. Максимальное усилие, реализуемое прессом, определялось для корпуса внутреннего рулевого наконечника автомобиля Gazelle Next с диаметром сферы пальца $\varnothing 32$ мм с максимально возможной твердостью с целью обеспечения запаса по усилию. Также геометрические размеры корпуса, оказывающие существенное влияние на усилие опрессовки – внутренний и наружный диаметры цилиндрических поверхностей корпуса – задаются таким образом, чтобы толщина стенки корпуса была максимальной. Решение этой задачи позволяет определиться с выбором прессы у поставщика сборочной линии.

О равномерности обжатия вкладыша и шаровой головки пальца внутренней поверхностью сдеформированного после опрессовки корпуса можно судить по форме сдеформированного корпуса, получившегося в результате моделирования. Наиболее рациональным соединением будет считаться при одновременном выполнении двух критериев [87]:

- Критерий №1: центр внутренней сферической поверхности сдеформированного корпуса должен совпадать с теоретическим положением центра сферы пальца (рисунок 4.4), т.е размер $\delta \rightarrow 0$

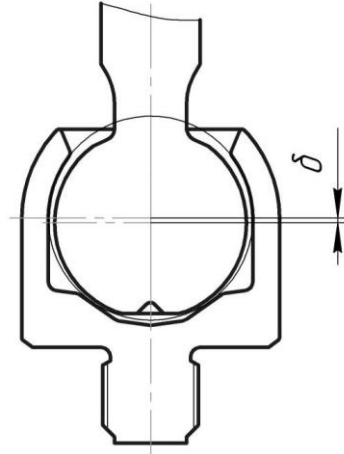


Рисунок 4.4 – К определению критерия №1

- Критерий №2: разность между диаметром внутренней цилиндрической поверхности корпуса до деформации и внутренней сферической поверхностью сдеформированного корпуса должна стремиться к 0 (рисунок 4.5), т.е. $d_{k1} - d_{k2} \rightarrow 0$

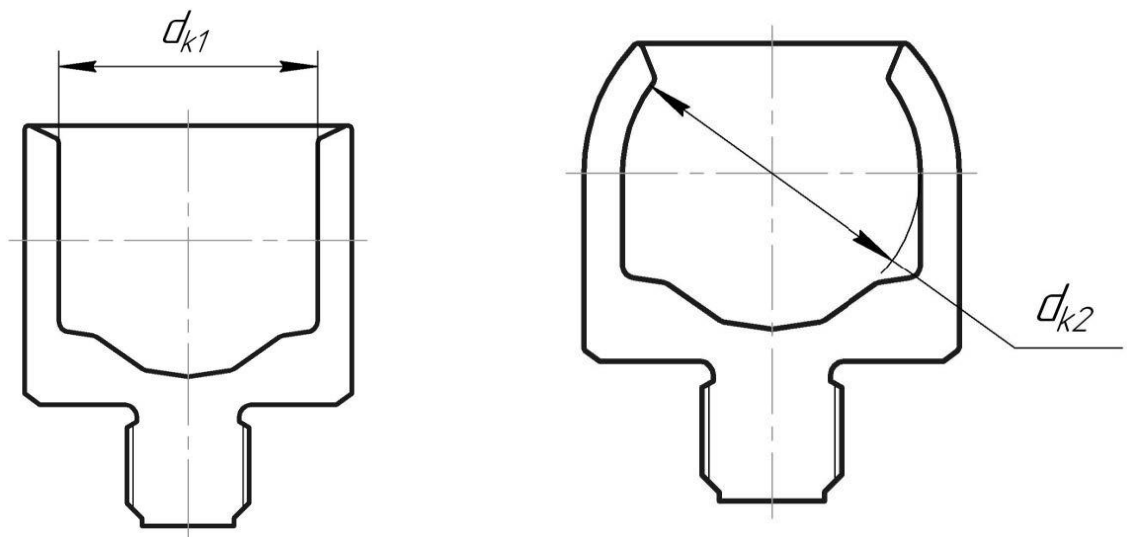


Рисунок 4.5 – К определению критерия №2

Физической нелинейностью является нелинейное упруго-пластическое поведение материала. Поскольку зачастую изготовить образцы, испытать их на разрывной машине и обработать инженерную кривую растяжения не всегда

представляется возможным, для расчетов удобно использовать поведение материала, описанное билинейной диаграммой растяжения, подробно описанной в главе 3.

Геометрической нелинейностью в модели является наличие контакта, реализованного методом штрафных функций «мастер-поверхность – зависимые узлы», когда между мастер-поверхностью и зависимыми узлами формируются пружины с управляемой жесткостью. Также между поверхностями задан постоянный коэффициент трения скольжения [87].

Расчетная схема представляет из себя конструкцию, где в ограниченную по шести степеням свободы матрицу принудительно перемещается корпус под действием пуансона (рисунок 4.6) [57,87,90].

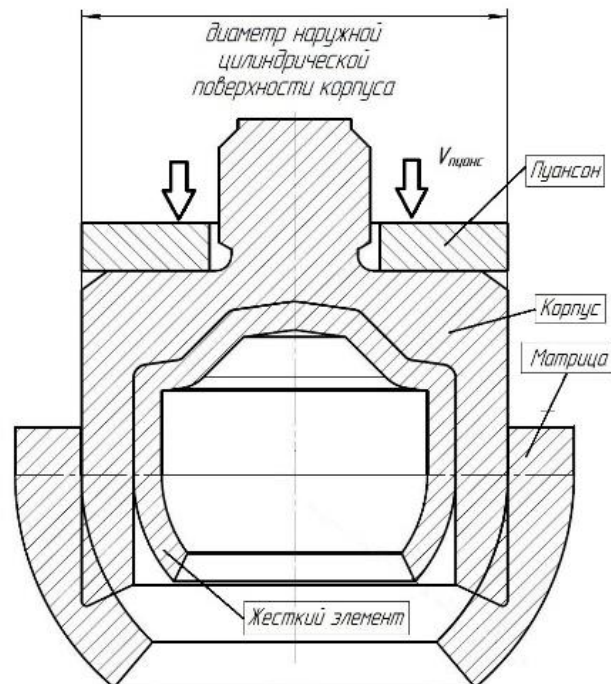


Рисунок 4.6 – Расчетная схема процесса опрессовки внутреннего наконечника

Основные допущения, принятые в конечно-элементной модели [57,65,87,90]:

- в силу симметрии задачи рассматривают 1/12 часть шарнира с граничными условиями симметрии;
- упруго-пластическое поведение материала корпуса описывается билинейной диаграммой напряжения-деформации;

- шаровой палец, опорное кольцо и вкладыш представляют собой единый жесткий элемент «палец – опорное кольцо – вкладыш» ввиду того, что наличие вкладыша из высоковязкого ацетального гомополимера и резинового опорного кольца в силу меньших по сравнению с корпусом и шаровым пальцем жесткостей, не оказывают существенного влияния на процесс опрессовки [87,90]. В рамках проведённых экспериментальных работ была доказана справедливость данного допущения;

- поведение материала жесткого элемента «палец – опорное кольцо – вкладыш», матрицы и пуансона описывается линейной зависимостью.

Организация конечно-элементной сетки шарового пальца, корпуса, элемента «палец – опорное кольцо – вкладыш», пуансона и матрицы осуществлялась аналогично описанной в главе 3. В модель введены дополнительные балочные элементы типа RBE2 (Rigid Body Element, Form 2) для определения искомого максимального усилия опрессовки. Расчётное усилие опрессовки считают равным максимальному значению продольной силы, возникающей в вертикально ориентированном балочном конечном элементе (рисунок 4.7).

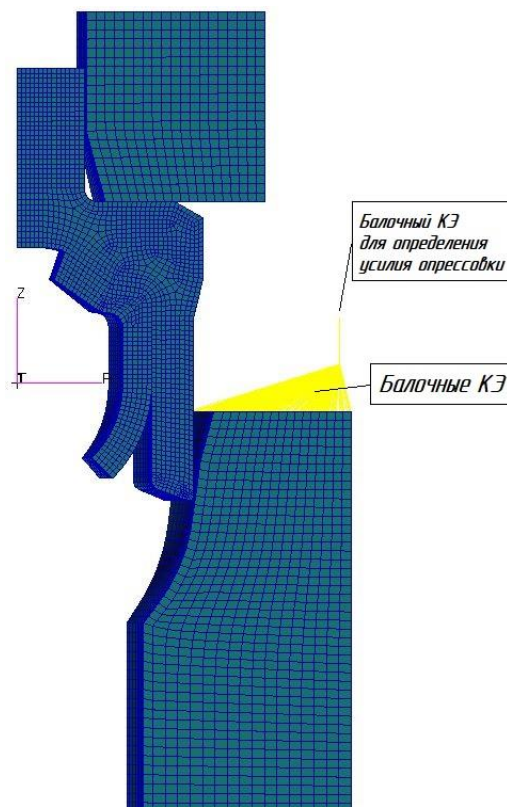


Рисунок 4.7 – Конечно-элементная модель

КЭМ содержала следующие граничные условия [57,87,90]:

- симметрии;
- заделка в узле балочного элемента, исключая перемещения вдоль трёх осей координат и вращения вокруг них;
- контакт поверхностей (корпуса и матрицы, корпуса и элемента «палец – опорное кольцо-вкладыш», корпуса и пуансона) моделировался по принципу «мастер-поверхность – зависимые узлы», реализующему метод штрафных функций. Также между контактирующими поверхностями задан статический коэффициент трения пары «сталь-сталь» $\mu = 0,2$ [57,87,90];
- принудительное перемещение узлов, находящихся на контактной поверхности пуансона.

Механические свойства материалов объектов, использованных в численной модели, сведены в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 – Механические материалы объектов, использованных в численной модели

Объект	Твердость <i>НВ, кгс / мм²</i>	Коэффициент Пуассона μ	Модуль упругости и <i>E, МПа</i>	Предел текучести $\sigma_T, МПа$	Предел прочности $\sigma_\sigma, МПа$	Относительное удлинение, $d_5, \%$	Модуль упрочнения <i>H, МПа</i>
Корпус	280 НВ	0,33	$2,1 \cdot 10^5$	767,7	950	0,56	328,1
Палец- вкладыш	-	0,33	$2,31 \cdot 10^5$	-	-	-	-
Матрица	-	0,33	$2,31 \cdot 10^5$	-	-	-	-
Пуансон	-	0,33	$2,31 \cdot 10^5$	-	-	-	-

Картины деформации и напряженно-деформированного состояния, полученные в результате расчета, представлены на рисунке 4.8 *а, б*. Расчетная зависимость «сила-перемещение» приведена на рисунке 4.9. Максимальное усилие фиксируется на перемещении, соответствующем совпадению по вертикали центра сферы жесткого элемента и центра сферического участка матрицы.

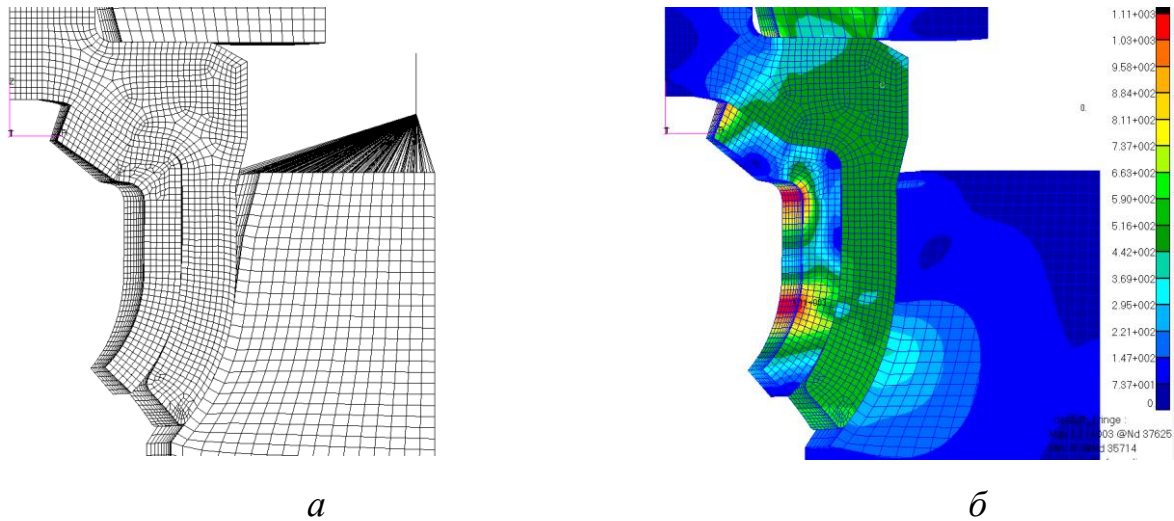


Рисунок 4.8 – Результаты расчета

а – картина деформаций; б – картина напряжений по Мизесу

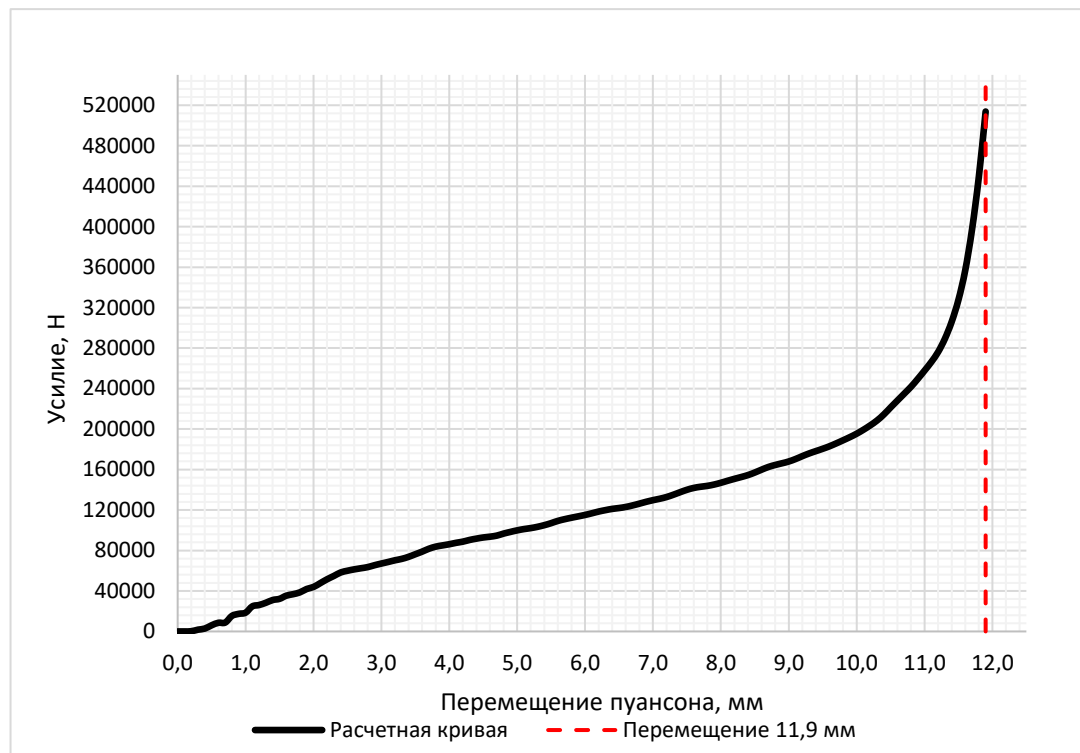


Рисунок 4.9 – Расчетная зависимость усилия от перемещения пуансона

По результатам моделирования определено максимальное усилие, реализуемое прессом, и оно составило 520 кН. На основании данного расчета было сформулировано Техническое задание (ТЗ) на сборочную линию, в частности, на пресс, как основной компонент сборочной линии [87].

Значения описанных выше критериев оценки качества шарнирного соединения, полученные в результате моделирования и по результатам измерения осевого сечения образцов из опытной партии в количестве 5 шт., приведены в таблице 4.2. Вид осевого сечения образца представлен на рисунке 4.10. Геометрические параметры матрицы подбирались итерационно [87].

Таблица 4.2 – Критерии оценки качества шарнирного соединения

Критерий	Значения по результатам моделирования	Экспериментальные значения
δ	0,01...0,03	0,025...0,03
$d_{k1} - d_{k2}$	0,06...0,08	0,07...0,085



Рисунок 4.10 – Вид осевого сечения образца после опрессовки

Стоит отметить, что полученные значения функциональных характеристик после осуществления операции опрессовки для указанных пяти образцов из опытной партии оказались в требуемых интервалах.

4.3 Валидация численной модели

Для валидации численной модели была проведена опытная сборка десяти внутренних наконечников на стадии проектирования сборочной линии для

внутренних рулевых наконечников с диаметром сферы $\varnothing 26$ мм автомобиля LADA XRAY Cross. Производилась запись диаграммы сила-перемещение. Предварительно были измерены наружный и внутренний диаметры цилиндрических поверхностей корпуса и его твердость в области горловины. Наружный D и внутренний d диаметры цилиндрических поверхностей корпуса в численной модели соответствуют 90% вероятности (рисунки 4.11 – 4.14) [102,103]. Для наружного диаметра D значение математического ожидания 36,95 мм, дисперсии 0,00449. Для внутреннего диаметра d значение математического ожидания 28,19 мм, дисперсии 0,00036.

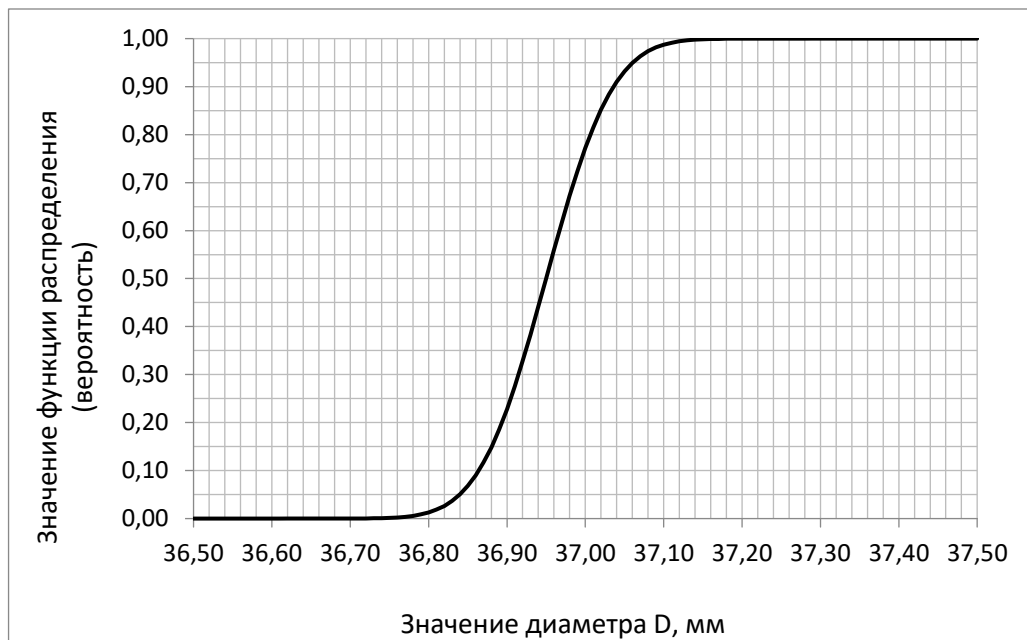


Рисунок 4.11 – Значение функции распределения диаметра $D = \varnothing 37 (-0,2)$ при нормальном распределении

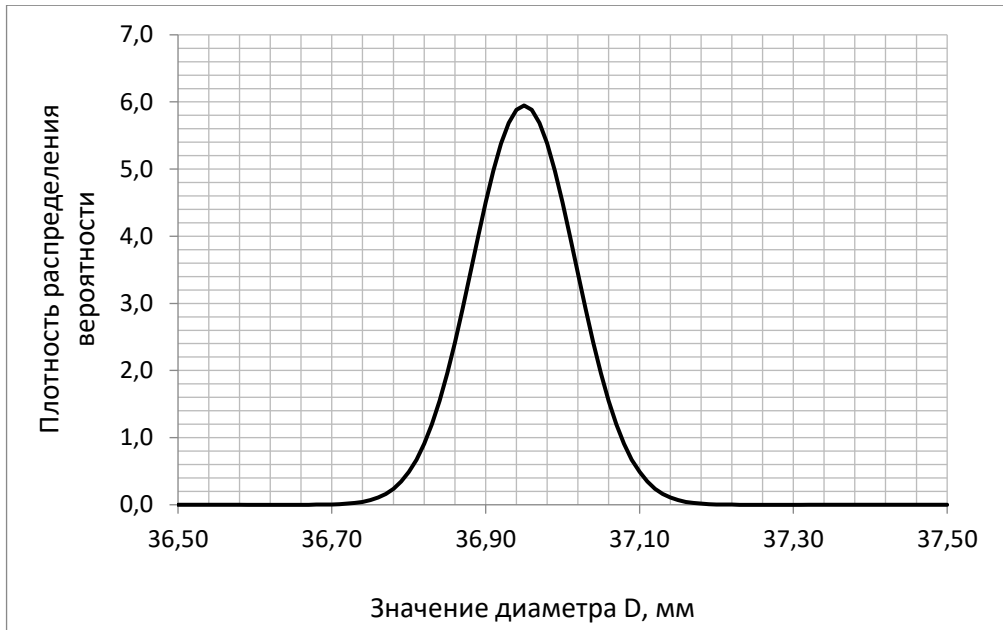


Рисунок 4.12 – Значение плотности вероятности диаметра $D = \text{Ø}37 (-0,2)$ при нормальном распределении

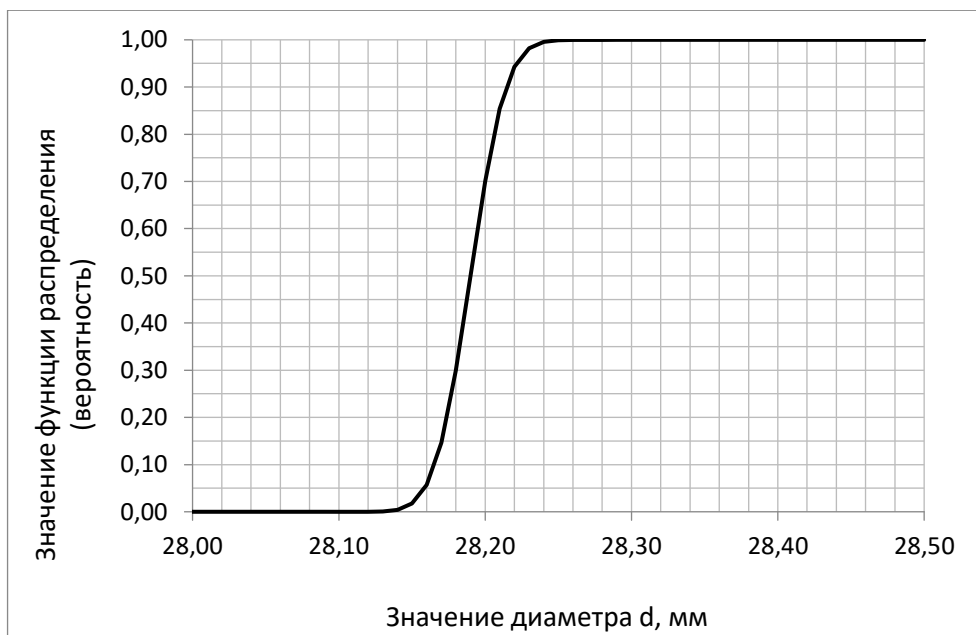


Рисунок 4.13 – Значение функции распределения диаметра $d = 28,15 (+0,12)$ при нормальном распределении

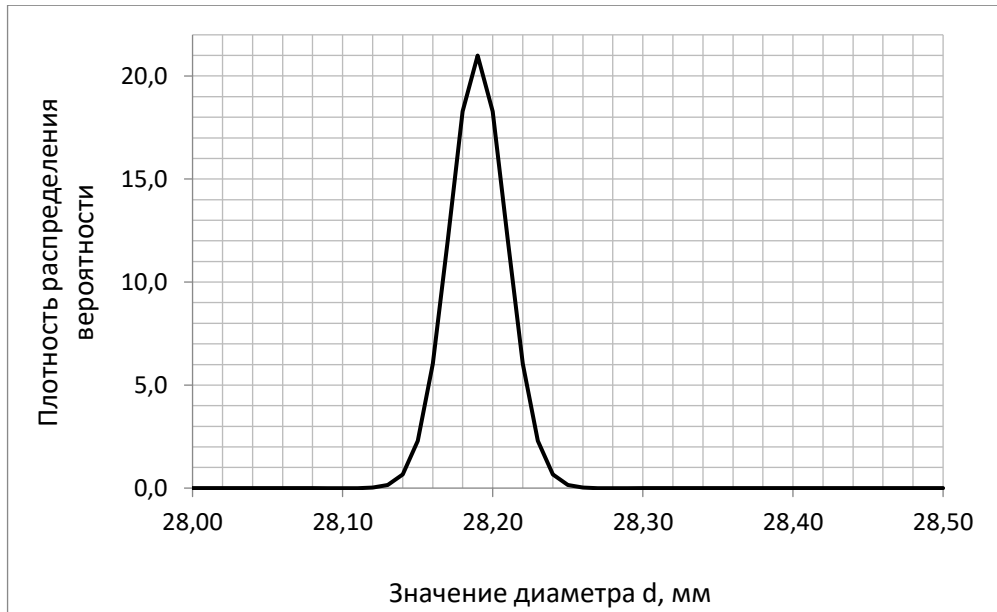


Рисунок 4.14 – Значение плотности вероятности диаметра $d = 28,15 (+0,12)$ при нормальном распределении

Среднее арифметическое перемещение пуансона в процессе сборки составило 9,77 мм. На этом перемещении фиксировалось максимальное усилие, реализуемое прессом.

Результаты расчета представлены на рисунке 4.15 и таблице 4.3.

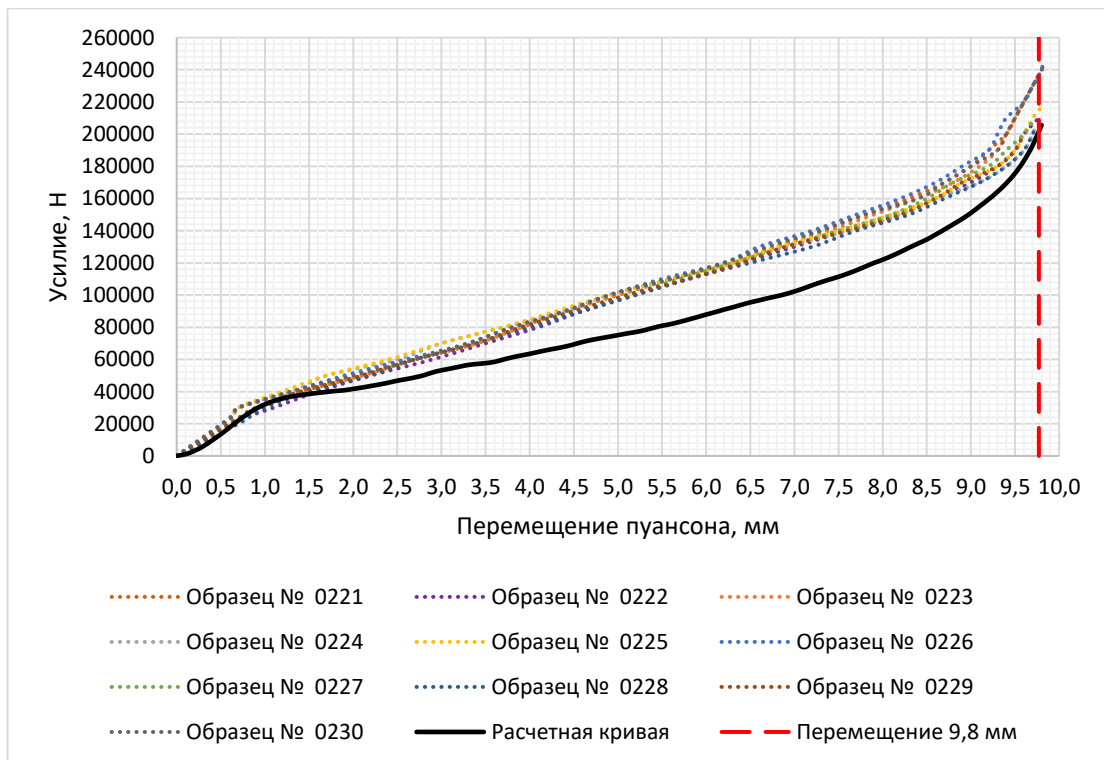


Рисунок 4.15 – Результаты валидации

Таблица 4.3 – Результаты расчета

Параметр	Среднее значение для образцов	Расчетное усилие
Усилие опрессовки, Н	221863	205644
Относительная погрешность, %	-	7,3

Разработанная КЭМ процесса опрессовки внутренних рулевых наконечников позволила определить максимальное усилие опрессовки, а также параметры технологического процесса на стадии проектирования с приемлемой степенью точности без проведения большого объема экспериментальных работ с физическими объектами. Разработанная КЭМ может быть применена при проектировании технологического процесса для перспективных изделий.

4.4 Разработка технического задания (ТЗ) на технологическую сборочную линию по производству внутренних рулевых наконечников

Для производства внутренних рулевых наконечников в условиях АО НПО «БелМаг» (г. Магнитогорск) было сформулировано техническое задание (ТЗ) на технологическую сборочную линию. 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).

В соответствии с требованиями технического задания линия сборки внутреннего рулевого наконечника состоит из группы рабочих станций. Обжимной пресс, формирующий неразъемное соединения корпуса и шарового пальца, выбран на основе расчетного усилия опрессовки внутреннего рулевого наконечника. Степень автоматизации линии - полуавтоматическая с ручной передачей полупродуктов между станциями. Линия рассчитана на суммарный объем выпуска изделий в объеме 900 тыс. шт/год. В целях исключения непреднамеренных ошибок

операторов в процессе сборки изделий рабочие станции оснащены системами защиты «РОКА-УОКЕ». На схеме расположения оборудования (рисунок 4.16) показано размещение шести рабочих станций.

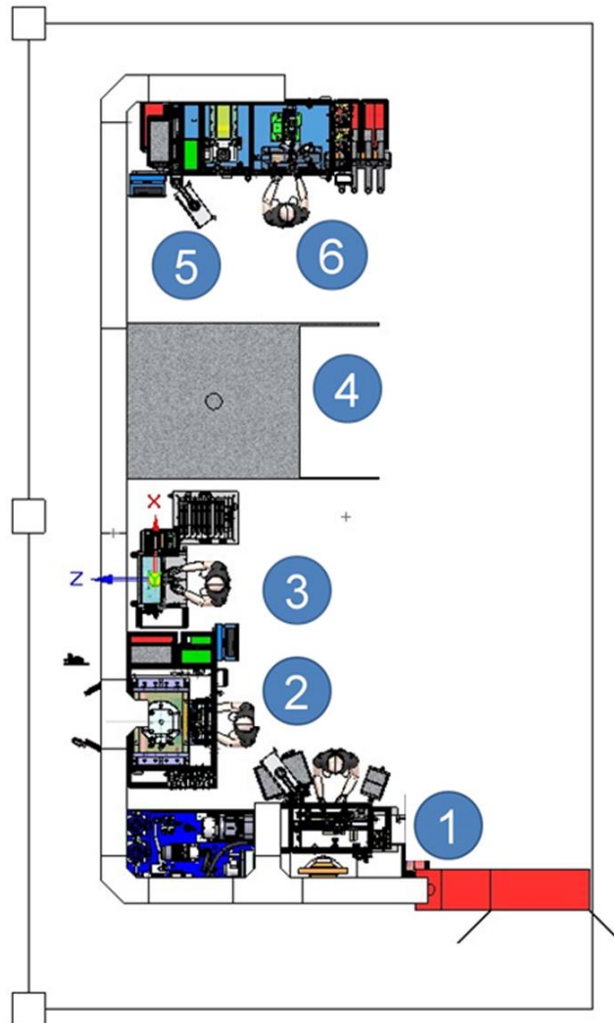


Рисунок 4.16 – Схема расположения оборудования

- 1 – Станция №1: стол предварительной сборки; 2 – Станция №2: обжимной пресс;
 3 – Станция №3: маркировочная система; 4 – Станция №4: печь термокалибровки;
 5 – Станция №5: экспресс-тестирование осевого зазора и осевой жесткости; 6 –
 Станция №6: экспресс-тестирование момента сопротивления качанию

1. *Стол предварительной сборки.* На этой станции выполняется операция подсортировки внутреннего рулевого наконечника. В свою очередь станция №1 состоит из следующих подстанций:

а) Зона измерения корпуса: на этой подстанции происходит измерение геометрических параметров корпуса с целью гарантированного выполнения функциональных требований, предъявляемых к наконечнику. Одновременно с выполнением функции измерения проверяется наличие опорного кольца внутри корпуса.

б) Зона смазки: на этой подстанции через смазочный клапан и дефлектор наносится смазка в полость вкладыша, предварительно установленного в корпус. Конструкция смазочного модуля линии и программного обеспечения должна поддерживать автоматическое дозирование смазки. Способ нанесения смазки и способ распределения смазки на контактной поверхности должны обеспечивать плавную работу шарнира. После нанесения смазки оператор должен вручную вставить палец во вкладыш.

Если результат измерения выходит за пределы допустимых значений, установленных в параметрах качества ПК, то в таком случае деталь считается бракованной.

2. *Обжимной пресс.* На этой станции производится ручная загрузка сборочного узла внутренней шаровой опоры в каретку. Пневматический привод перемещает его внутрь обжимного пресса, где выполняется опрессовка с предварительным поджатием опорного кольца. Схема приложения усилия предварительного поджатия и усилия опрессовки показано на рисунке 4.17.

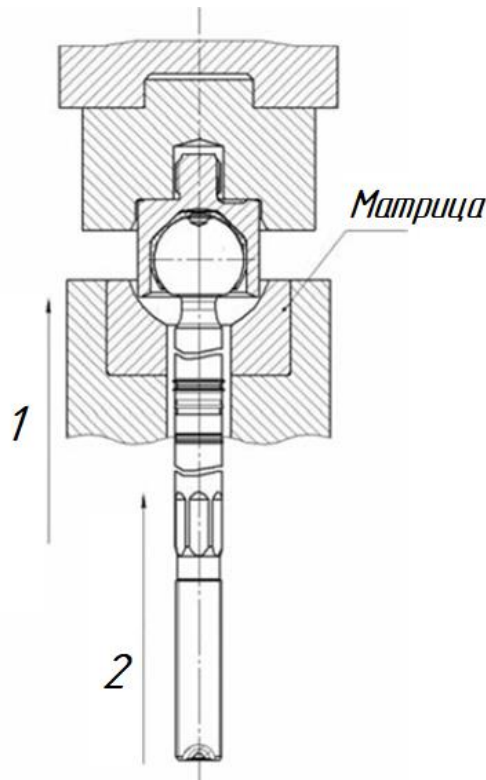


Рисунок 4.17 – Схема приложения усилия предварительного поджатия и усилия опрессовки

1 – усилие опрессовки; 2 – усилие предварительного поджатия

Изделие считается годным или негодным (ОК/НОК) в соответствии с критериями, установленными в параметрах персонального компьютера (ПК).

3. *Маркировочная система.* На этой станции на собранный рулевой наконечник должна наноситься маркировка. Маркировочное устройство обеспечивает иглоударный способ нанесения на цилиндрическую поверхность корпуса.

4. *Печь термокалибровки.* На этой станции детали выдерживаются в печи в определенных условиях. Детали размещаются на стеллажах тележки, рассчитанной на 540 деталей. После выполнения операции термокалибровки процесс продолжается на станциях №5 и №6.

5. *Экспресс-тестирование осевого зазора и осевой жесткости.* На этой станции измеряется осевой зазор шарового пальца внутри корпуса и осевая жесткость шарнира. Для выполнения контроля палец удерживается захватом за

стержень и выталкивается вниз и вверх с заданной силой с одновременным измерением смещения пальца и записью диаграммы «сила-перемещение» в соответствии с требованиями технической спецификации на изделие.

Конструкция и программное обеспечение станции тестирования линии сборки должны поддерживать процесс измерения осевого перемещения и осевой жесткости шарового шарнира (рисунок 4.18) на диаграмме «сила-перемещение» (рисунок 4.19) с возможностью регистрации и анализа на ПК. Указанные на рисунке параметры должны оцениваться системой на предмет соответствия продукции заданным значениям.

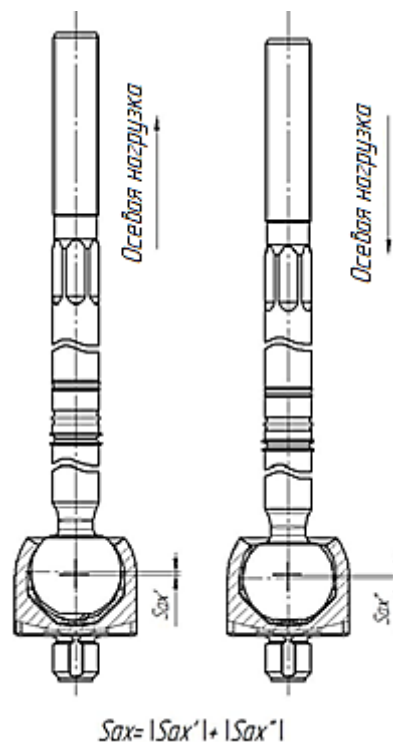


Рисунок 4.18 – Схема определения осевого перемещения

S_{ax} – суммарный осевой зазор

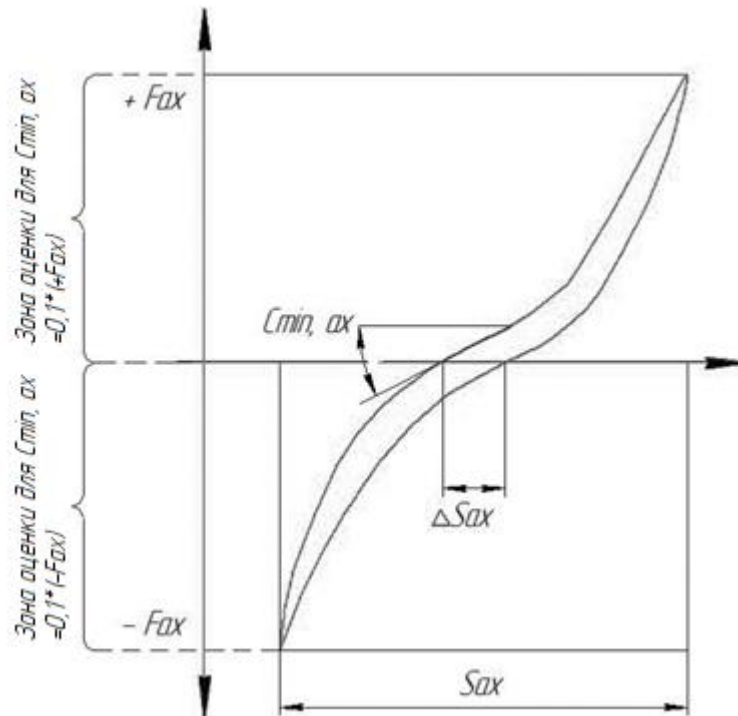


Рисунок 4.19 – Диаграмма зависимости силы от перемещения
 $C_{min, ax}$ – минимальная жесткость; S_{ax} – суммарный осевой зазор

6. Станция №6: экспресс-тестирование момента сопротивления качанию.

Эта станция должна измерять момент страгивания при качании, момент сопротивления при качании, угол качания шарового пальца относительно корпуса с записью диаграммы «крутящий момент – угол». Измерение выполняется в соответствии с требованиями технической спецификации на изделие.

Конструкция и программное обеспечение станции тестирования линии сборки должны поддерживать процесс измерения момента качания на диаграмме «крутящий момент – угол качания» (рисунок 4.20) и процесс измерения максимального угла наклона с возможностью регистрации и анализа на ПК. Указанные на рисунке параметры должны оцениваться системой на предмет соответствия продукции заданным значениям.

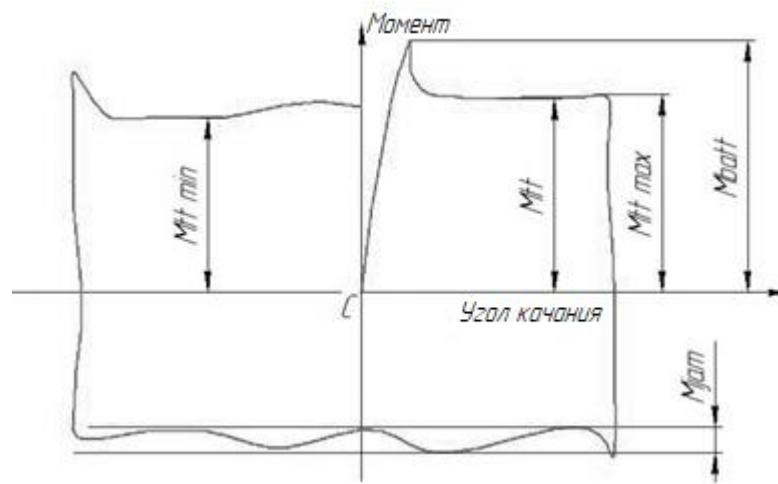


Рисунок 4.20 – Диаграмма зависимости момента сопротивления при качании от угла качания

M_{batt} – момент страгивания; $M_{tt\ min}$ – минимальный рабочий момент; $M_{tt\ max}$ – минимальный рабочий момент; M_{tt} – средний рабочий момент качания; M_{jam} – флуктуация момента (заедание)

Годные после сборки изделия (в зоне допуска по перемещению и усилию) и экспресс-тестирования, данные о результатах прессования (диаграмма «сила-перемещение»), данные о результатах экспресс-тестирования, передаются на станцию маркировки. Негодные изделия должны быть отделены и изолирова

Программное обеспечение должно сохранять и обеспечивать доступность данных после этапа сборки и этапа экспресс-тестирования и должно обеспечивать гибкое формирование и передачу данных буквенно-цифрового кода по всем производимым деталям за все периоды времени, а также 100% прослеживаемость результатов сборки и экспресс-тестирования:

- обозначение изделия;
- наименование предприятия-производителя;
- время изготовления (дата, время, смена);
- номера партий компонентов;
- параметры прессования (диаграмма «сила – перемещение»);
- значения момента страгивания при качании, момента сопротивления при качании, угла качания, осевого перемещения и осевой жесткости.

Маркировка выполняется на корпусе как после этапа сборки, так и после этапа экспресс-тестирования посредством прессования или ударного способа для обеспечения сохранности маркировки в процессе эксплуатации изделий в составе рулевого управления. Изделия с допустимыми значениями (в пределах допуска) указанных выше параметров должны пройти маркировку. Информация должна сохраняться для всех изделий. Сборочная линия должна обеспечивать работу без маркировочного модуля.

4.5 Постановка на производство внутренних рулевых наконечников автомобилей Gazelle Next, LADA XRAY Cross

Достигнутые результаты работы были использованы на предприятии АО НПО «БелМаг» при проектировании и постановке на производство внутренних рулевых наконечников автомобилей Gazelle Next, LADA XRAY Cross (рисунок 4.21)



a



б

Рисунок 4.21 – Внутренние рулевые наконечники

а – автомобиля Gazelle Next; б – автомобиля LADA XRAY Cross

На поставленном оборудовании были собраны прототипы изделий.

Для сборки применялась матрица, форма внутренней поверхности которой была разработана на основании анализа численной модели процесса опрессовки

внутреннего рулевого наконечника, описанной в настоящей главе. Также технологический режим опрессовки подбирается, исходя из соображений, изложенных в настоящей главе. Процесс проектирования и разработки внутренних рулевых наконечников Gazelle Next и LADA XRAY Cross реализован на базе комплекса методических инструкций по качеству, описанных в главе 2.

Прототипы прошли испытания, предусмотренные Планом испытаний, в том числе [61]:

- серию испытаний на долговечность шарнира;
- стендовые испытания в составе подвески автомобиля в сборе;
- проверку моментов качания, страгивания при качании пальца в корпусе при различных температурах;
- проверку усилий вырыва пальца из корпуса;
- проверку осевой и радиальной жесткости шарнира;
- испытания на коррозионную стойкость пальца шарового;
- дорожные испытания в составе автомобиля.

Внутренние рулевые наконечники Gazelle Next и LADA XRAY Cross прошли без замечаний испытания на стадии 2 и стадии 3 процесса проектирования.

По результатам испытаний данная конструкция внутреннего рулевого наконечника защищена патентом РФ на полезную модель [58] и принята в серийное производство. Рекомендации по назначению режима опрессовки учтены в технологической документации при подготовке производства.

Начаты поставки наконечников с указанной конструкцией на конвейеры для сборки автомобилей Gazelle Next (ПАО «ГАЗ») и LADA XRAY (ООО «Рулевые системы»).

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 конвейера автозаводов 73060 шт. и 67850 шт. изделий соответственно с показателем дефектности в состоянии поставки $ppm=0$ и показателем дефектности за гарантийный период эксплуатации автомобиля $36MIS IPTV = 0$.

Экономический эффект от внедрения предложенных в работе решений составил 7,7 млн. рублей за счет сокращения сроков процесса проектирования.

4.6 Выводы по главе 4.

1. В процессе подготовки производства специалистами АО НПО «БелМаг» было сформулировано техническое задание для ведущего европейского производителя специализированного оборудования для проектирования и производства специализированной производственной линии для сборки внутренних рулевых наконечников. Производственная линия была спроектирована, изготовлена, апробирована, доведена и успешно запущена в Российской Федерации. Производственная линия для сборки включает в себя станции для проведения операций подсорки, опрессовки, маркировки, а также станцию проверки эксплуатационных характеристик на готовом изделии (момента сопротивления при качании пальца, момента страгивания при качании пальца, осевого зазора и осевой жесткости шарнира).

2. С использованием численного моделирования методом конечных элементов определены технологические параметры процесса опрессовки при сборке внутреннего рулевого наконечника.

3. На основе полученных результатов моделирования разработана технология производства внутренних рулевых наконечников.

4. Разработанные новая конструкция и технология производства внутренних рулевых наконечников успешно внедрены в АО НПО «БелМаг» (г. Магнитогорск) с применением новой специализированной производственной линии для сборки, изготовленной в соответствии с разработанным техническим заданием.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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», применение которого позволяет сократить сроки проектирования на 12-16 недель. На основе селекции компонентов алгоритма разработана многоуровневая структура документированной информации, выполненная в виде комплекса методических инструкций по качеству, состоящего из трех уровней и включающего 37 инструкций.

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 позволила 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.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лapidус, В. А. Всеобщее качество (TQM) в российских компаниях / В. А. Лapidус. – М. : ОАО «Типография «НОВОСТИ», 2000. – 432 с.
2. Владимiрова, Т. М. Основы экономики качества : учебное пособие / Т. М. Владимiрова. – Архангельск : САФУ, 2016. – 147 с.
3. Гун, Г. С. Управление качеством высокоточных профилей / Г. С. Гун. – М. : Металлургия, 1984. – 152 с.
4. Гличев, А. В. Основы управления качеством продукции / А. В. Гличев. – М.: РИА «Стандарты и качество», 2001. – 424 с.
5. Гун, Г. С. Метод комплексной оценки качества металлопродукции / Г. С. Гун // Известия вузов. Черная металлургия. – 1982. – №8. – С. 62-66.
6. Ващенко, Н. В. Методология оценки совместимости нормативных требований отечественной и зарубежной практики при построении систем менеджмента качества : дис. ... канд. тех. наук : 05.02.23 / Ващенко Наталия Викторовна. М., 2014. – 205 с.
7. Ефимов, В. В. Основы обеспечения качества : учебное пособие / В. В. Ефимов, М. В. Самсонова. – Ульяновск : УлГТУ, 2008. – 236 с.
8. David Hoyle. Quality Systems Handbook-updated for the ISO 9001: 2015 standard Increasing the Quality of an Organization's Outputs. 7th Edition – 892 с.
9. ГОСТ Р ИСО 9000–2015 Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь. – М. : Стандартиформ, 2005. – 53 с.
10. ГОСТ Р ИСО 9001–2015 Системы менеджмента качества. Требования. – М. : Стандартиформ, 2020. – 32 с.
11. IATF 16949:2016 Automotive quality management system standard – Quality management system requirements for automotive production and relevant service parts organizations.
12. ГОСТ Р 51814.1–2004 (ИСО/ТУ 16949:2002) Системы менеджмента качества в автомобилестроении. Особые требования по применению ГОСТ Р ИСО

9001–2001 в автомобильной промышленности и организациях, производящих соответствующие запасные части. – М. : Стандартинформ, 2009. – 44 с.

13. ГОСТ Р 51814.6–2005 Системы менеджмента качества в автомобилестроении. Менеджмент качества при планировании, разработке и подготовке производства автомобильных компонентов. – М. : Стандартинформ, 2005. – 43 с.

14. ГОСТ Р 15301–2016 Система разработки и постановки продукции на производство продукция производственно-технического назначения порядок разработки и постановки продукции на производство. – М. : Стандартинформ, 2018. – 15 с.

15. ГОСТ Р 15.201–2000 Система разработки и постановки продукции на производство. Продукция производственно-технического назначения. Порядок разработки и постановки продукции на производство. – М. : ИПК Издательство стандартов, 2001. – 12 с.

16. ГОСТ Р ИСО 10006–2019 Менеджмент качества. Руководящие указания по менеджменту качества в проектах. – М. : Стандартинформ, 2019. – 36 с.

17. Зеленков, Ю. А. Роль управления знаниями и управления изменениями в обеспечении эффективности организации / Ю. А. Зеленков // Инжиниринг предприятий и управление знаниями (ИП&УЗ-2017) : сборник научных трудов XX юбилейной Всероссийской научной конференции; под науч. ред. Ю. Ф. Тельнова: в 2 т. – М. : ФГБОУ ВО «РЭУ им. Г. В. Плеханова». – 2017. – Т. 1. – С. 117-123.

18. Овсянников, В. Е. Основы проектирования и конструирования машин : учебное пособие / В. Е. Овсянников, Г. Н. Шпитко. – Курган : Изд-во Курганского гос. ун-та, 2012. – 75 с.

19. Розно, М. И. Формальное и творческое при разработке продукции и подготовке производства / М. И. Розно // Стандарты и качество. – 2005. – №8.

20. Розно, М. И. APQP – процесс, или процесс разработки и постановки продукции на производство [Электронный ресурс] / М. И. Розно – Режим доступа: www.fsapr2000.ru.

21. Руководство по APQP – Крайслер Корпорейшн, Форд Мотор Кампани, Дженерал Моторс Корпорейшн, 1994. – 95 с.
22. Перспективное планирование качества продукции (APQP) и план управления. Ссылочное руководство – Н. Новгород : СМЦ «Приоритет», 2004. – 117 с.
23. Адлер, Ю. П. Качество и рынок, или как организация настраивается на обеспечение требований потребителей / Ю. П. Адлер // РИА «Стандарты и качество» – 2000. – С. 35-90.
24. Анализ видов и последствий отказов. Справочное руководство FMEA / AIAG, VDA, 2019 – 237 с.
25. Панюков, Д. И. Фундаментальные основы FMEA для автомобилестроения: монография / Д. И. Панюков, В. Н. Козловский. – Самара : Издательство СамНЦ РАН, 2014. – 150 с.
26. Гун, Е.И. Разработка методики исследования качества металлопродукции с определением ключевой технологической операции на основе метода анализа иерархий. дис. ... канд. тех. наук : 05.02.23 / Гун Евгений Игоревич. – Магнитогорск, 2016. – 163 с.
27. ISO/IEC/IEEE 15288:2015 Systems and software engineering — System life cycle processes.
28. Сергеев, А. Г. Метрология, стандартизация, сертификация : учебное пособие / А. Г. Сергеев, М. В. Латышев, В. В. Терегеря. – М. : Логос, 2003. – 536 с.
29. Лифиц, И. М. Стандартизация, метрология и сертификация : учебник / И. М. Лифиц. – 5-е изд., перераб. и доп. – М. : Юрайт-Издат, 2005. – 345 с.
30. Бойцов, В. В. Стандартизация, повышение эффективности производства и качества продукции / В. В. Бойцов. – М. : Знание, 1977. – 135 с.
31. Снимщиков, С. В. Разработка структуры нормативного документа на металлопродукцию на основе принципа опережающей стандартизации / С. В. Снимщиков, М. А. Полякова, А. С. Лимарев, В. А. Харитонов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова. – 2019. – № 1 (17). – С. 86-93.

32. Будилов, В. В. Управление качеством высокоэффективных технологий на основе принципов стандартизации / В. В. Будилов, Н. А. Сухова, М. И. Янсаитова // Управление экономикой: методы, модели, технологии: материалы XV Международной научной конференции. – Уфа: Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. – 2015. – Т. 1. – С. 26-29.

33. Пономарев С. В. Метрология, стандартизация, сертификация : учебник для вузов / С. В. Пономарев, Г. В. Шишкина, Г. В. Мозгова. – Тамбов : Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2010. – 96 с.

34. Полякова, М. А. Использование принципа комплексной стандартизации для определения взаимоувязанных требований к объекту стандартизации / М. А. Полякова, Т. В. Казанцева, Н. К. Казанцева, Г. А. Ткачук // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2020. – № 11. – С. 519-523.

35. Полякова, М. А. Методика определения степени гармонизации стандартов различных категорий / М. А. Полякова, Э. П. Дрягун, А. А. Соколов, В. А. Харитонов, И. М. Петров // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова. – 2021. – № 1 (19). – С. 60-68.

36. Кашкин, Е. В. Опережающая стандартизация / Е. В. Кашкин, В. П. Ладова // Проблемы научной мысли. – 2017. – №4 (12) – С. 25-27.

37. Фатхутдинов, Р. А. Конкурентоспособность России: как ее повысить / Р. А. Фатхутдинов // Стандарты и качество. – 2004. – №1. – С.60-63.

38. Антонов, Г. А. Стандартизация и качество промышленной продукции / Г. А. Антонов. – Л. : Издательство Ленинградского университета, 1979. – 144 с.

39. Полякова, М. А. Анализ требований стандартов на ленту стальную холоднокатаную / М.А. Полякова, В.Е. Телегин, Э.М. Голубчик // Черные металлы. – 2010. – № 7. – С. 20-26.

40. Рубин, Г. Ш. Развитие научных основ стандартизации метизной продукции на современном этапе / Г. Ш. Рубин, М. А. Полякова, В. С. Каткова // Пластическая деформация металлов : матер. междунар. конф. Днепрпетровск, 2014. – Т. 2. – С. 254-257.

41. Полякова, М. А. Развитие научных основ стандартизации / М. А. Полякова, Г. Ш. Рубин // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2014. – № 1 (45). – С. 97-102.
42. Особенности разработки нормативных документов на высокопрочную арматуру для железобетонных шпал нового поколения / М. В. Чукин, М. А. Полякова, А. Г. Корчунов, С. В. Снимщиков // Труды X Конгресса прокатчиков. – М. : ООО «ВАШ ФОРМАТ», 2015. – Т. 1. – С. 235-239.
43. Аронов, И. З. «Пакетный принцип» разработки стандартов – незаслуженно забытая технология планирования в области стандартизации / И. З. Аронов, А. В. Зажигалкин, А. В. Раков, А. М. Рыбакова, В. А. Сахаров // Стандарты и качество. – 2015. – № 8. – С. 24-30.
44. Полякова, М. А. Развитие научных основ стандартизации в период становления нового технологического уклада / М. А. Полякова // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Металлургия». – 2016. – № 1 (16). – С. 135-141.
45. Полякова, М. А. Проблемы развития научных основ стандартизации. Современные металлические материалы и технологии (СММТ'2015): Сборник трудов международной научно-технической конференции / М. А. Полякова // СПб.: Изд-во Политех. ун-та. – 2015. – С. 1458-1468.
46. Семенов, В. Л. Применение методов стандартизации при прогнозировании параметров качества продукции / В. Л. Семенов // Дискуссия теоретиков и практиков. – 2011. – №№ 3-4 (5) – С. 53-57.
47. Соколова, Н. А. Стандартизация металлопродукции как инструмент защиты внутреннего рынка РФ / Н. А. Соколова, Г. Н. Еремин, Ю. В. Веселов // Сталь. – 2018. – №3. – С. 56-59.
48. Федеральный закон от 29 июня 2015 г. N 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации».
49. Еремин, Г. Н. Стандартизация и ее роль в повышении конкурентоспособности металлургической отрасли / Г. Н. Еремин // I Международная конференция «Стандартизация – ключевой инструмент

повышения экономической эффективности предприятий металлургического комплекса России». – М. : ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина, 2016.

50. Раймпель, Й. Шасси автомобиля: Рулевое управление / пер. с нем. В. Н. Пальянова / Й. Раймпель; под ред. А. А. Гальбрейха. – М. : Машиностроение, 1987. – 232 с.

51. Раймпель, Й. Шасси автомобиля: Элементы подвески / пер. с нем. А. Л. Карпухина / Й. Раймпель; под ред. Г. Г. Гридасова. – М. : Машиностроение, 1987. – 288 с.

52. Проектирование полноприводных колёсных машин : учебник для вузов: в 3 т. / Б. А. Афанасьев, Б. Н. Белоусов, Л. Ф. Жеглов и др.; под ред. А. А. Полунгяна. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – Т. 2. – 528 с.

53. Проектирование полноприводных колёсных машин : учебник для вузов: в 3 т. / Б. А. Афанасьев, Б. Н. Белоусов, Л. Ф. Жеглов и др.; под ред. А. А. Полунгяна. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – Т. 3. – 432с.

54. Heißing Bernd, Ersoy Metin (Eds.) Chassis Handbook: Fundamentals, Driving Dynamics, Components, Mechatronics, Perspectives. 1st Edition, 2011.

55. Лысов, М. И. Рулевые управления автомобилей / М. И. Лысов. – М. : Машиностроение, 1972. – 344 с.

56. Чайковский, И. П. Рулевые управления автомобилей / И. П. Чайковский, П. А. Саломатин. – М. : Машиностроение, 1987. – 176 с.

57. 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.

58. 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. – 9 с.

59. ГОСТ Р 52433–2005 Автомобильные транспортные средства. Шарниры шаровые Технические требования и методы испытаний. – М. : Стандартинформ, 2006. – 8 с.
60. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 018/2011 «О безопасности колесных транспортных средств», 2011. – 302 с.
61. АК-LH 14 Suspension ball joint. Requirements and testing. Working Committee: AUDI BMW Daimler Chrysler Porsche Volkswagen, 2004. - 34 p.
62. Волкова, В. Н. Теория систем и системный анализ : учебник для вузов / В. Н. Волкова. – М. : ЮРАЙТ, 2010. – 679 с.
63. Дроздов, Н. Д. Основы системного анализа : учебное пособие / Н. Д. Дроздов –Тверь : Твер. гос. ун -т, 2002. – 90с.
64. ГОСТ Р 1.0–2012 Государственная система стандартизации Российской Федерации. Основные положения. – М. : Стандартинформ, 2013. – 13 с.
65. Калмыков, Ю.В. Анализ существующих способов формирования соединения и основные требования к качеству при сборке шаровых шарниров передней подвески автомобилей / Ю. В. Калмыков, И. А. Михайловский, В. В. Сальников, Д.А. Пестерев // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И.Носова. – 2009. – №4. – С. 47-50.
66. Лобанов, М. Л. Защитные покрытия : учеб. пособие / М. Л. Лобанов, Н. И. Кардолина, Н. Г. Россина, А. С. Юровских. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2014. – 200 с.
67. Максимчук, В. П. Водородное растрескивание высокопрочных сталей после нанесения гальванохимических покрытий / В. П. Максимчук, С. П. Половников. – М. : Энергоатомиздат, 2002. – 320с.
68. ГОСТ 34388–2018 (ISO 9227:2012) Трубы стальные. Метод испытаний коррозионной стойкости в соляном тумане. – М. : Стандартинформ, 2018. – 18 с.
69. Лахтин, Ю.М. Химико-термическая обработка металлов : учебное пособие для вузов / Ю. М. Лахтин, Б. Н. Арзамасов. – М. : Металлургия, 1985. – 256 с.

70. ГОСТ 9013–59 (ИСО 6508-86) Металлы. Метод измерения твердости по Роквеллу. – М. : ИПК Издательство стандартов, 2001. – 10с.
71. ГОСТ 2789–73 Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики. – М. : Стандартиформ, 2018. – 7 с.
72. Конакова, И. П. Шероховатости поверхностей и их практическое применение в программе КОМПАС : учебное пособие / И. П. Конакова, И. И. Пирогова. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2014. – 104 с.
73. Детали машин: Учебник для вузов / Л. А. Андриенко, Б. А. Байков, И. К. Ганулич и др.; под ред. О. А. Ряховского. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2007. – 520 с.
74. Когаев, В.П. Расчеты деталей машин и конструкций на прочность и долговечность : справочник / В. П. Когаев, Н. А. Махмутов, А. П. Гусенков. – М. : Машиностроение, 1985. – 224 с.
75. Феодосьев, В. И. Соппротивление материалов : учеб. для вузов. – 10-е изд., перераб. и доп. / В. И. Феодосьев. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999. – 592 с.
76. Марковец, М. П. Определение механических свойств металлов по твердости / М. П. Марковец. – М. : Машиностроение, 1979. – 191 с.
77. Марковец, М. П. О зависимости между твердостью и другими механическими свойствами металлов. «Исследование в области измерения твердости». Труды метрологических институтов СССР / М. П. Марковец. – М.-Л. : Изд-во стандартов, 1967. – №91 (151).– 76 с.
78. Зайцев, Г. П. Твердость по Бринеллю как функция параметров пластичности металлов / Г. П. Зайцев // Заводская лаборатория. – 1949.– № 6.– С. 704-717.
79. Дрозд, М. С. Определение механических свойств металлов без разрушения / М. С. Дрозд. – М. : Изд-во Металлургия, 1965.–171 с.
80. Варнелло, В.В. Труды Новосибирского института инженеров водного транспорта / В. В. Варнелло. – М. : Изд. Речной транспорт, 1956. – Вып.11. – 235 с.

81. Допуски и посадки : справочник. В 2 ч. / В. Д. Мягков, М. А. Палей, А. Б. Романов, В. А. Брагинский. – 6-е изд., перераб. и доп. – Л. : Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1982. – Ч.1. – 543 с.
82. Допуски и посадки : справочник. В 2 ч. / В. Д. Мягков, М. А. Палей, А. Б. Романов, В. А. Брагинский. – 6-е изд., перераб. и доп. – Л. : Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1982. – Ч.2. – 543 с.
83. ГОСТ 22761–77 Металлы и сплавы. Метод измерения твердости по Бринеллю переносными твердомерами статического действия. – М. : ИПК Издательство стандартов, 2003. – 8с.
84. DIN 50150–2000 Testing of metallic materials – Conversion of hardness values, 2000. – 52 с.
85. Михайловский, И. А. Шаровые шарниры шасси: совершенствование конструкций, технологий и методов оценки качества: монография / И. А. Михайловский, И. Г. Гун, Е. И. Гун, Е. Г. Касаткина. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г. И. Носова, 2014. – 201 с.
86. Сальников, В.В. Моделирование процесса разрушение шарового шарнира передней подвески автомобиля при осевом нагружении / В. В Сальников, И. А. Михайловский, И. Г. Гун // Журнал автомобильных инженеров. – 2011. – №2 (67). – С. 51-53.
87. 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.
88. Михайловский, И. А. Расчетное определение показателей прочности шаровых шарниров элементов шасси автомобиля путем моделирования процесса статических испытаний / И. А. Михайловский, И. Г. Гун, В. В. Сальников, В. И. Куцепедник, Е. И. Гун // Журнал автомобильный инженеров. – 2014. – № 2(85). – С. 20-24.
89. Калмыков, Ю.В. Совершенствование процесса запрессовки с целью повышения уровня качества шарниров передней подвески автомобилей : дис. ...

канд. тех. наук : 05.02.23 / Калмыков Юрий Вячеславович. – Магнитогорск, 2010. – 121 с.

90. 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.

91. 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.

92. Полюшкин, Н. Г. Основы теории трения, износа и смазки : учебное пособие / Н. Г. Полюшкин. – Красноярск : Краснояр. гос. аграр. ун-т, 2013. – 192 с.

93. Грудев, А. П. Трение и смазки при обработке металлов давлением : справ. изд. / А. П. Грудев, Ю. В. Зильберг, В. Т. Тилик. – М. : Металлургия, 1982 – 312 с.

94. Машков Ю. К. Трибофизика металлов и полимеров : монография / Ю. К. Машков. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2013. – 240 с.

95. Сегерлинд, Л. Применение метода конечных элементов / Л. Сегерлинд. – М. : Мир, 1979. – 392 с.

96. Норри, Д. Введение в метод конечных элементов / Д. Норри, Ж. де Фриз. – М. : Мир, 1981. – 304 с.

97. Демидович, Б. П. Численные методы анализа / Б. П. Демидович, И. А. Марон, Э. З. Шувалова. – М. : Наука, 1967. – 368 с.

98. MSC/DYTRAN User's Manual. The MacNeal-Schwendler Corporation, 1997.

99. MSC Nastran 2012 Quick Reference Guide. The MacNeal-Schwendler Corporation, 2011.

100. Jeffrey Fluhrer, DEFORM 2D Version 8.1 User's Manual, 2010.
101. Peng, Y. Finite Element Method-Based Skid Resistance Simulation Using In-Situ 3D Pavement Surface Texture and Friction Data / Y. Peng, J.Q. Li, Y. Zhan, K.C.P. Wang, G. Yang // Materials. – 2019. – №12 (23). – PP. 10-29.
102. Методы планирования и обработки результатов инженерного эксперимента : учебное пособие / Н. А. Спириин, В. В. Лавров, Л. А. Зайнуллин, А. Р. Бондин, А. А. Бурькин; под общ. ред. Н. А. Спирина. – Екатеринбург : ООО «УИНЦ», 2015. – 290 с.
103. Адлер Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. – М. : Изд-во «Наука», 1971. – 283 с.
104. Производство высокопрочной стальной арматуры для железобетонных шпал нового поколения / М. В. Чукин, А. Г. Корчунов, В.А. Бакшинов, М. П. Барышников, Г. С. Гун, Д. К. Долгий, Ю. Ю. Ефимова, В. М. Колокольцев, Н. В. Копцева, К. Ю. Куранов, В. Н. Лебедев, И. Ю. Мезин, М. А. Полякова, В. В. Чукин; под общ. ред. М. В. Чукина. – М. : Metallurgizdat, 2014. – 276 с.
105. Чукин, М. В. Перспективы производства высокопрочного крепежа из заготовок из углеродистых сталей с ультрамелкозернистой структурой / М. В. Чукин, М. А. Полякова, Г. Ш. Рубин, Н. В. Копцева, Г. С. Гун // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. – 2014. – №1. – С. 39-44.
106. Гун, Г. С. Оптимизация процессов технологического и эксплуатационного деформирования изделий с покрытиями / Г. С. Гун, М. В. Чукин. – Магнитогорск : ГОУ ВПО «МГТУ им. Г. И. Носова», 2006. – 324 с.
107. Гун, Г.С. Создание и развитие теории квалиметрии металлургии / Г.Ш Рубин, М. В. Чукин, И. Г. Гун, И. Ю. Мезин, А. Г. Корчунов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2003. – №5. – С. 67-69.
108. 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.

109. United States Patent 4904107 – Ball Joint and Its Manufacturing Method.

110. Сальников, В.В. Разработка и выбор сквозной технологии производства шаровых пальцев на основе комплексной оценки эффективности процессов : дис. ... канд. тех. наук : Сальников Виталий Владимирович. – Магнитогорск, 2006. – 154 с.

111. Пат. №2501995 RU, МПК F 16 C 11/06 (2006. 01); В 62 D 7/16 (2006. 01) Шаровой шарнир рулевого управления / И. Г. Гун, В. И. Артюхин, Е. И. Гун, Ю. В. Калмыков, В. В. Сальников, В. И. Куцепендик; заявитель и патентообладатель ЗАО НПО «БелМаг». – № 2012129782/11; заявл. 13.07.2012; опубл. 20.12.2013, Бюл. №35. – 7 с.

112. Сабадаш, А. В. Оценка и выбор технологии производства фланцевых болтов : монография / А. В. Сабадаш – Магнитогорск : ГОУ ВПО «МГТУ», 2005. – 110 с.

113. 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 Акционерное общество Научно-производственное объединение «БелМаг».

114. Пат. № 2263889 RU МПК G01M 13/00 (2000. 01). Стенд для испытаний шаровых шарниров / И. А. Михайловский, И. Г. Гун, Ю. М. Ясаков, В. В. Лапчинский; заявитель и патентообладатель ЗАО НПО «БелМаг». – № 2003137624/11, заявл. 29.12.2003, опубл. 10.11.2005, Бюл. №16. – 2 с.

Приложение 1

Таблица П.1.1 – Анализ и классификация требований к рулевым наконечникам автомобиля, предъявляемых отечественными и зарубежными автопроизводителями

Группа требований	Требование	ГОСТ Р 52433-2005	ТР ТС 018/2011	ОЕМ №1	ОЕМ №2
Требования безопасности	Размер зерна аустенита металлических компонентов Austenite grain size	-	-	≤5 для металлических компонентов согласно DIN EN ISO 643, опционально ASTM E 112	
	Чистота (неметаллические включения) Purity (non metallic inclusions)	-	-	Испытания согласно DIN 50602 (опционально ISO 4967) - Цементируемые стали и дисперсионно-твердые ферритно-перлитные стали согласно DIN EN 10084 - Закаленная и отпущенная сталь согласно DIN EN 10083-1 - Сталь для холодной высадки согласно DIN EN 10263-1	

Продолжение табл. П.1.1

	Внутренние дефекты и состояние поверхности Internal defects and surface condition			100% контроль трещин (ультразвуковой, вихретоковый методы)	
	Устойчивость тяги в сборе при сжатии Buckling force			Сложный тип нагружения	F=170%F _{max} Отсутствие остаточной деформации при F=150%F _{max} F _{db} определяется линией регрессии с отступом 0,2 мм
	Прочность тяги при растяжении Pulling force			Начало пластической деформации при сдвиге линейной функции на 0,2 мм	
	Испытания тяги в сборе на удар Tie Rod End Assembly Impact Test				6 растягивающих и 6 сжимающих нагрузок, частота 14 Гц. Затем испытание до разрушения на сжатие на половине образцов. Прирост зазора не более 0,2 мм, отсутствие остаточной деформации шарового пальца или корпуса наружного наконечника, после разрушения тяги не допускаются трещины на элементах наружного наконечника

Продолжение табл. П.1.1

	Вязкость материала стержня рулевой тяги	Отсутствие трещин после изгиба стержня на 90° с радиусом изгиба $3d < R < 5d$		-	
	Усилие вырыва пальца из корпуса Pull-out force of the joint	Значение усилия в зависимости от диаметры сферы пальца	-	Значение усилия по КД (расчетное), скорость 100 мм/мин	Значение усилия в зависимости от диаметра сферы, скорость 100 мм/мин Inner Ball Joint Pull Out Test
	Усилие выдавливания пальца из корпуса Press-out force of the joint	Значение усилия в зависимости от диаметры сферы пальца	-	Значение усилия по КД (расчетное), скорость 100 мм/мин	Значение усилия в зависимости от диаметра сферы, скорость 100 мм/мин
	Испытание на отталкивание от бордюра Setting properties under maximum loading (kerb push-off test)			1,5*Fmax частота ≤0,2 Гц 100 циклов	
	Испытание на изгиб пальца шарового Testing of ball stud bending			Нормируется усилие начала пластической деформации, деформация до разрушения, усилие разрушения	Нормируется энергия E _{min} для получения остаточной деформации 2 мм. При указанной деформации трещины и разрушения не допускаются

Продолжение табл. П.1.1

	<p>Ударная прочность шарового пальца Ball Stud Bending Impact Test</p>	<p>Энергия удара в зависимости от диаметра сферы. При деформации пальца после одного удара более 3,5 мм палец бракуют. При деформации от одного удара менее 1.5 мм число ударов не ограничивают. При деформации в пределах от 1.5 до 3.5 мм пальца и появление трещин на изгибаемой поверхности не допускается</p>			<p>Энергия удара определена из испытания на изгиб E_{min} при охлаждении шарового пальца до -40°C в течение 2-х часов. Трещины и разрушения пальца не допускаются</p>
	<p>Моделирование рабочей нагрузки на автомобиле Operating-load simulation test complete tie rod in the car</p>			+	
	<p>Моделирование рабочей нагрузки на тестовой установке Operating-load simulation test complete tie rod on test rig</p>			+	

Продолжение табл. П.1.1

	Усталостная долговечность шарового пальца наружного наконечника Single stage fatigue test			Синусоидальный режим нагружения $F1 = 1.30 \cdot F_{max}, \leq 10 \text{ Гц}$ $F2 = 0.60 \cdot F_{max}, \leq 20 \text{ Гц}$ $F3 = 0.95 \cdot F_{max}, \leq 15 \text{ Гц}$ $T = N_{90\%} / N_{10\%} < 0,3$	Синусоидальный режим 60% Фударн Частота 2-15 Гц $V_{10C90} \geq 25000$ циклов
	Усталостная долговечность наружного наконечника в сборе Durability Test				Случайный режим нагружения Оценивается отсутствие выдавливания смазки, трещин и изломов каких-либо деталей, трещин защитного чехла, ослабление затяжки резьб
	Усталостная долговечность тяги в сборе Tie Rod and Outer Ball Joint Assembly Fatigue Test				+
	Испытание твердости корпуса и пальца внутреннего наконечника в осевом сечении Test of material strength of axial housings	нормируется только твердость термообработанного шарового пальца на поверхности и в сердцевина	нормируется только твердость поверхностного слоя шарового пальца	Положение точек измерения в соответствии с чертежом в осевом сечении элементов	твердость пальца шарового в соответствии со спецификацией

Продолжение табл. П.1.1

	Испытание на прочность резьбы внутреннего наконечника Test of thread strength			+	
	Торможение на дороге «стиральная доска» Braking on washboard road			1500 циклов x 50 повторении; тестовая нагрузка 0,6-1,6 Fmax с частотой 2...6 Гц	
	Испытание на осевое перемещение шарового пальца OTR при затяжке в ответной детали Ball Stud Pull-up Test				Перемещение h при затяжке Mкр 0,2...0,7 мм; оценивается наличие трещин на ответной детали при затяжке до разрушения шарового пальца
	Испытание на осевое перемещение пальца с нанесенной на конус смазкой Ball joint Pull-Up With Greased Taper				Оценивается наличие трещин на ответной детали при затяжке до разрушения шарового пальца со смазанным консистентной смазкой конусом
Функциональные требования	Максимальный угол качания пальца шарнира	Вручную градуированным сектором, точность измерения $\pm 1^\circ$	Углы качания шаровых пальцев рулевых шарниров должны обеспечивать беспрепятственный поворот управляемых колес при прогибе подвески в пределах рабочего хода.	Должны соответствовать КД	Должны соответствовать КД

Продолжение табл. П.1.1

	<p>Работоспособность при действии рабочих температур / Парковка Operating temperature / Parking test</p>			<p>Длит. темп. +80°C/168 ч.; Кор. темп. +100°C/0,5 ч. 3 цикла нагружения $\pm 0,7 F_{max}$ Оценка моментов страгивания, рабочих моментов, осевых и радиальных зазоров</p>	
	<p>Испытание на грузоподъемность вкладыша Ball joint Bearing Load Capacity Test</p>				<p>$F1 = 1,8F_{max}$ 10 циклов нагружения с частотой 0,5 Гц Затем определяется радиальный зазор и жесткость $F2 = F1 + 2кН$ 10 циклов нагружения с частотой 0,5 Гц Затем определяется радиальный зазор и жесткость до тех пор, пока радиальный зазор не превысит в 2 раза требование по зазору для новой детали. Повторить тоже самое для температуры +80°C Минимальная жесткость должна быть $> 2 кН/мм$</p>

Продолжение табл. П.1.1

	<p>Подвижность шарнирного соединения Testing of joint movability</p>	<p>Нормируются моменты сопротивления при вращении и качании без записи диаграммы, остаточная деформация вкладыша при нагружении осевой силой</p>	<p>Нормируются остаточная деформация вкладыша при нагружении осевой силой, радиальные и осевые зазоры</p>	<p>Нормируются моменты сопротивления при вращении и качании, моменты страгивания при качании и вращении, радиальные и осевые зазоры и жесткости в зависимости от диаметра сферы. Измерение с записью диаграммы</p>	<p>Нормируются моменты сопротивления при вращении и качании, моменты страгивания при качании и вращении, радиальные и осевые зазоры и жесткости в зависимости от диаметра сферы. Измерение с записью диаграммы</p>
	<p>Измерение момента вращения при различных температурах Stud Rotating Torque at Temperature</p>				<p>Температуры -40°C, -40°C, скорость вращения 1,4°/сек, +60%/-25% от момента до теста при -40°C, ±25% для всех остальных температур</p>
	<p>Тест на скольжение Stick Slip Test</p>	-	-	-	<p>+ Inner Tie Rod Stick-Slip Noise Test</p>
	<p>Поведение уплотнительной системы при вращении Rotation behavior of the sealing system</p>			<p>Оценивается угол скручивания чехла при вращении пальца со скоростью 10 °/с после старения 70°C/168 ч и хранения 28 дней</p>	

Продолжение табл. П.1.1

	Испытание чехла давлением воздуха Dust Seal Air Pressure Test	-	-	-	Давление 1 бар под чехол, 60 секунд. Через 60 сек. не менее 83 кПа
	Испытание на удержание чехла под действием внешней силы Dust Seal Retention Test				Скорость 5 мм/мин Минимальная сила: 500 Н. Допускается менее 500 Н, если испытание на thermal shock успешно пройдено
	Испытание закатного соединения на герметичность Pressure test of housing cover			Температура -30°C, RT, +70°C, 7 бар; 60 сек без утечки воздуха	3 бара, 1 минута. Отсутствие утечки воздуха
Требования к эксплуатационной надежности	Испытание на износ шарнира Testing of joint wear			Отдельно испытываются наружные и внутренние рулевые наконечники Выдержка в течении 2-х часов при начальной температуре испытания 1) Блок LKDL 1173000 циклов x 17 повторении, температура ITR: 60-80°C; OTR: 50-75°C; F _{ax} /r _a : 10-70% * F _{max} ; частота 0,1-1 Гц; угол качания: ±5-±35%; угол вращения: ±5-±45°	Угол качания 80% от максимального при частоте 0,5 Гц; Угол вращения ±35° при частоте 0,25 Гц; температура -30°C, RT, +80 °C 500 тыс. циклов; F1=396 тыс. циклов ±20%F _{max} , частота 2 Гц, F2=100 тыс. циклов ±67%F _{max} , частота 1 Гц,

Продолжение табл. П.1.1

				<p>2) Блок_1_SoE: 4266 циклов x 6 повторении, температура ITR: 60°C; OTR: 50°C; Fax/ra: 17-200% * Fmax; частота 10-25 Гц; угол качания: ±90%; угол вращения: 0°.</p> <p>3) 2) Блок_2_SoE: 1000007 циклов, температура ITR: 60°C; OTR: 50°C; Fax/ra: 15-133% * Fmax; частота 10-20 Гц; угол качания: ±5-15%; угол вращения: 0-±45°</p> <p>После испытания нормируются моменты качания и вращения, моменты страгивания при качании и вращении, радиальные и осевые зазоры и жесткости в зависимости от диаметра сферы</p>	<p>F3=4 тыс. циклов ±125%Fmax, частота 1 Гц</p> <p>Прирост зазора не более 0,2 мм</p> <p>Минимальная жесткость более 5 кН/мм</p> <p>Inner Ball Joint Durability Wear Resistance Test</p>
	Inner ball joint Fatigue / Micro Vibration Test				+

Продолжение табл. П.1.1

	<p>Моделирование окружающей среды Environmental simulation</p>			<p>4 цикла испытания: 90 повторений 1-ый цикл: угол вращения 40-100% при частоте 0,1-0,5 Гц, 25000 циклов; Угол качания 40-100% при частоте 0,4-2,0 Гц, 100000 циклов; температура -30°C; 2-ой цикл: максимальные углы качания и вращения; частота вращения 0,25 Гц, 750 циклов, частота качания 1,0 Гц, 3000 циклов, температура -30°C ...+80°C, полив водой RT 3-ий цикл: 80 повторений, 20 дней; влажность 20-90%, температура -10°C ...+80°C; угол вращения 10-100% при частоте 0,1-1,0 Гц, 7411 циклов; угол качания 10-100% при частоте 0,1-3,0 Гц, 13424 циклов; 4-ый цикл (50% образцов): давление воды 10 бар, 10 минут,</p>	<p>Короткий тест: Угол качания 66% от максимального, частота 2 Гц, угол вращения $\pm 35^\circ$, 1367000 циклов, 12 дней, температура -20°C...+80°C После испытания: - Увеличение содержания воды в смазке $\leq 2,0\%$; - Отсутствие повреждений чехла - На пальце: коррозия не допускается. - Другие металлические детали: после завершения испытаний не допускается красная коррозия (прокатанные поверхности: 96 ч мин). - на чехле не допускаются сквозные трещины / изломы. - Повреждения поверхности и износ уплотнения</p>
--	--	--	--	---	--

Продолжение табл. П.1.1

				комнатная температура воды. После испытания: - отсутствие разрыва чехла; - отсутствие выдавленной смазки; - отсутствие свободной воды; - повышение содержания воды в смазке <0,6% от эталонного; - отсутствие коррозии на шаровом пальце и корпусе в зоне уплотнения	допустимы при соблюдении требований по содержанию воды. - По окончании испытания шарниры должны быть в исправном состоянии. Длительный тест: температура - 20°C...+80°C, 42 дня, озоновое и термическое старение Inner Tie Rod Articulation Torque – Long Term Aging
	Испытание на термический удар Temperature shock test			Выдержка перед испытанием 100°C, 5 часов 6 образцов из 9 на испытание SBFT; максимальный угол наклона; 5 наклонов под водой + 30 мин. выдержка	Выдержка перед испытанием -40°C и 100°C, 4 часа, погружение в раствор люминофора на 30 минут Попадание воды не допускается
	Испытание на податливость чехла при отрицательных температурах Dust Seal Cold Flexibility Test				При положении пальца 0° поместить шарнир при температуре -40°C на 24 часа, 3 отклонения на максимальный угол.

Продолжение табл. П.1.1

	Испытание на функционирование уплотнительной системы Sealing bellows function test			При температуре -15°C (этиленгликоль): максимальный угол качания при частоте 0,4 Гц 10000 циклов, максимальный угол вращения при частоте 0,1 Гц 2500 циклов. При комнатной температуре: максимальный угол качания при частоте 0,4 Гц 40000 циклов, максимальный угол вращения при частоте 0,1 Гц 10000 циклов.	
	Испытание уплотнительной системы струей воды высокого давления High pressure (HP) cleaner test			3 образца (позиция пальца – в составе подвески); давление 120 бар; 2 мин. 2 образца (позиция пальца – максимальный угол качания); давление 80 бар, 2 минуты, температура воды 80°C	позиция пальца 0°, 85 бар, температура воды 80°C
	Коррозионная стойкость Corrosion-protection test			в соответствии с DIN EN ISO 9227	в соответствии с ASTM B 117.
Прочие требования	Идентификационная маркировка Marking	в соответствии с требованиями ГОСТ 26828 и КД.		в соответствии с КД	в соответствии с КД

Продолжение табл. П.1.1

	Упаковка Packaging				Предотвращение как физических, так и электрических повреждений
	Отсутствие заусенцев No sharp edges or burrs				Компонент не должен иметь острых краев или заусенцев на поверхности, которые могут привести к травмам или помешать безопасному обращению с компонентом
	Защитный чехол Sealing bellows			- отсутствие взаимного влияния смазки и материала чехла; - отсутствие вредных веществ	
	Усилие снятия защитного колпака Protection Cap Pull Off Test				Конический палец: 25-80 Н; Цилиндрический палец: 25-120 Н;
	Моменты затяжки резьбовых соединений Tightening torques			- в соответствии с чертежом; - коэффициент трения в резьбе $\mu = 0,1 \dots 0,2$; среднее значение коэффициента трения в серии $\mu = 0,12$; - резьба должна покрываться антикоррозионным маслом	все крепежные элементы должны соответствовать требованиям потребителя

Продолжение табл. П.1.1

	Соблюдение экологических требований / переработка Environmental compliance /recycling			Соблюдение Директивы ЕС 2000/53/ЕС	WSS-M99P9999-A1 WSS-M99P23-C1/C2 EC 2000/53/EC 2002/525/EC SAE J1344
	Периодические испытания Tests beside series production			на 2-х изделиях в год: Testing of joint wear, Environmental simulation test	по дополнительному соглашению
	- Ранг 1	отсутствие требования			
	- Ранг 2	неполное требование			
	- Ранг 3	предпочтительное требование			

Приложение 2

Акт внедрения результатов диссертационной работы на АО НПО «БелМаг»

УТВЕРЖДАЮ:



Технический директор

АО НПО «БелМаг», к.т.н.

Калмыков Ю.В.

2021г.

АКТ ВНЕДРЕНИЯ

результатов диссертационной работы

Настоящим актом подтверждается, что результаты диссертационной работы «ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЗАДАННОГО УРОВНЯ КАЧЕСТВА РУЛЕВЫХ НАКОНЕЧНИКОВ АВТОМОБИЛЯ ПУТЕМ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОЦЕССА ПРОЕКТИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ СТАНДАРТИЗАЦИИ», выполненной на кафедре технологий, сертификации и сервиса автомобилей ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» аспирантом Вахитовым А.Р., приняты АО НПО «БелМаг» для использования при проектировании автокомпонентов шасси и рулевого управления автомобиля, в частности, рулевых наконечников.

Вид передаваемых результатов:

- анализ и классификация требований к рулевым наконечникам автомобиля;
- проект стандарта предприятия СТП-ОГК 8.3-02.1 «Управление проектированием продукции и разработкой» на процесс проектирования рулевых наконечников автомобиля;
- методика проектирования рулевых наконечников автомобиля, выполненная в виде комплекса методических инструкций по качеству;
- численная модель для подтверждения основных прочностных требований, в частности, процесса статических испытаний шарового пальца на изгиб для определения характеристик его изгибной прочности;
- численная модель процесса опрессовки внутреннего рулевого наконечника для определения максимального усилия опрессовки;
- техническое задание RS №07 VER.3 на проектирование и изготовление сборочной технологической линии.

Ожидаемый экономический эффект от внедрения переданных результатов составляет 7,7 млн. рублей в совокупности с ожидаемым сокращением сроков проектирования на 12-16 недель.

Финансовый директор – зам. генерального директора
по учету, экономике и финансов
АО НПО «БелМаг»

Н.А. Буравцова

Заместитель технического директора
АО НПО «БелМаг», к.т.н.

В.В. Сальников

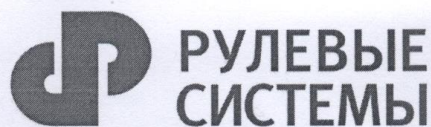
Начальник отдела системы качества
АО НПО «БелМаг», к.т.н.

Д.С. Осипов

Приложение 3

Акт внедрения результатов диссертационной работы на ООО «Рулевые системы»

- Общество с ограниченной ответственностью «Рулевые системы»
- Россия, Самарская область, г. Тольятти, ул. Северная, 101
- Почтовый адрес: 445028, Самарская область, г. Тольятти, а/я 44
- Тел/Факс +7 8482 759002
- mail@SteeringSystems.ru • www.SteeringSystems.ru



АКТ ВНЕДРЕНИЯ

результатов диссертационной работы

Настоящим актом подтверждается, что практические результаты диссертационной работы «Обеспечение заданного уровня качества рулевых наконечников автомобиля путем совершенствования процесса проектирования на основе методов стандартизации», выполненной на кафедре технологий, сертификации и сервиса автомобилей ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» аспирантом Вахитовым Александром Рафаельевичем, приняты к использованию ООО «Рулевые системы» (г. Тольятти) в качестве готовых изделий (наружных 21301-3414056/-57 и внутренних 21301-3414058 рулевых наконечников), спроектированных по разработанной методике для производства рулевых механизмов автомобилей LADA XRAY Cross.

Разработанные наружные и внутренние рулевые наконечники автомобиля LADA XRAY Cross одобрены к использованию в серийном производстве рулевых механизмов, изготавливаемых на ООО «Рулевые системы» в качестве комплектующих изделий (по 2 наружных наконечника и 2 внутренних наконечника на один рулевой механизм). Рулевые наконечники полностью соответствуют предъявляемым требованиям и удовлетворяют заданному уровню качества.

Директор ООО «Рулевые системы»

Пархандеев Е.М.

« 17 » августа 2021г.



- ООО «Рулевые системы» • ИНН/КПП 6321100022/632101001 • ОГРН 1036300994531
- р/с №40702810354040101937 в Поволжском Банке ПАО «Сбербанк России», г. Самара
- к/с №30101810200000000607
- БИК 043601607



Приложение 4

Акт об использовании результатов диссертационной работы в учебном процессе ФГБОУ ВО «МГТУ»

Утверждаю:

Проректор по научной
и инновационной работе

ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»

д.т.н., профессор

Тулупов О.Н.

« 2 » сентября 2021г.



АКТ

об использовании в учебном процессе ФГБОУ ВО «Магнитогорский
государственный технический университет им. Г.И. Носова»
результатов диссертационной работы Вахитова А.Р.
(научный руководитель И.Г. Гун)

Результаты диссертационной работы *«Обеспечение заданного уровня качества рулевых наконечников автомобиля путем совершенствования процесса проектирования на основе методов стандартизации»*, выполненной на кафедре технологий, сертификации и сервиса автомобилей ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» аспирантом Вахитовым А.Р., в виде:

- методики разработки стандарта предприятия на процесс проектирования новых видов продукции;
 - численной модели процесса статических испытаний шарового пальца наружного рулевого наконечника на изгиб для определения характеристик его изгибной прочности;
 - численной модели процесса опрессовки внутреннего рулевого наконечника для определения максимального усилия опрессовки
- использованы в учебном процессе и включены в курсы обучения студентов по направлениям подготовки 27.03.01 – Стандартизация и метрология (профиль: Стандартизация, менеджмент и контроль качества) и 27.04.01 – Стандартизация и метрология (профиль: Испытания и сертификация) по дисциплине «Новые технические решения в производстве продукции».

Председатель методической комиссии
института Естествознания и стандартизации
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И.Носова»,
заведующий кафедрой технологий, сертификации
и сервиса автомобилей, профессор, д.т.н.

Мезин И.Ю.