

ISSN 1995-2732 (Print), 2412-9003 (Online)
УДК 658.562.64
DOI: 10.18503/1995-2732-2025-23-4-139-146



ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ОПЕРЕЖАЮЩЕЙ СТАНДАРТИЗАЦИИ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ УРОВНЯ ДЕФЕКТНОСТИ В ЭКСПЛУАТАЦИИ НА ПРИМЕРЕ ШАРОВЫХ ШАРНИРОВ

Столяров Ф.А.¹, Гун И.Г.², Полякова М.А.¹

¹Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия

²АО НПО «БелМаг», Магнитогорск, Россия

Аннотация. Постановка задачи (актуальность работы). Обеспечение заданного уровня качества автомобильных компонентов отечественного производства является необходимостью и серьезным конкурентным преимуществом при поставках на OEM-предприятие. Шаровые шарниры подвески и рулевого управления являются одними из наиболее ответственных узлов с точки зрения обеспечения безопасности и комфорта эксплуатации транспортного средства. Долговечность шаровых шарниров в эксплуатации зависит от множества факторов, основным из которых на данный момент является обеспечение герметичности в сложных дорожно-климатических условиях Российской Федерации. С этой точки зрения актуальной задачей является задание таких требований к герметичности шарниров, выполнение которых позволило бы обеспечить заданный уровень качества шаровых шарниров в гарантийный период эксплуатации автомобиля. **Цель работы.** Обеспечение заданного уровня качества шаровых шарниров на основе модернизации методики испытания уплотнительной системы на герметичность. **Используемые методы.** Анализ, метод DFMEA, метод «5 почему», метод опережающей стандартизации. **Новизна.** Предложена модернизированная методика испытаний уплотнительной системы шаровых шарниров на герметичность. **Результат.** На основе ужесточения требований и режимов испытания на герметичность была модернизирована конструкция уплотнительной системы шарниров стоек стабилизатора. **Практическая значимость.** Полученные результаты позволили обеспечить заданный уровень качества в гарантийный период эксплуатации шарниров стоек стабилизатора.

Ключевые слова: опережающая стандартизация, шаровой шарнир, герметичность, методика испытания, гарантийный период эксплуатации

© Столяров Ф.А., Гун И.Г., Полякова М.А., 2025

Для цитирования

Столяров Ф.А., Гун И.Г., Полякова М.А. Практическое применение методов опережающей стандартизации для снижения уровня дефектности в эксплуатации на примере шаровых шарниров // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2025. Т. 23. №4. С. 139-146. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2025-23-4-139-146>



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

PRACTICAL APPLICATION OF ADVANCED STANDARDIZATION METHODS TO REDUCE THE DEFECT LEVEL IN OPERATION USING THE EXAMPLE OF BALL JOINT

Stolyarov F.A.¹, Gun I.G.², Polyakova M.A.¹

¹ Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia

² JSC BelMag, Magnitogorsk, Russia

Abstract. Problem Statement (Relevance): Ensuring the specified quality level of domestically produced automotive components is a necessity and a serious competitive advantage when supplying to an OEM enterprise. Suspension and steering ball joints are among the most critical components in terms of ensuring the safety and comfort of vehicle operation. The durability of ball joints in operation depends on many factors, the main one of which at the moment is ensuring tightness in the difficult road and climatic conditions of the Russian Federation. From this point of view, a relevant task is to set such requirements for the tightness of joints, the fulfillment of which would ensure the specified quality level of ball joints during the quality warrant period of vehicle. **Objectives.** The research is aimed at ensuring a specified level of quality of ball joints based on the modernization of the sealing system testing method for tightness. **Methods applied.** The authors used such methods as analysis, DFMEA method, Five whys, forward standardization method. **Originality.** A modernized method for testing the sealing system of ball joints for tightness is proposed. **Result.** Based on the toughening of requirements and testing modes for tightness, the design of the sealing system of the stabilizer link's joints was modernized. **Practical Relevance.** The obtained results made it possible to ensure the specified level of quality during the quality warrant period of operation of the stabilizer links.

Keywords: advanced standardization, ball joint, tightness, test method, warranty period of operation

For citation

Stolyarov F.A., Gun I.G., Polyakova M.A. Practical Application of Advanced Standardization Methods to Reduce the Defect Level in Operation Using the Example of Ball Joint. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2025, vol. 23, no. 4, pp. 139-146. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2025-23-4-139-146>

Введение

Обеспечение заданного уровня качества автомобильных компонентов отечественного производства играет немаловажную роль в конкурентной борьбе за возможность поставлять продукцию на OEM(original equipment manufacturer)- завод и за долю рынка при продажах в сеть запчастей. На данный момент в связи со сложившейся экономической ситуацией последних лет (санкционная политика, волатильность курса рубля, политика защиты внутреннего рынка) для отечественных, а также зарубежных OEM-производителей особенно актуальна задача повышения уровня локализации входящих в состав автомобиля компонентов. В связи с этим увеличивается уровень спроса на автомобильную продукцию отечественного производства с сохранением уровня качества, заданным зарубежными ведущими поставщиками и автопроизводителями.

Шаровые шарниры подвески и рулевого управления автомобилей являются ответственными узлами [1], поскольку потеря их работоспособности влечет появление аварийных ситуаций, сопряженных с угрозой безопасности потребителя. Помимо обеспечения безопасной эксплуатации, немаловажным остается уровень комфорта водителя, эксплуатирующего транспортное средство. С этой точки зрения шаровые

шарниры, как наиболее подвижные элементы подвески, направляющего аппарата и рулевого управления автомобиля в случае некоторых неисправностей могут издавать посторонние шумы.

Одним из способов достижения заданного уровня качества автокомпонентов, в частности шаровых шарниров, является внедрение принципа комплексной стандартизации, когда регламентируются все требования как к изделию в сборе и его комплектующим, так и к условиям эксплуатации продукта и факторам воздействия на него.

В Российской Федерации к шаровым шарнирам предъявляются обязательные требования со стороны ТР ТС 018/2011 «О безопасности колесных транспортных средств», а также необязательные (применимые по согласованию сторон) требования ГОСТ Р 52433-2005 «Шарниры шаровые. Технические требования и методы испытаний». Однако стоит отметить, что требования указанных документов сводятся к обеспечению безопасности шарниров в эксплуатации, в частности требования к усилию вырыва, выдавливания, твердости поверхностного слоя шаровых пальцев и т.д. Решению данных вопросов посвящено множество работ отечественных и зарубежных авторов [2-6]. Однако данных требований недостаточно для разработки качественной продукции.

В отечественной и зарубежной литературе [7-9] описываются различные методики испытаний шаровых шарниров на износ, позволяющих определить долговечность. Данные методики заключаются в сложном движении шарового пальца относительно корпуса, подразумевающего одновременное качание и вращение с приложением к шаровому пальцу различных по знаку и направлению нагрузок. Стоит отметить, что предложенные методики не позволяют моделировать реальные условия эксплуатации и многие факторы, оказывающие влияние на долговечность шарового шарнира, а именно пониженные и повышенные температуры, влага, дорожные реагенты, твердые частицы и т.д. В некоторых открытых источниках описываются способы обеспечения герметичности шарниров [10, 11], однако в данных работах уделяется внимание формированию неразъемного шарнирного соединения и герметичности после операции запрессовки или закатки.

Поэтому со стороны OEM-производителей к комплектующим предъявляется дополнительный комплекс требований [12, 13], выполнение которых позволяет обеспечить надежность в эксплуатации. Однако большинство современных OEM-спецификаций разработаны европейскими компаниями для автомобилей, эксплуатация которых планируется в мягком европейском климате. В связи с этим актуальна задача модернизации требований к автокомпонентам для обеспечения заданного уровня качества в эксплуатации на основе принципов опережающей стандартизации.

Материалы и методы исследования

Большая часть дефектов шаровых шарниров в эксплуатации связана с появлением посторонних шумов, а именно скрипов и стуков, что подтверждается анализом диаграммы распределения по дефектам зарекламированных стоек стабилизатора (рис. 1). Сами стуки вызваны появлением повышенного свободного перемещения пальца в шарнире (люфта).



Рис. 1. Распределение типов дефектов шарниров стойки стабилизатора автомобиля LADA Vesta
Fig. 1. Distribution of defect types of the stabilizer links joints of the LADA Vesta car

В данной работе в качестве объекта исследования рассмотрим шаровой шарнир стойки стабилизатора поперечной устойчивости автомобиля LADA Vesta. По результатам многолетней эксплуатации выявлено, что наибольшее число рекламаций приходится именно на шарниры стоек из-за близкого расположения нижнего шарнира к дорожному полотну. В таком случае на нижний шарнир попадает значительное количество пыли, воды, дорожных реагентов и прочего, которые приводят к деградации характеристик шарнира. В таком случае характерными признаками потери герметичности является деградация смазки и наличие ржавчины на сфере шарнира (рис. 2).



Рис. 2. Внешний вид зарекламированного шарнира стойки стабилизатора

Fig. 2. External view of the warranty claimed stabilizer link joint

Используя различные методы поиска корневых причин, например 8D, «5 почему», диаграмму Исикавы или FMEA, выявлено, что корневой причиной выхода шарнира из строя является нарушение герметичности уплотнительного соединения, которое состоит из чехла защитного и пружинного и уплотнительного колец (рис. 3).

В большинстве случаев потеря герметичности происходит в области сопряжения защитного чехла с ответными деталями, а именно с пальцем и корпусом (или вкладышем).

Герметичность шарового шарнира является комплексным показателем качества шарового шарнира, зависящим от множества факторов. Данными факторами являются: материал чехла (тип резиновой смеси); способ изготовления детали; геометрия чехла (длина образующей, геометрия гофры, форма горловин, форма заплечика и т.д.). Также важно учитывать применяемую в шарнире марку смазки и геометрию и свойства ответных деталей, а именно пружинного и уплотнительного колец. Геометрия посадочного места и микрорельеф поверхности на корпусе и пальце тоже оказывают значительное влияние на герметичность шарового шарнира, в частности на величину износа в процессе эксплуатации.

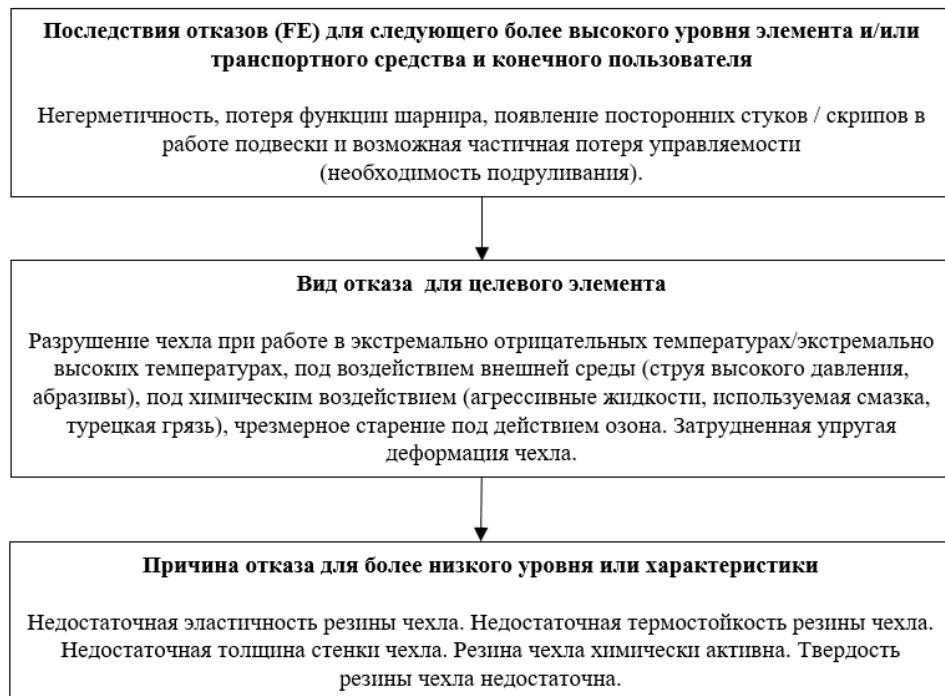


Рис. 3. Выявление корневых причин негерметичности посредством DFMEA-анализа
Fig. 3. Identifying root causes of leaks using DFMEA Analysis

Оценка герметичности уплотнительной системы шаровых шарниров на различных стадиях работы над проектом [12-14] сводится, как правило, к нескольким коротким тестам (длительность менее 8 ч) и нескольким длинным тестам (длительность 8 ч и более). Короткие тесты позволяют выявить ошибки проектирования за небольшой промежуток времени и без значительных затрат на эксперимент, однако полное соответствие продукции критериям положительного результата данных испытаний не дает гарантий безотказной эксплуатации шарниров, в особенности в сложных дорожно-климатических условиях Российской Федерации. Длительные тесты с этой точки зрения позволяют с большей вероятностью говорить о соответствии продукта заданному уровню качества в случае их успешного прохождения. Однако, как было отмечено ранее, большинство OEM-спецификаций и, как следствие, требований к герметичности были разработаны европейскими или американскими компаниями для европейских и американских дорожно-климатических условий. Поэтому иногда при полном соответствии продукции заданным требованиям возникают серьезные проблемы в эксплуатации в дорожной сети и климате Российской Федерации.

В данной работе рассматривается длительное испытание для комплексной оценки герметичности, а именно «SBFT» (Sealing below function test). Методика проведения «SBFT» подразумевает полное погружение шарниров в жидкость и осуществление качания и вращения пальца относительно корпуса по специальным режимам (табл. 1).

Таблица 1. Стандартные режимы «SBFT»
Table 1. Standard modes of SBFT

Параметр	Погружение в воду	Погружение в раствор воды и этиленгликоля
Температура жидкой среды, °C	+23	-15
Угол качания пальца, град	Индивидуально	Индивидуально
Частота качания, Гц	0,1	0,1
Количество циклов качания	10 000	2 500
Угол вращения пальца, град	Индивидуально	Индивидуально
Частота вращения, Гц	0,4	0,4
Количество циклов вращения	40 000	10 000

Само испытание проводится на специализированном испытательном оборудовании для оценки герметичности шаровых шарниров автомобилей (рис. 4).

Для «SBFT» имеются следующие критерии положительного результата:

- отсутствие коррозии пальца шарового в области контакта с защитным чехлом;
- отсутствие свободной воды во внутреннем объеме шарнира;
- отсутствие трещин и расслоений на защитном чехле;
- износ защитного чехла в различных зонах не более заданного значения;
- отсутствие выступания смазки из-под чехла;
- прирост содержания воды в смазке не более 0,6% (определяется по методу Карла-Фишера).



Рис. 4. Испытательный стенд для проверки герметичности шаровых шарниров

Fig. 4. Test bench for checking the tightness of ball joints

Данная методика была применена в процессе работ по проекту для испытания уплотнительной системы шарниров стоек стабилизатора. Были получены удовлетворительные результаты, однако уровень дефектности в поставках составлял 131 дефект на тысячу автомобилей в течение трехлетней эксплуатации, что не укладывалось в цели по качеству.

Исходя из этого, было принято решение о модернизации конструкции уплотнительной системы на основе ужесточения требований к герметичности и модернизации методики испытаний.

Доработка методик проводилась совместно со специалистами АО «АвтоВАЗ» с учетом условий кинематики шарнира и факторов окружающей среды в реальных условиях эксплуатации.

Модернизированы следующие режимы испытаний (табл. 2):

– отрицательная температура понижена до -20°C . В таком случае снижаются упругие характеристики резины чехла, что негативно отражается на плотности прилегания горловин чехла в сопряжении с ответными деталями и увеличении сопротивления упругой деформации гофры чехла;

– увеличена частота вращения пальца при обеих температурах. В таком случае увеличивается модуль упругости резины и сокращается время на гистерезис резины чехла и возврат его формы к начальному положению [15]. В этом случае повышается риск возникновения щели между горловиной чехла и пальцем. Также при увеличении частоты движения и числа циклов повышается риск износа горловины чехла.

Также подобрана концентрация этиленгликоля в растворе с водой для испытания при отрицательной температуре. Выбрана концентрация этиленгликоля 44%, обеспечивающая его максимальную текучесть при минимальной температуре проведения испытаний.

На рис. 5 представлен внешний вид образцов шарниров стоек стабилизатора, установленных в испытательную оснастку.

Таблица 2. Модернизированная методика «SBFT»
Table 2. Modernized modes of SBFT

Параметр	Погружение в воду	Погружение в раствор воды и этиленгликоля
Температура жидкой среды, $^{\circ}\text{C}$	+23	-20
Угол качания пальца, град	Индивидуально	Индивидуально
Частота качания, Гц	0,1	0,1
Количество циклов качания	200 000*	50 000*
Угол вращения пальца, град	Индивидуально	Индивидуально
Частота вращения, Гц	2	2
Количество циклов вращения	200 000	50 000



Рис. 5. Фото образцов, установленных в оснастку
Fig. 5. Photos of samples installed in the tooling

Полученные результаты и их обсуждение

Результаты испытаний различных конструкций уплотнительной системы шарниров стоек стабилизатора представлены в табл. 3.

Таблица 3. Результаты проведения испытаний системы уплотнения шаровых шарниров на герметичность

Table 3. Ball joint sealing test results

Тип испытываемой конструкции	Тип методики испытания	
	Стандартная методика ($-15 / +23^{\circ}\text{C}$)	Модернизированная методика ($-20 / +23^{\circ}\text{C}$)
Старая конструкция	Прирост содержания воды в смазке 0,09–0,31%	Прирост содержания воды в смазке 1,414–5,772%
Модернизированная конструкция	Прирост содержания воды в смазке 0,03–0,17%	Прирост содержания воды в смазке 0,05–0,16%

На рис. 6 представлен внешний вид образцов после проведения испытания.



Рис. 6. Фотографии образцов после проведения испытания: а – старая конструкция по стандартной методике; б – старая конструкция по модернизированной методике; в – модернизированная конструкция по стандартной методике; г – модернизированная конструкция по модернизированной методике

Fig. 6. Photos of samples after testing: a is old design using standard method, b is old design using modernized method, c is modernized design using standard method, d is modernized design using modernized method

Из таблиц и рисунков видно, что старая конструкция не прошла испытание по модернизированной методике по следующим критериям: содержание воды в смазке более 0,6 %, а также присутствует свободная вода (капли) в пространстве под чехлом и на проточке пальца.

Для оценки корректности количества испытанных образцов необходимо определить минимальное достаточное количество опытов. Минимальное число опытов определяется по формуле [16]

$$n_{\min} \geq \left(\frac{\sigma t}{a \cdot k_T} \right)^2, \quad (1)$$

где \bar{a} – среднее арифметическое; σ – среднеквадратичное отклонение; k_T – требуемая точность измерений в относительных единицах; t – критерий Стьюдента, выбираемый в зависимости от числа проведенных опытов или числа степеней свободы и заданной доверительной вероятности.

Для полученных в результате обработки результатов значений минимальное число опытов составляет 2, что соответствует техническим спецификациям заказчиков OEM-уровня и количеству проведенных опытов для каждого теста: 6.

По результатам испытаний была утверждена измененная конструкция уплотнительной системы шарнира стойки и был произведен запуск серийного производства измененной продукции. По результатам 3-летней эксплуатации выявлено снижение уровня дефектности на 130,6 единиц до 0,4 дефектов в трехлетней эксплуатации на тысячу автомобилей, что соответствует целям по качеству.

Заключение

Таким образом, применение принципов комплексной и опережающей стандартизации на практике позволяет повысить уровень качества производимой продукции в эксплуатации, что и было показано на примере модернизации конструкции уплотнительной системы шаровых шарниров стоек стабилизатора.

Сама модернизация конструкции проводилась на основе ужесточения требований и режимов проведения испытаний на герметичность. В результате была получена продукция, уровень дефектности в эксплуатации которой укладывается в цели по качеству в гарантийный период. Сам подход может быть реализован для всех шаровых шарниров, а также для иных автомобильных компонентов.

Список источников

1. Раймпель Й. Шасси автомобиля: Рулевое управление /пер. с нем. В.Н. Пальянова; под ред. А.А. Гальбрейха. М.: Машиностроение, 1987. 232 с.: ил.
2. Расчётное определение показателей прочности шаровых шарниров элементов шасси автомобиля путём моделирования процесса статических испытаний / И.А. Михайловский, И.Г. Гун, В.В. Сальников [и др.] // Журнал автомобильных инженеров. 2014. № 2(85). С. 20-24.
3. Расчетное определение усилия начала пластической деформации при изгибе пальца шарового наружного рулевого наконечника автомобиля посредством моделирования процесса статических испытаний / Гун И.Г., Вахитов А.Р., Столяров Ф.А., Смирнов А.В., Михайловский И.А. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2021. Т.19. №2. С. 23–31.
4. Исследование процесса формирования неразъемных соединений шаровых шарниров легких коммерческих автомобилей / И.Г. Гун, И.Ю. Мезин, И.А. Михайловский, Д.А. Пестерев, Е.Г. Касаткина // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2017. Т. 21, № 5(124). С. 24-31.
5. Rutci A., Eren F.S. Investigation of suspension ball joint pull out force based on FEA method and experimental study // International symposium on innovate technologies in engineering and science. Alanya, 2018. Pp. 1002-1009.
6. Sin B.U., Lee K.H. Process Design of a Ball Joint, Considering Caulking and Pull-Out Strength. Dong-A University, Republic of Korea, 2014. Pp. 146-151.
7. Raes S., Devreese T., De Pauw J., De Beaets P. Design of A Tribological Ball Joint Tester. 2015. 6(1), pp. 1-5.
8. Гун И.Г., Михайловский И.А., Лапчинский В.В. Проведение испытаний шаровых шарниров передней под-

- вески легковых автомобилей с целью определения эксплуатационного ресурса // Прогрессивные технологии в транспортных системах : сборник докладов Шестой российской научно-технической конференции, Оренбург, 18–20 ноября 2003 года. Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2003. С. 75–78.
9. Разработка, моделирование и совершенствование процессов производства шаровых шарниров автомобилей / И.Г. Гун, И.А. Михайловский, Д.С. Осипов [и др.] // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2014. № 1(45). С. 52–57.
10. Tian H.B., Liu X.H., & Yu Z.T. Study on the Ball Joint Sealing of Aluminium Control Arms // Materials Science Forum. 2011, pp. 758–761.
11. 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(28). С. 47–50.
12. 31-05-123. Environmental sealing test procedure. Sealing bellows function test, Renault, 2007, 13 p.
13. AK-LH 14. Suspension ball joint. Requirements and testing. Working Committee: AUDI BMW Daimler Chrysler Porsche Volkswagen. 2004. 34 p.
14. 7832.050.176, Robert Bosch Automotive Steering GmbH. 2016, 55 p.
15. Семенов В.К., Белкин А.Е. Экспериментальное исследование гистерезисных свойств протекторных резин в условиях циклического нагружения, характерного для автомобильных шин // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2013. № 2. С. 9–14.
16. Бойко А.Ф., Кудеников Е.Ю. Точный метод расчета необходимого количества повторных опытов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2016. № 8. С. 128–132.
4. Gun I.G., Mezin I.Yu., Mikhailovskiy I.A., Pesterev D.A., Kasatkina E.G. Study of the process of forming permanent joints of ball joints of light commercial vehicles. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Vestnik of the Irkutsk State Technical University]. 2017;21(5(124)):24–31. (In Russ.)
5. Ructi A., Eren F.S. Investigation of suspension ball joint pull out force based on FEA method and experimental study. International symposium on innovate technologies in engineering and science, Alanya. 2018:1002–1009.
6. Sin B.U., Lee K.H. Process Design of a Ball Joint, Considering Caulking and Pull-Out Strength. Dong-A University, Republic of Korea. 2014:146–151.
7. Raes S., Devreese T., De Pauw J., De Beaets P. Design of A Tribological Ball Joint Tester. 2015;6(1):1–5.
8. Gun I.G., Mikhailovskiy I.A., Lapchinskiy V.V. Conducting tests of ball joints of the front suspension of passenger cars to determine the service life. *Progressivnye tekhnologii v transportnyh sistemah : Sbornik dokladov shestoy rossiiskoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii* [Progressive technologies in transport systems: Collection of reports of the sixth Russian scientific and technical conference]. Orenburg: Orenburg State University, 2003, pp. 75–78. (In Russ.)
9. Gun I.G., Mikhailovskiy I.A., Osipov D.S., Kutseperek V.I., Salnikov V.V., Gun E.I., Smirnov A.V., Smirnov A.V. Development, modeling and improvement of production processes for ball joints of automobiles. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2014;(1(45)):52–57. (In Russ.)
10. Tian H.B., Liu X.H., Yu Z.T. Study on the Ball Joint Sealing of Aluminium Control Arms. Materials Science Forum. 2011:758–761.
11. Kalmykov Yu.V., Mikhailovskiy I.A., Salnikov V.V., Pesterev D.A.. Analysis of existing methods of forming a connection and basic quality requirements for the assembly of ball joints of the front suspension of cars. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2009;(4(28)):47–50. (In Russ.)
12. 31-05-123. Environmental sealing test procedure. Sealing bellows function test, Renault. 2007, 13 p.
13. AK-LH 14. Suspension ball joint. Requirements and testing. Working Committee: AUDI BMW Daimler Chrysler Porsche Volkswagen. 2004, 34 p.
14. 7832.050.176. Robert Bosch Automotive Steering GmbH. 2016, 55 p.
15. Semenov V.K., Belkin A.E. Experimental study of hysteresis properties of tread rubbers under cyclic loading conditions typical for automobile tires. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedeniy. Mashinostroenie* [News of higher educational institutions. Mechanical engineering]. 2013;(2):9–14. (In Russ.)
16. Boyko A.F., Kudenikov E.Yu. An accurate method for calculating the required number of repeated experiments. *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. V.G. Shuhova* [Vestnik of the Shukhov Belgorod State Technological University]. 2016;8:128–132. (In Russ.)

References

1. Reimpell J. Shassi avtomobilya: *Rulevoe upravlenie* [Car chassis: Steering]. Translated from German by Palyanov V.N., ed. by Galbreikh A.A. Moscow: Mashinostroenie, 1987, 232 p. (In Russ.)
2. Mikhailovskiy I.A., Gun I.G., Salnikov V.V., Kutseperek V.I., Gun E.I., Vdovin D.S. Estimated determination of the strength indicators of ball joints of the vehicle chassis elements by simulating a static test process. *Zhurnal avtomobilnykh inzhenerov* [Journal of Automotive Engineers]. 2014;(2(85)):20–24. (In Russ.)
3. Gun I.G., Vakhitov A.R., Stolyarov F.A., Smirnov A.V., Mikhailovskiy I.A. Calculation of starting force of plastic deformation when bending an outer tie rod ball stud by the simulation of static tests. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2021;19(2): 23–31. (In Russ.)

Поступила 03.06.2025; принята к публикации 05.11.2025; опубликована 25.12.2025
Submitted 03/06/2025; revised 05/11/2025; published 25/12/2025

Столяров Федор Алексеевич – аспирант,
Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия.
Email: stolyarov.f.a@yandex.ru. ORCID 0000-0001-7785-8417

Гун Игорь Геннадьевич – доктор технических наук, профессор, генеральный директор,
АО НПО «БелМаг», Магнитогорск, Россия.
Email: goun@belmag.ru. ORCID 0000-0002-6201-661X

Полякова Марина Андреевна – доктор технических наук, доцент,
Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия.
Email: m.polyakova@magtu.ru. ORCID 0000-0002-1597-8867

Fedor A. Stolyarov – Postgraduate Student,
Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.
Email: stolyarov.f.a@yandex.ru. ORCID 0000-0001-7785-8417

Igor G. Gun – DrSc (Eng), Professor, General Director
JSC BelMag, Magnitogorsk, Russia.
Email: goun@belmag.ru. ORCID 0000-0002-6201-661X

Marina A. Polyakova – DrSc (Eng), Associate Professor,
Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.
Email: m.polyakova@magtu.ru. ORCID 0000-0002-1597-8867