

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.324.03,  
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ «МАГНИТОГОРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Г.И. НОСОВА»,  
МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ,  
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ  
КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_  
решение диссертационного совета от 09.06.2026 № 3

О присуждении Столярову Федору Алексеевичу, Российская Федерация, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Разработка технико-технологических решений обеспечения качества автомобильных компонентов на примере шаровых шарниров шасси» по специальности 2.5.22. Управление качеством продукции. Стандартизация. Организация производства принята к защите 1 апреля 2026 г., (протокол № 2) диссертационным советом 24.2.324.03, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38, приказ № 1193/нк от 12 октября 2022 г.

Соискатель Столяров Федор Алексеевич, «30» ноября 1998 года рождения,

В 2023 году соискатель окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», освоил программу магистратуры по направлению подготовки 22.04.02. Metallургия. С 2023 года по настоящее время является аспирантом очной формы обучения кафедры технологии, сертификации и сервиса автомобилей при федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» по специальности 2.5.22. Управление качеством продукции. Стандартизация. Организация производства

работает в акционерном обществе научно-производственном объединении «БелМаг» ведущим инженером-конструктором.

Диссертация выполнена на кафедре технологии, сертификации и сервиса автомобилей федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор технических наук, Гун Игорь Геннадьевич, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», кафедра технологии, сертификации и сервиса автомобилей, профессор.

Официальные оппоненты:

Панюков Дмитрий Иванович, доктор технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный технический университет», кафедра «Теоретическая и общая электротехника», профессор,

Вдовин Денис Сергеевич, кандидат технических наук, доцент, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», кафедра «Колесные машины», доцент

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет», г. Иркутск, в своем положительном отзыве, подписанном Кривцовым Сергеем Николаевичем, доктором технических наук, профессором, кафедра автомобильного транспорта, заведующий кафедрой; Лонцихом Павлом Абрамовичем, доктором технических наук, профессором, кафедра автоматизации и управления, профессор; Евлоевой Маликой Вахаевной, кандидатом технических наук, кафедра автоматизации и управления, доцент; Федотовой Анжеликой Витальевной, кандидатом технических наук, кафедра автоматизации и управления, доцент, указала, что «В диссертационной работе Ф.А. Столярова решена актуальная научно-техническая задача, заключающаяся в разработке комплекса научно обоснованных технико-технологических решений обеспечения качества автомобильных компонентов, что имеет существенное значение для развития страны. Диссертационная работа «Разработка технико-технологических решений обеспечения качества автомобильных

компонентов на примере шаровых шарниров шасси» удовлетворяет всем требованиям пп. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, а ее автор - Столяров Федор Алексеевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.22. Управление качеством продукции. Стандартизация. Организация производства».

Соискатель имеет 12 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 12 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 5 работ.

Сведения об опубликованных работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации, достоверны. Основные результаты, полученные в диссертационном исследовании, изложены в опубликованных работах. Авторский вклад в количестве 0,93 п.л. в публикациях общим объемом 3,13 п.л. заключается в постановке цели и задач диссертации, проведении теоретических и экспериментальных исследований, формулировании выводов и результатов исследований по управлению качеством автомобильных компонентов на этапах разработки конструкции шаровых шарниров шасси и проектирования технологического процесса производства данного вида продукции, подготовке научных публикаций.

Наиболее значительные работы по теме диссертации:

1. Столяров, Ф. А. Практическое применение методов опережающей стандартизации для снижения уровня дефектности в эксплуатации на примере шаровых шарниров / Ф.А. Столяров, И.Г. Гун, М.А. Полякова // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова. – 2025. – № 4. – С. 139-146.

2. Столяров, Ф. А. Особенности организации процесса конструирования компонентов шасси с учетом квалификации поставщиков автокомпонентов / Ф.А. Столяров, М.А. Полякова, И.Г. Гун // Справочник. Инженерный журнал. – 2025. – № 1 (334). – С. 45-51.

3. Применение системного анализа технологии холодной листовой штамповки при взаимодействии предприятий-производителей автомобильных компонентов / М.А. Полякова, И. Г. Гун, Э. М. Голубчик, Ф.А. Столяров // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2024. – № 5 (367). – С. 71-80.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» (г. Екатеринбург), подписанный Казанцевой Татьяной Владимировной, кандидатом технических наук, доцентом кафедры метрологии, стандартизации и сертификации. Замечание: в автореферате сказано, что для фасетной классификации шаровых шарниров

шасси использованы два метода: метод вариации эффектов при выявленных частных функциях и системный анализ конструкции. При этом указано, что метод вариации эффектов при выявленных частных функциях позволил определить функции автомобильного компонента и рассмотреть окружение узла в целом на стадии проектирования. Системный анализ был использован для установления взаимосвязи между отдельными компонентами шасси. В тексте автореферата не приведены построенные схемы, что в значительной степени упростило бы понимание результативности использования этих методов.

2. ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет» (г. Тула), подписанный Плахотниковой Еленой Владимировной, доктором технических наук, доцентом, профессором кафедры Инструментальные и метрологические системы. Замечания: 1. Из текста автореферата неясно в явном виде, каким образом разработанная фасетная классификация шаровых шарниров шасси была использована для разработки новой конструкции, которая защищена патентом РФ 205156. 2. В автореферате не представлено пояснение полученных данных моделирования об изменении величины критерия вероятности разрушения отсекавателя при различных видах его изготовления в зависимости от времени шага (рис. 5, б и рис. 6, б стр. 13 текста автореферата).

3. ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национально исследовательский университет)» (г. Челябинск), подписанный Самодуровой Мариной Николаевной, доктором технических наук, доцентом, заведующей кафедрой Информационно-измерительная техника. Замечание: на странице 5 автореферата при указании теоретической и практической значимости результатов соискатель приводит 4 пункта, все из которых относятся к практической значимости, таким образом, теоретическая значимость работы в явном виде не выделена.

4. ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» (г. Москва), подписанный Одиноким Сергеем Николаевичем, доктором технических наук, доцентом, профессором Образовательного центра Института №1 «Новые материалы и производственные технологии». Замечание: следует пояснить, каким образом изменится математическая модель, если выбранные для анализа показатели шарового шарнира будут иметь различную значимость (т.е. весомость каждого показателя будет разной).

5. ФГБОУ ВО «Ярославский государственный технический университет» (г. Ярославль), подписанный Порсевым Кириллом Игоревичем, кандидатом технических наук, заведующим кафедрой «Компьютерно-

интегрированная технология машиностроения». Замечания: 1. Автор, отмечая необходимость разработки подхода к проектированию изделий, обеспечивающего требуемый уровень качества изделия в эксплуатации, в автореферате не указывает, могут ли имеющиеся на данный момент подходы к проектированию обеспечить требуемый уровень качества. 2. Автор, отмечая, что тип воздействия окружающей среды является определяющим признаком качества для шаровых шарниров, не включает в него воздействие атмосферного озона, которое может быть критичным для резиновых уплотнений.

6. ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национально исследовательский университет)» (г. Челябинск), подписанный Чаплыгиным Борисом Александровичем, доктором технических наук, профессором, профессором кафедры «Процессы и машины обработки металлов давлением». Замечания: 1. В разработанной классификации для фасета «по типу воздействия окружающей среды» неясна градация разделения по воздействию грязи, пыли и влаги и что считать умеренно подверженным и значительно подверженным воздействием. 2. По тексту автореферата не обоснован выбор именно нержавеющей стали для отсекающего, а не углеродистой стали с покрытием.

7. АО «АВТОВАЗ» (г. Тольятти), подписанный Латой Валерием Николаевичем, кандидатом технических наук, доцентом, руководителем проекта дирекции по проектированию платформ. Замечание: при оценке автором не оценивается состав резиновой смеси защитного чехла, а это оказывает значительное влияние на герметичность шарнира.

8. ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» (г. Пермь), подписанный Федосеевым Сергеем Анатольевичем, доктором технических наук, доцентом, профессором кафедры «Вычислительная математика, механика и биомеханика». Замечания: 1. В тексте автореферата не приведены матрицы попарного сравнения классификационных признаков, что затрудняет понимание их важности. 2. В таблице 2 кроме прироста содержания воды в смазке следовало бы привести содержание воды в смазке до и после проведения испытаний.

9. ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» (г. Ростов-на-Дону), подписанный Димитровым Валерием Петровичем, доктором технических наук, профессором, заведующим кафедрой «Управление качеством». Замечание: Автор указывает, что для построения матрицы нечеткого отношения нестрогого предпочтения все критерии (безопасность, функция, комфорт) принимаются равновесными с коэффициентом  $1/3$  (стр. 10). Целесообразно обосновать данное утверждение.

10. ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет» (г. Красноярск), подписанный Ворошиловым Денисом Сергеевичем, кандидатом технических наук, доцентом, заведующим кафедрой «Обработка металлов давлением». Замечание: отмечая необходимость разработки подхода к проектированию изделий, обеспечивающего требуемый уровень качества изделия в эксплуатации, в автореферате не указывается, могут ли имеющиеся на данный момент подходы к проектированию обеспечить требуемый уровень качества производства автомобильных компонентов.

11. ПАО «КАМАЗ» (г. Набережные Челны), подписанный Тимониным Игорем Валерьевичем, директором по качеству. Замечание: из текста автореферата не совсем понятно, в чем заключается особенность функционально-ориентированной технологии, модернизированная схема которой приведена на рис. 8, стр. 16.

12. ФГАОУ ВО МГТУ им. Н.Э. Баумана (г. Москва), подписанный Евсюковым Сергеем Александровичем, профессором, доктором технических наук, заведующим кафедрой «Технологии обработки давлением». Замечания: 1. На рис. 1 в качестве признака классификации шаровых шарниров выбран признак «По типу формирования неразъемного соединения». При этом одним из вариантов реализации неразъемного соединения указано «резьбовые». (Стр. 9 реферата). По-нашему мнению резьбовые соединения являются разъемными. 2. Из текста автореферата неясно в каком программном комплексе проводилось моделирование и каким образом были получены FLD диаграммы, используемые при моделировании.

13. АО «Белебеевский завод «Автономаль»» (г. Белебей), подписанный Галиахметовым Тимуром Шамилевичем, кандидатом технических наук, директором по техническому развитию. Замечаний нет.

14. ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет», подписанный Вавилиным Ярославом Александровичем, кандидатом технических наук, доцентом, доцентом кафедры «управление качеством, стандартизация и метрология». Замечания: 1. На стр. 10, к сожалению, не представлен вид таблицы для выбора показателей и матрицы  $M_R$ . Возможно этапы выбора признаков для включения в конструкторскую и технологическую документацию (стр. 7-11) целесообразнее было бы представить в виде алгоритма. 2. Из таблицы 1 (стр. 15) неясно, какие были параметры методики испытаний до ее усовершенствования?

15. ОАО «Магнитогорский метизно-калибровочный завод» (г. Магнитогорск), подписанный Соколовым Александром Алексеевичем, кандидатом технических наук, ведущим специалистом Управления перспективного развития и технического переоборудования. Замечания: 1. В реферате

достаточно подробно изложена методология расчета матриц с использованием математического аппарата нечетких отношений. Отсутствие полученных расчетных значений анализируемых параметров в автореферате вызывает сомнение в правомерности оказанного предпочтения типу воздействия окружающей среды, как определяющего показателя шарового шарнира шасси из многообразия приводимой фасетной классификации конструктивных и эксплуатационных признаков этого изделия. 2. В тексте автореферата отсутствует оценка вероятности возникновения несплошностей бурта отсекавателя для переходов, предшествующих раскатке.

16. ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева», подписанный Хаймовичем Александром Исааковичем, доктором технических наук, профессором, заведующим кафедрой технологий производства двигателей. Замечания: 1. При анализе предельных характеристик формообразования автор использовал критерий вероятности разрушения на основе кривой пограничной деформации (Forming Limit Curve - FLC). По ISO 12004 с помощью FLC в пределах двухступенчатого эксперимента металлов на вытяжку по Nakajima (полукруглый вытяжной штамп) или по Marciniak (плоский штамп) генерируются критические деформации в испытаниях. Затем результаты сравниваются с деформациями, возникшими на реальном изделии, и оцениваются. Кривая и критерий сами по себе имеют статический характер, т.е. определяются для определенного диапазона скоростей деформаций. В автореферате на рисунках 5 и 6 в том числе представлены графики «зависимости критерия от времени и шага». Из текста автореферата до конца не понятно, к чему относятся эти параметры в контексте проведенных исследований. 2. В модели выбора «предпочтительных» показателей качества не анализируется влияние изменения соотношения приоритетов (повышения веса критериев безопасности относительно комфорта и т.п.) на конечный набор регламентируемых параметров. Включение элементарного анализа чувствительности позволило бы лучше показать устойчивость получаемых рекомендаций.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их научными достижениями и систематическими исследованиями в области стандартизации и управления качеством автокомпонентов, сертификации, организации производства, автоматизации и математического моделирования конструкций ответственных узлов автомобиля на стадии проектирования, что подтверждается наличием публикаций в ведущих рецензируемых изданиях из перечня ВАК РФ и в журналах, индексируемых в международных наукометрических базах. Это подтверждает их способ-

ность квалифицированно определить и оценить научную и практическую ценность диссертации.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

**разработана** новая научная идея системного выбора ключевых показателей качества продукции с использованием фасетной классификации шаровых шарниров шасси и нечетких отношений предпочтения, что развивает концепцию управления качеством автомобильных компонентов ответственного назначения и повышает эксплуатационные характеристики;

**предложена** оригинальная научная гипотеза, согласно которой формирование заданного уровня качества автомобильных компонентов ответственного назначения на стадиях проектирования конструкции и технологического процесса производства достигается посредством выбора ключевого показателя качества из разработанной фасетной классификации шаровых шарниров шасси, учитывающей их конструктивные и эксплуатационные признаки, что отличается от известных подходов, ориентированных преимущественно на управление качеством на этапе производства или контроля готовых изделий;

**доказана** перспективность использования комплекса новых научно-технических решений, включающего фасетную классификацию шаровых шарниров шасси с учетом конструктивных и эксплуатационных признаков; математическую модель выбора ключевых показателей качества продукции на основе аппарата нечетких отношений предпочтения; технологические режимы холодной листовой штамповки и раскатки бурта отсекаателя; модернизированную методику испытаний шаровых шарниров шасси на герметичность;

**введены** новые классификационные признаки качества шаровых шарниров шасси: тип крепления пальца к ответной детали, тип крепления корпуса к ответной детали, ориентация пальца, тип используемого вкладыша, принадлежность к системе автомобиля и тип воздействия окружающей среды, что позволило расширить понятийный аппарат в области управления качеством автомобильных компонентов и создать основу для фасетной классификации, учитывающей конструктивные и эксплуатационные особенности изделий ответственного назначения.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

**доказана** необходимость применения системного подхода к выбору ключевых показателей качества на основе разработанной фасетной классификации шаровых шарниров шасси и нечетких отношениях предпочтения, что позволило обеспечить заданный заказчиком эксплуатационный уровень

качества для шарового шарнира передней подвески автомобиля LADA Largus (показатели 3MIS = 0, 12MIS = 1, 24MIS = 2, 36MIS = 5);

**применительно к проблематике диссертации результативно** (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) **использованы** методы классификации, системного анализа и метод вариации эффектов при выявленных частных функциях, с помощью которых впервые построена фасетная классификация шаровых шарниров шасси по конструктивным и эксплуатационным признакам; методы стандартизации (кодирование и правила разработки документов), обеспечившие формализацию представления классификации; метод конечных элементов, позволивший разработать рациональные режимы холодной листовой штамповки и раскатки бурта отсекаателя;

**изложены** положения методики поэтапного проектирования автомобильных компонентов, включающие правила формализации экспертных оценок и алгоритм ранжирования конструктивных и эксплуатационных признаков на основе нечетких отношений предпочтения, что позволяет достичь установленного заказчиком уровня качества в эксплуатации и отличает разработанную методику от известных подходов, не учитывающих возможность формализованного выбора ключевых показателей на ранних стадиях жизненного цикла изделий ответственного назначения;

**раскрыты** несоответствия существующих алгоритмов выбора предпочтительных показателей автомобильных компонентов, заключающиеся в том, что указанные алгоритмы преимущественно ориентированы на управление качеством штучных деталей и не в полной мере применимы к сборочным единицам, в частности к изделиям ответственного назначения – шаровым шарнирам шасси, что обосновывает необходимость разработки нового подхода, учитывающего конструктивные и эксплуатационные особенности сложных узлов;

**изучены** причинно-следственные связи между выбираемым при проектировании ключевым признаком «тип воздействия окружающей среды» и конструктивным исполнением шарового шарнира шасси; на основе выявленных зависимостей обеспечен заданный заказчиком уровень качества в эксплуатации, на примере шарового шарнира передней подвески автомобиля LADA Largus, что подтверждено результатами испытаний и опытной эксплуатации;

**проведена модернизация** существующих алгоритмов выбора ключевых показателей качества продукции, заключающаяся в интеграции математической модели на основе нечетких отношений предпочтения и математической модели холодной листовой штамповки и раскатки бурта отсекаателя

шарового шарнира (применение вращающегося вокруг двух осей абсолютно жесткого инструмента), что обеспечило нулевую дефектность в поставках и заданный заказчиком уровень качества в эксплуатации.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:**

**разработаны и внедрены** в АО НПО «БелМаг» (г. Магнитогорск) классификация шаровых шарниров шасси автомобилей по конструктивным и эксплуатационным признакам; математическая модель выбора предпочтительных показателей качества шаровых шарниров шасси на основе аппарата нечетких отношений предпочтения; конструкция уплотнительной системы шарового шарнира с отсекателем; рабочие инструкции «РИ-ОГК DB-OBJ-SBJ-2-5» и «РИ-ОГК DB-OBJ-SBJ-3-7»; численная модель процесса штамповки и раскатки отсекателя; усовершенствованная методика испытаний шаровых шарниров на герметичность;

**определена** перспектива практического использования разработанного комплексного подхода к проектированию конструкции и технологического процесса производства автокомпонентов заданного уровня качества, основанного на интеграции принципов функционально-ориентированных технологий, таксонов классификации и математической модели выбора предпочтительных показателей продукции;

**создана** система практических рекомендаций, включающая рекомендации по выбору ключевых показателей качества продукции на основе разработанной фасетной классификации и математической модели нечетких отношений предпочтения; рекомендации по режимам холодной листовой штамповки и раскатки бурта отсекателя; рекомендации по режимам испытаний шаровых шарниров шасси на герметичность при пониженной температуре ( $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) и повышенной частоте качания/вращения пальца относительно корпуса (2 Гц);

**представлены** результаты применения разработанного комплекса технико-технологических решений, подтвердившие его эффективность: обеспечен нулевой уровень дефектности в поставках шаровых шарниров передней подвески автомобиля LADA Largus и достигнут заданный заказчиком уровень качества в эксплуатации ( $3\text{MIS} = 0$ ,  $12\text{MIS} = 1$ ,  $24\text{MIS} = 2$ ,  $36\text{MIS} = 5$ ).

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

**для экспериментальных работ** достоверность обеспечена применением сертифицированного и поверенного оборудования, а также стандартных методик определения показателей качества (износ защитного чехла, прирост содержания воды в смазке) шаровых шарниров передней подвески;

**теория построена** на известных подходах к управлению качеством автомобильной продукции, подтверждена результатами испытаний и опытом реальной эксплуатации с учетом работ, проведенных ранее учеными в области оценки качества продукции; численные модели построены на известном математическом аппарате и согласуются с полученными результатами производственного внедрения;

**идея базируется** на обобщении передового опыта выбора ключевых показателей качества продукции, что позволяет гарантированно обеспечить выполнение заданных эксплуатационных требований;

**использовано** сравнение авторских данных и данных, полученных ранее, по выбору ключевых показателей качества автомобильной продукции;

**установлено** качественное совпадение авторских результатов с результатами, представленными в независимых источниках по вопросам управления качеством автомобильных компонентов;

**использованы** современные методики сбора и обработки исходной информации, основанные на общенаучных методах анализа и синтеза для разработки фасетной классификации шаровых шарниров шасси.

**Личный вклад соискателя состоит** в выборе и обосновании актуальности темы исследования, постановке задач для достижения сформулированной цели диссертационного исследования, разработке фасетной классификации шаровых шарниров шасси на основе конструкционных и эксплуатационных признаков, разработке математической модели выбора предпочтительных показателей шаровых шарниров шасси на основе нечетких отношений предпочтения, создании численной модели процесса штамповки отсекаателя с последующей раскаткой бурта, разработке комплексного подхода к проектированию автокомпонентов заданного уровня качества, разработке конструкции уплотнительной системы шарового шарнира с отсекаателем, разработке режимов холодной листовой штамповки и раскатки бурта отсекаателя, разработке усовершенствованной методики испытаний на герметичность шаровых шарниров шасси, разработке и внедрении шарового шарнира передней подвески автомобиля LADA Largus.

**В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:**

**В отзыве ведущей организации:**

1. Развитие методов, направленных на повышение качества автомобильных компонентов, без сомнения, является актуальной отраслевой задачей. Однако, не совсем понятно, каким образом автор в своей работе выявил именно девять таксонов разработанной классификации.

2. Отмечено, что при проведении попарного сравнения весовые коэффициенты критериев сравнения приняты равными. Однако не приводится обоснование такого допущения.

3. На страницах 89-91 диссертации приведены результаты моделирования процесса раскатки бурта отсекаателя, но не приведены результаты моделирования предшествующих переходов.

4. Отмечено, что достигаются цели по качеству за 36 месяцев эксплуатации, однако численное значение отказов приведено только для одноголетнего периода.

5. Дискуссионным вопросом по работе представляется определение компетенций лица, принимающего решения при проведении попарного сравнения признаков.

6. Из текста диссертации не совсем понятно, можно ли применить разработанные методы, методики и алгоритмы для других автомобильных компонентов ответственного назначения.

#### **В отзыве официального оппонента Панюкова Дмитрия Ивановича:**

1. В диссертационной работе представлена фасетная классификация шаровых шарниров шасси по их функциональным и эксплуатационным признакам, а также подробно раскрыт выбор того или иного фасета. Рекомендуется в тексте диссертации явно указать на открытый характер данной структуры и описать процедуру введения новых фасетов при расширении номенклатуры или изменении условий эксплуатации.

2. Для выбора ключевых показателей продукции автором выбран инструмент нечетких отношений предпочтений. Целесообразно дополнить математическое обоснование кратким сравнением выбранного аппарата нечетких отношений предпочтения с альтернативными методами многокритериального выбора (например, нечеткий метод анализа иерархий) применительно к сборочным единицам, что повысит верифицируемость модели.

3. В тексте диссертации приведены расчётные значения критерия FLD для процесса штамповки и для процесса раскатки бурта отсекаателя. Отмечено, что для процесса раскатки критерий FLD ниже, из чего сделан вывод, что процесс раскатки является более предпочтительным с точки зрения минимизации риска возникновения дефектов типа несплошности. Рекомендуется явно указать пороговое (критическое) условие допустимости процесса для обеспечения однозначности критериев оценки технологической приемлемости.

4. В диссертации описана геометрия чехла, которая разделена на три характерные зоны, а также необходимость применения морозостойких ма-

рок резины для минимизации сопротивления гофры при качании. Остается нераскрытым вопрос выбора типа гофры чехла, а также ее геометрических соотношений, которые также могут оказать влияние на напряженно-деформированное состояние чехла.

5. Автором описана модернизация двух методик испытаний (SBFT и EST). Рекомендуется привести полные экспериментальные результаты валидации обеих методик или дать обоснование выбора одного из тестов в качестве основного для окончательного подтверждения герметичности.

#### **В отзыве официального оппонента Вдовина Дениса Сергеевича:**

1. При создании классификации с таксоном «ориентация шарнира в пространстве» рассмотрены только три возможных положения: «направленный вверх», «направленный вниз» и «горизонтальный». Однако в конструкциях подвесок автомобилей шаровые шарниры могут занимать и все промежуточные положения между указанными тремя. Неясно, как в таком случае промежуточной ориентации шарнира строить дальнейшие выводы и требования к системе уплотнения шарнира по разрабатываемой методике.

2. При оценке важности классификационных признаков шарового шарнира квалитетическим способом использованы следующие критерии: «обеспечение безопасности транспортного средства», «обеспечение основной функции изделия» и «уровень комфорта водителя и пассажиров». Однако работа не содержит указаний по выбору этих критериев или источников откуда они взяты данные критерии, почему они именно такие.

3. В численных моделях процессов штамповки и раскатки бурта отсекавателя автор указывает, что не учтены многие технологические факторы. Данные допущения вызывают вопрос обоснованности, поскольку при величине полученного при математическом моделировании критерия неразрушения FLD, равного 0,1805, — в реальном процессе штамповки все же иногда возникают дефекты типа нарушение сплошности (разрыв).

4. В диссертации отмечено, что были достигнуты цели по качеству для шаровых шарниров LADA Largus в эксплуатации. Остается открытым вопрос об уровне качества данных шаровых шарниров до внедрения предлагаемых изменений.

5. По назначению шаровой шарнир передней подвески разделен на несущий и направляющий. Целесообразно дополнительно пояснить данное разделение, ведь в направляющем аппарате подвески шаровой шарнир является одновременно несущим и направляющим.

6. Для отсекавателя автором выбрана нержавеющей сталь AISI 304. Рекомендуется подробно объяснить данный выбор, а также привести сравне-

ние с другими возможными вариантами, например отсекаТЕЛЬ из углеродистой стали с полимерным или гальваническим покрытием.

### **В ходе заседания диссертационного совета:**

Каким образом предложенная фасетная классификация позволяет обеспечивать качество разработанной конструкции? Достаточно ли девяти выявленных на основе классификации показателей качества, есть ли среди них ключевые, как они ранжированы? Может ли предложенный подход быть применен для иных автомобильных компонентов, например, для деталей кузова автомобиля? Каким образом была определена невозможность сравнения показателей качества по тому или иному критерию? Каким образом нули, минусы и плюсы из качественной таблицы сравнения признаков трансформируются в числовую таблицу парного сравнения? Методика проведения испытаний шаровых шарниров шасси на герметичность была модернизирована посредством ее ужесточения, или же для того, чтобы обеспечить показатели качества без доработки конструкции? С учетом того, что разработанная конструкция является более дорогой, имеются ли какие-либо преимущества для конечного потребителя? Были ли рассмотрены иные варианты материалов для отсекаТЕЛЯ, например, углеродистая сталь или углеродистая сталь с покрытием? Было ли рассмотрено влияние состава резинового уплотнителя на его свойства, качество и конечную стоимость? Каким образом при смене климатических условий будет изменяться конструкция уплотнительной системы? Каким образом определено всего 9 показателей и допустимо ли расширение данного перечня? Были ли применены специальные программные средства для работы с нечеткими множествами? Почему вес критериев задан как  $1/3$ , и может ли он быть изменен? Может ли разработанная математическая модель послужить основой для обучения нейронной сети? Просьба дать обоснование выбранному методу нечетких отношений предпочтения и почему не был выбран иной метод, например, метод анализа иерархий? В каком направлении может быть развита модель для устранения указанных допущений? Была ли рассмотрена возможность повышения долговечности в эксплуатации посредством увеличения износостойкости пальца? Разделяете ли вы технические решения и технологические решения, и если да, то назовите основные технические и основные технологические решения. Можно ли с помощью представленного подхода решать задачи реверс-инжиниринга, и можно ли получить новую классификацию на основе анализа новых конструкций? Что означает первая строчка прямоугольника на слайде №27? Не слишком ли обычной является температура  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  для российских условий? Является ли сталь 08Ю старым вариантом конструкции по сравнению со сталью

08X18N10? Проведенный анализ осуществлялся на основании экспертной оценки, тогда чем доказано согласие экспертов? Каким образом усовершенствована методика испытаний шарниров на герметичность? Будет ли методика другой, если температура будет понижена до  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а частоты увеличены до 2,5 Гц? Каким образом была определена функция принадлежности? Были ли использованы процедуры выбора нечетких множеств? Почему был использован детерминированный подход, если параметры управления носят вероятностный характер? Как ваша теория позволила выйти на то техническое решение, которое вы предлагаете?

**Соискатель Столяров Ф.А. ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию:**

Разработанная фасетная классификация позволяет выявить перечень показателей, которые могут влиять на качество в эксплуатации, а посредством дальнейшего расчёта с помощью предложенной математической модели выявлено, что ключевым с точки зрения качества в эксплуатации является тип воздействия окружающей среды, что позволило разработать новую конструкцию уплотнительной системы. Изначально принято, что данные признаки являются равнозначными, но посредством расчёта по математической модели выявлено, что ключевым является тип воздействия окружающей среды. Также отмечено, что данная структура является открытой и предполагает возможность добавления новых фасетов и модернизации всей схемы. Данный подход является универсальным и может быть применён, например, для кузовных элементов. Невозможность сравнения показателей качества определялась недостатком информации и высоким уровнем неопределенности. Нули и минусы качественной таблицы сравнения признаков трансформируются в нули, плюсы трансформируются в единицы. Температура проведения испытания была снижена, частоты качания и вращения пальца увеличены, что следует считать ужесточением методики. Применение новой конструкции уплотнительной системы позволяет обеспечить заданный уровень качества, в связи с чем конечный потребитель будет реже обращаться в сервисный центр. Применение углеродистой стали с покрытием для отсекавателя также рассматривалось, однако логистические издержки и возможные нарушения сплошности покрытия показали, что наиболее предпочтительным является выбор именно нержавеющей стали. Влияние состава резиновой смеси на качество шаровых шарниров в эксплуатации в данной работе подробно не рассматривалось и является предметом будущих исследований. Для более жёстких условий эксплуатации конструкция шарниров требует доработки и применения ещё более сложных технических решений, но стоимость этих технических ре-

шений будет на порядок выше. 9 показателей определены на основе проведенной фасетной классификации шаровых шарниров по конструктивным и эксплуатационным признакам, представляющей собой открытую структуру с возможностью добавления или исключения фасетов. Применение специальных программных продуктов для работы с нечеткими множествами не является целесообразным. Веса коэффициентов величиной  $1/3$  приняты исходя из массовости дефектов, которые возникают в эксплуатации и вероятности их возникновения, однако их вес может быть изменен. Разработанная модель может послужить основой для обучения нейронной сети. Метод нечетких отношений предпочтений выбран как наиболее общий и интуитивно понятный для исследователя или инженера, в то время как метод анализа иерархий сложно применить для выбора равнозначных показателей качества из разработанного перечня. В качестве направления для развития модели может быть рассмотрен различный вес коэффициентов и может быть изменён или расширен перечень экспертов, с участием которых проведено попарное сравнение. Наиболее изнашиваемым компонентом является пластиковый вкладыш, поэтому рассматривать поверхностное упрочнение стальных компонентов не имеет смысла. Техническими решениями являются: предложенная конструкция шарового шарнира с отсекателем, усовершенствованная методика испытаний, технологическим решением является разработка процесса формирования бурта отсекателя раскаткой. С помощью разработанного подхода можно проанализировать конструкцию, которая раньше не была исследована, и провести реверс-инжиниринг с доработкой представленной классификации, выявлением новых классификационных признаков и повторном определении ключевых показателей для доработки существующих или создания новых конструкций. Первая строка прямоугольника на слайде №27 означает нулевой уровень дефектности при поставках на конвейер и отсутствие дефектов до начала эксплуатации. Температура  $-20^{\circ}\text{C}$  является пороговой при гистерезисе и релаксации применяемой марки резины. Сравнение марки стали 08Ю и 08Х18Н10 проведено только с точки зрения технологичности. Сравнение проводилось лично, результаты подтвердили эксперты различной квалификации единогласно. Методика проведения испытаний на герметичность была усовершенствована посредством снижения температуры проведения испытаний и повышения частоты качания и вращения пальца относительно корпуса. При изменении температуры и увеличении частота методика будет другой. Предлагаемый подход не предполагает определение функции принадлежности. Процедура выбора заключалась в выделении подмножества недоминируемых альтернатив на основе заданных не-

