

УДК 621.825.6-7

## Исследование напряженно-деформированного состояния карданного вала автомобиля со съёмными шарнирами

А.В. Платонов<sup>1</sup>, К.А. Щеглетов<sup>2</sup>, Т.В. Рябикина<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Арзамасский политехнический институт (филиал) Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева

<sup>2</sup> АО АНПП «ТЕМП-АВИА»

## Studying the stress-strain state of a vehicle cardan shaft with the removable hinges

A.V. Platonov<sup>1</sup>, K.A. Shchegletov<sup>2</sup>, T.V. Ryabikina<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Arzamas Polytechnic Institute, Branch of the Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev

<sup>2</sup> JSC ANPP TEMP-AVIA

Приведены примеры использования карданных валов в автомобильной технике. Проанализированы причины выхода из строя крестовин шарниров карданных валов. Рассмотрены методы технического обслуживания карданных шарниров и недостатки инструкций по их проведению. Для повышения надежности и долговечности карданных шарниров автомобилей разработана модульная модернизированная конструкция карданного вала. Отличительной особенностью шарнирных узлов нового карданного вала является возможность технического обслуживания и замены без его демонтажа из трапеции автомобиля. Показано, что для объективной оценки эксплуатационной надежности модернизированного карданного вала, его необходимо исследовать современными методами. Проведен анализ ранее выполненных исследований объектов машиностроения, в том числе крестовины шарнира карданного вала. Результаты анализа позволили применить метод численного моделирования для модернизированного карданного вала модульного типа. Приведены результаты исследования модернизированного карданного вала на имитационных моделях сварного соединения его труб. Выявлено, что у предлагаемой конструкции карданного вала технические характеристики лучше, чем у типового варианта изделия. Практическая значимость работы заключается в значительном сокращении сроков проведения технического обслуживания и ремонта, что значительно увеличивает срок службы изделия.

EDN: OZWYUP, <https://elibrary/ozwyup>

**Ключевые слова:** карданный вал, шарнир карданного вала, крестовина карданного вала, съёмный шарнир, численное моделирование, линейные перемещения

The paper presents examples of using cardan shafts in the automotive engineering. It analyzes causes of failures in the cardan shaft joint crosspieces. The methods of cardan joints technical maintenance and shortcomings in the instructions for their implementation are considered. A modular modernized design of the cardan shaft is developed to improve reliability and durability of the vehicle cardan joints. A distinctive feature of hinge assemblies of the new cardan shafts is a possibility of their technical maintenance and replacement without removing from the vehicle trapezium. The paper shows that for objective assessment of the modernized cardan shaft in terms of its operational reliability, it is necessary to study the device using the modern methods. The data from previously performed studies of the me-

chanical engineering objects are analyzed, including the cardan shaft joint crosspieces. Results of the analysis are making it possible to apply the numerical simulation method to the modernized cardan shaft of modular design. Results of studying the modernized cardan shaft on the simulation models of the cardan shaft pipes welded joints are presented. The paper demonstrates that the cardan shaft proposed design has better technical characteristics than the basic product version. Practical significance of this work lies in significant reduction in terms of the technical maintenance and repair, which significantly increases the product service life.

EDN: OZWYUP, <https://elibrary/ozwyup>

**Keywords:** cardan shaft, cardan shaft hinge, cardan shaft crosspiece, removable hinge, numerical simulation, linear displacements

В качестве гибких элементов карданного вала (КВ) трансмиссии автомобиля применяются шарниры неравных угловых скоростей (далее шарниры). Крестовина — элемент КВ, от которого напрямую зависит ресурс карданной передачи. Основным предназначением крестовины является передача крутящего момента на колеса при изменяющемся угловом положении КВ, что очень важно для баланса автомобиля, движущегося по пересеченной местности.

Эксплуатационными причинами отказов крестовины КВ являются работа транспортного

средства в тяжелых условиях (грязь, пыль, соленая вода, песок и т. д.), невыполнение рекомендаций по техническому обслуживанию (ТО), использование при сборке крестовины некондиционных деталей и нарушение технологии сборки. К причинам отказов, связанным с конструктивными особенностями крестовин КВ, относятся наличие тонких игольчатых подшипников и эластичных резиновых уплотнений (упругость которых конструктивно не может быть постоянной), а также невысокая прочность обойм подшипников [1].

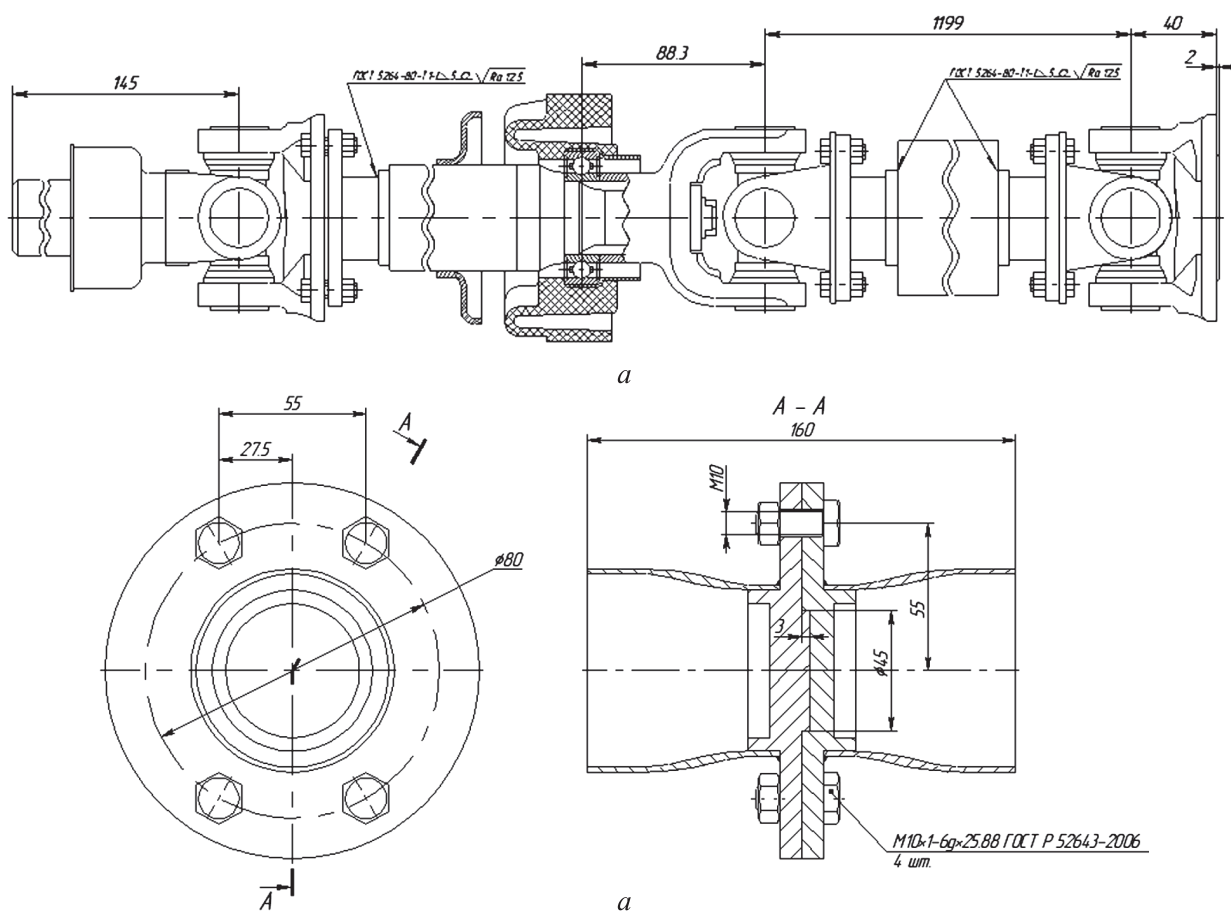


Рис. 1. Схема (а) и эскиз (б) модернизированного КВ автомобиля ГАЗель

Типовая конструкция КВ не обеспечивает выполнения ТО без демонтажа КВ из трансмиссии автомобиля. Это обусловлено тем, что одна из вилок шарнира КВ неподвижно соединена сваркой с трубой КВ [2]. Процесс метрологического обеспечения ТО шарниров КВ описан в работе [3].

Способ извлечения изношенной крестовины из шарнира КВ без демонтажа КВ из трапеции автомобиля рассмотрен в статье [4]. Там же дано подробное описание новой разработки, рисунки размещения модернизированного КВ непосредственно в трапеции автомобиля.

Способы проведения ТО шарниров КВ, исследования и разработки в данной области описаны в работе [5].

Варианты совершенствования конструкций шарниров и способы проведения ТО для повышения их долговечности приведены в трудах [6, 7].

Математическое уравнение движения КВ в кинематике автомобиля предложено в работе [8].

Схема и эскиз модернизированного КВ модульного типа автомобиля ГАЗель, где три

шарнира соединены с трубами фланцами, болтами и гайками, приведены на рис. 1, а и б.

Если сравнить эту схему с чертежом типового КВ автомобиля ГАЗель модели 3302 (рис. 2), то видно, что все три шарнира с крестовинами связаны с трубами сваркой [9].

Как и любая новая разработка в машиностроении, рассматриваемая конструкция КВ требует дорожных испытаний. Для обеспечения потенциальной безопасности водителя-испытателя необходимо выполнить инженерные расчеты, чтобы определить прочность и устойчивость модернизированного КВ от воздействия крутящего момента и осевых сил растяжения/сжатия.

В настоящее время широкое распространение получил метод численного моделирования объектов. Так, в работе [10] предложена методика моделирования прочностных параметров подшипниковых узлов, используемых в поворотных и вращающихся устройствах. Концепция рекомендуемой методики основана на замене реальной модели подшипника качения виртуальным имитатором (рис. 3). Необходимо перейти к упрощенной модели подшипника и определить для нее эквивалентную жесткость.

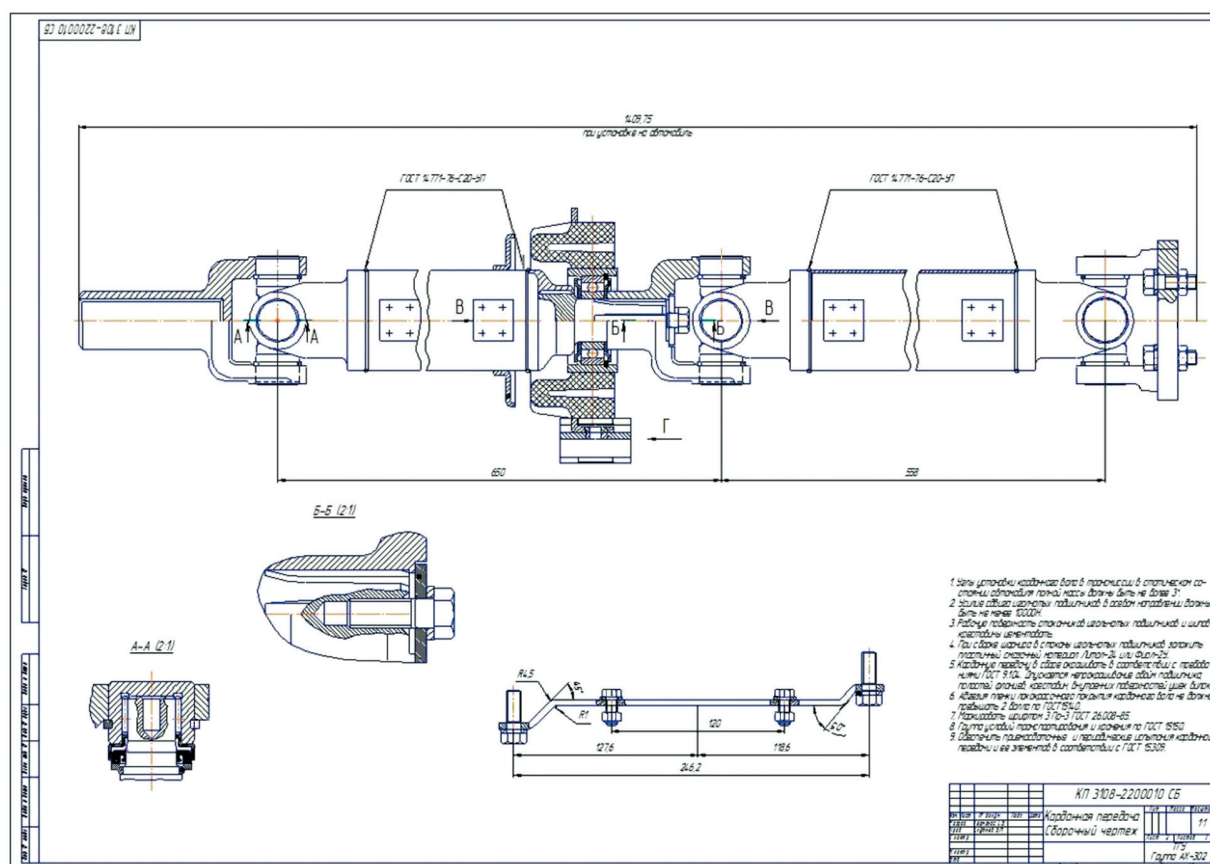


Рис. 2. Сборочный чертеж карданной передачи

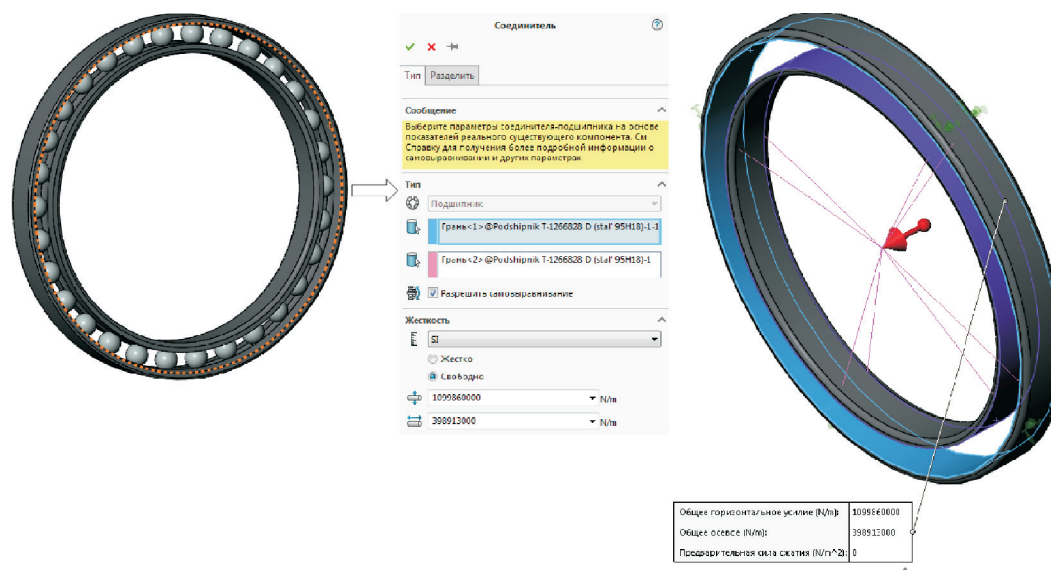


Рис. 3. Модель замены реального подшипника качения имитационной моделью соединитель — подшипник с эквивалентной жесткостью

Таким образом, получена расчетная модель имитационного подшипника с характеристиками, близкими к реальным. Число степеней свободы стало меньше в 3,5 раза, чем у модели реального подшипника.

Для имитации воздействия вибрации и ударов на исследуемый объект предложено использовать инструмент соединитель — пружина программного комплекса SolidWorks Simulation [11]. Разработанная методика позволяет сократить время подготовки производства изделий, содержащих рассмотренное соединение элементов, а также исключить из графика подготовки производства этапы изготовления и испытания опытных образцов изделий.

В работе [12] предложена конструкция шарнира КВ со сменными шипами крестовины, на которую получен патент на изобретение [13]. Шарнир состоит из двух вилок, крестовины с четырьмя шипами, которые выполнены съемными в виде ступенчатых шипов, имеющих в сечении меньшей ступени форму многогранника и установленных меньшей ступенью в ответные глухие отверстия крестовины до упора по торцевым поверхностям. Разработана методика оптимизации параметров крестовины со сменными шипами, позволяющая сравнивать ее прочностные характеристики с таковыми типовой крестовины, а также оптимизировать размеры соединения шипа и корпуса модернизированной крестовины.

Трехмерные параметрические модели типовой и модернизированной крестовин показаны на рис. 4, а и б. Для построения параметрических трехмерных моделей использована система КОМПАС-3D компании «АСКОН» [14]. Полученные модели конвертированы в формат .step для возможности проведения дальнейших расчетов. Основные размеры подшипников согласно ГОСТ Р 52923–2008 указаны в таблицах на рис. 4.

Конечно-элементную сетку генерировали для крестовины со следующими подшипниками: ГПЗ704901 (при размере конечного элемента  $h = 1$  мм), ГПЗ704902, ГПЗ704702К, ГПЗ804704, ГПЗ804805 ( $h = 2$  мм), ГПЗ804907К, ГПЗ804906К1, ГПЗ804709У2 ( $h = 5$  мм). В качестве конечных элементов выступали четырехузловые тетраэдры, что позволило увеличить скорость вычислений при обеспечении достаточной точности расчета.

Анализ полученных в трудах [11, 12] результатов свидетельствует о возможности применения численного метода исследований для оптимизации конструктивных параметров крестовин КВ с целью обеспечения необходимых уровней напряжений, перемещений и коэффициентов запаса по прочности и текучести.

Подобные исследования напряженно-деформированного состояния проушины вилки карданной передачи, являющейся элементом шарнира КВ, приведены в работе [15].

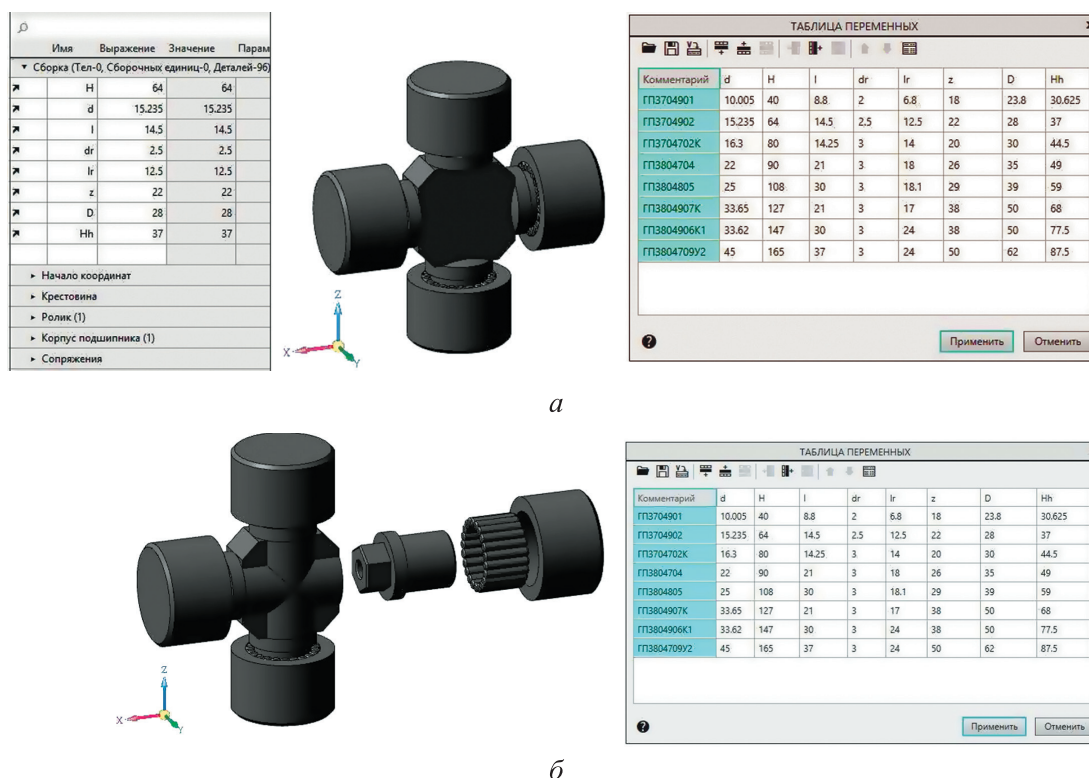


Рис. 4. Трехмерные параметрические модели типовой (а) и модернизированной (б) крестовин

Принципы применения матричного формализма при описании движения универсального шарнира КВ рассмотрены в статье [16]. Получено полное описание кинематики универсального шарнира в его рабочем цикле в терминах аналогов скоростей. На этой основе исследована динамика шарнира с учетом его инерционных характеристик. Впервые предложен метод анализа динамических нагрузок в шарнирах. Показано, что учет инерционных характеристик крестовины может привести к значительному увеличению момента, действующего на шипы, контактирующие свилкой ведомого вала. С учетом того, что значения крутящего момента на входном валу значительно меньше, чем на выходном, помимо разворота крестовины на  $180^\circ$ , предложенного в работе, можно рекомендовать разворот крестовины на  $90^\circ$  вокруг оси перпендикулярной плоскости крестовины, что приведет к смене шипов, принимающих нагрузку от ведущего вала на шипы, передающие нагрузку ведомому валу. Данная работа может представлять интерес для инженеров и исследователей, занимающихся проектированием карданных передач и их оптимизацией.

В статье [17] показано, что карданную передачу часто рассматривают как плоскую с пере-

менными углами между осями КВ. При увеличении угла излома КВ заметно повышается неравномерность вращения и снижается средняя угловая скорость. Так как с ростом угла излома КВ возрастает неравномерность вращения ведомого вала, из-за неравномерности угловых скоростей уменьшается область их применения, а снижение уровня крутильных колебаний достигается использованием гасителей крутильных колебаний. Получено уравнение движения шарнира КВ с учетом угла излома карданной передачи и график зависимости угла поворота шарнира на один оборот от угла перекося валов карданной передачи и угловой скорости. Разработаны расчетные динамические модели и получены значения собственных частот колебаний карданных передач с одним и двумя шарнирами. Построены графические зависимости углов излома карданной передачи от частоты ее собственных колебаний с одним и двумя шарнирами.

Цель работы — повышение надежности и долговечности шарниров КВ автомобилей.

**Методы исследований, результаты и обсуждение.** На первом этапе методом численного моделирования исследован типовой КВ. В каче-

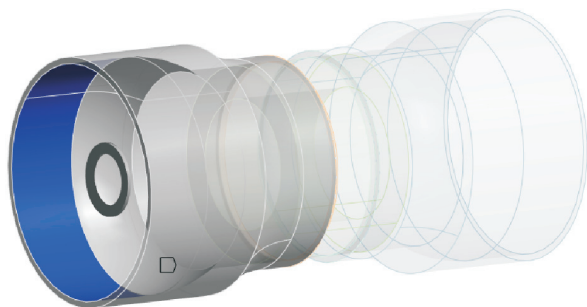


Рис. 5. Имитационная модель сварного соединения шарнира с трубой КВ

стве исходных данных использованы параметры труб КВ автомобиля ГАЗель модели 3302 (см. рис. 2). Имитационная модель сварного соединения шарнира с трубой КВ приведена на рис. 5. В таблице на рис. 6 указаны параметры, характеризующие исследуемый объект по формату расчетной программы ANSYS [18].

Для упрощения изображения исследуемой конструкции левая часть трубы КВ с вваренной вилкой и шарниром с крестовиной заменена трубой с подшипником (см. рис. 6). В данном случае не использована 3D-модель подшипника, на поверхность сопряжения которого с деталью задана связь, имитирующая поведение подшипника.

За объект исследования взяты два отрезка трубы, соединенные сваркой, что имитирует шарнир и собственно трубу.

Приняты следующие граничные условия и нагрузки, указанные на рис. 6: А — ускорение свободного падения  $9806,6 \text{ мм/с}^2$ ; В — крутящий момент  $200\,000 \text{ Н·мм}$ ; С — жесткая заделка, лишаящая модель всех шести степеней свободы, примененная к внутренней поверхности одного из шарниров трубы (рис. 7).

Поле создаваемых при вращении шарниров напряжений в типовом КВ показано на рис. 8.

По результатам расчетов установлено, что максимальное напряжение в зоне сварки составляет  $13,5 \text{ МПа}$ , что в 58 раз меньше допускаемого значения ( $780 \text{ МПа}$ ).

На втором этапе методом численного моделирования исследовали модернизированный КВ. Как и на предыдущем этапе, сначала задавали нагрузки и их направления, указанные в таблице рис. 9, а–в. Здесь приняты следующие обозначения: А — крутящий момент  $200\,000 \text{ Н·мм}$ ; В — жесткая заделка стыка, лишаящая конструкцию шести степеней свободы, приложенная к внутренней стороне одного из шарниров; С, D, E, F — усилие затяжки  $500 \text{ Н}$

Details of "Ground To Труба\Труба" ▾ ▴ □ :

|                                        |                                  |
|----------------------------------------|----------------------------------|
| <b>Graphics Properties</b>             |                                  |
| Visible                                | Yes                              |
| <b>Definition</b>                      |                                  |
| Connection Type                        | Body-Ground                      |
| Rotation Plane                         | X-Y Plane                        |
| <input type="checkbox"/> Stiffness K11 | $3,506\text{e}+006 \text{ N/mm}$ |
| <input type="checkbox"/> Stiffness K22 | $3,506\text{e}+006 \text{ N/mm}$ |
| <input type="checkbox"/> Stiffness K12 | $8,756\text{e}-007 \text{ N/mm}$ |
| <input type="checkbox"/> Stiffness K21 | $8,756\text{e}-007 \text{ N/mm}$ |
| <input type="checkbox"/> Damping C11   | $0, \text{ N-s/mm}$              |
| <input type="checkbox"/> Damping C22   | $0, \text{ N-s/mm}$              |
| <input type="checkbox"/> Damping C12   | $0, \text{ N-s/mm}$              |
| <input type="checkbox"/> Damping C21   | $0, \text{ N-s/mm}$              |
| Suppressed                             | No                               |

- A** Standard Earth Gravity:  $9806,6 \text{ мм/с}^2$
- B** Joint - Moment:  $2,0\text{e}+005 \text{ N-mm}$
- C** Cylindrical Support:  $0, \text{ мм}$

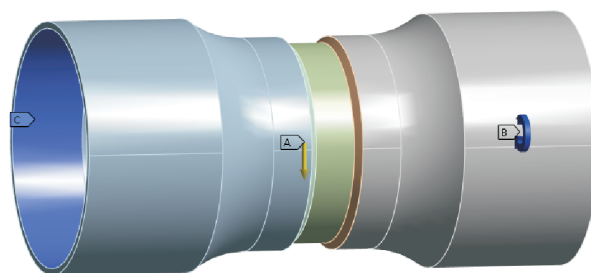


Рис. 6. Модель исследуемой конструкции с приложенными граничными условиями и нагрузками

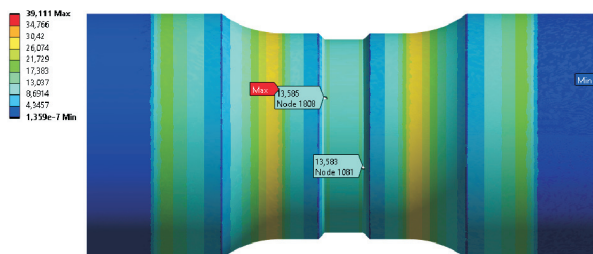


Рис. 7. Имитационная модель назначения заданных параметров

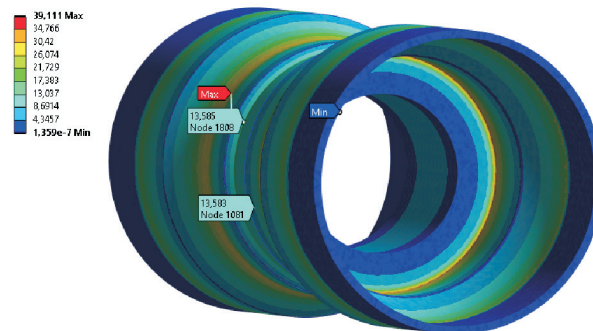


Рис. 8. Поле создаваемых при вращении шарниров напряжений, МПа, в типовом КВ

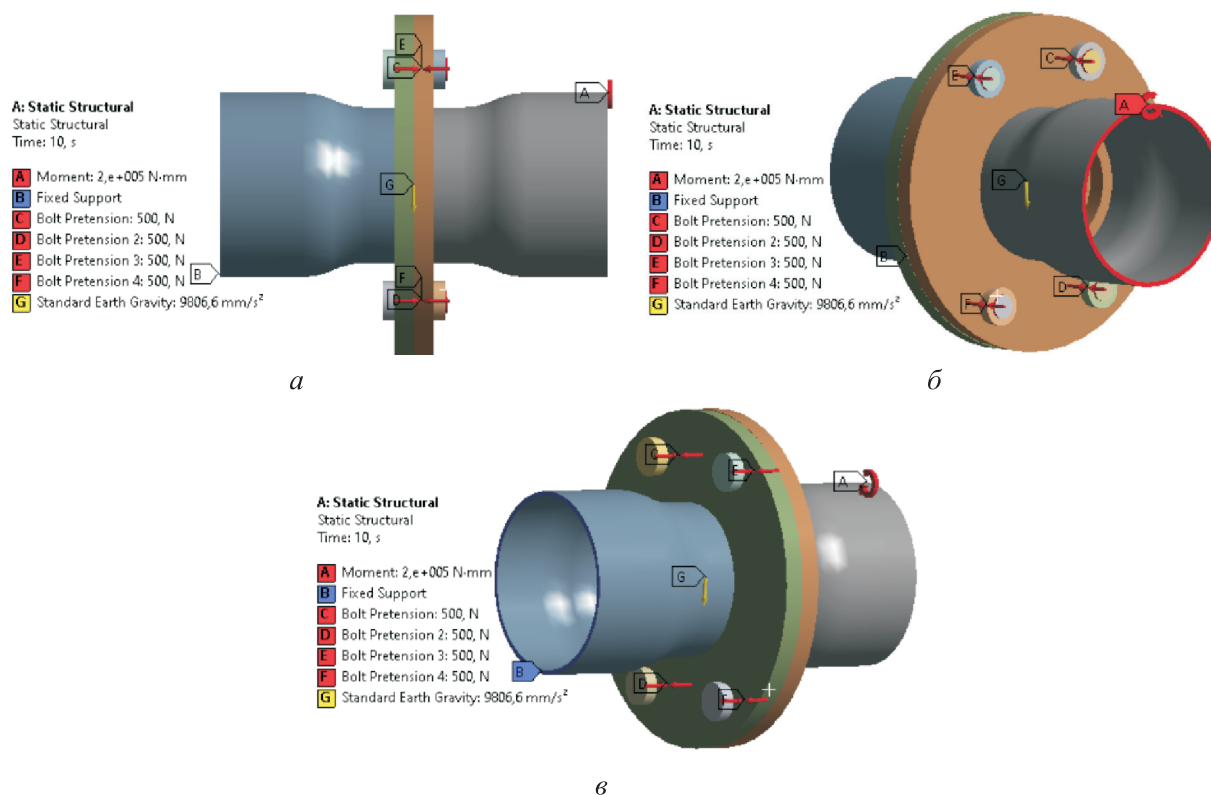


Рис. 9. Модели КВ с граничными условиями и нагрузкой с фронтальной (а), правой (б) и левой (в) сторон фланца

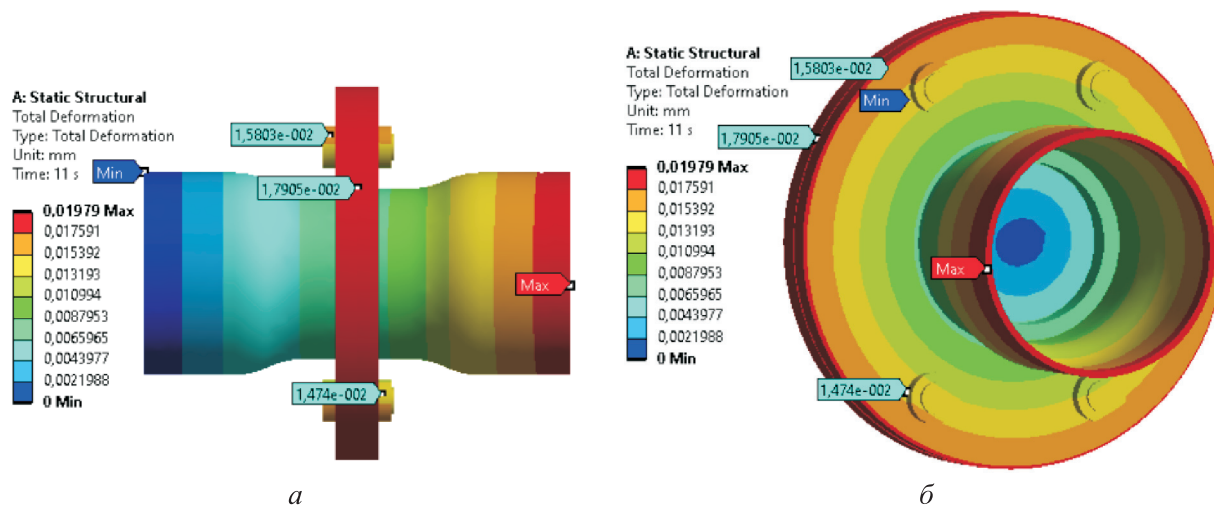


Рис. 10. Поля перемещений, мм, в модернизированном КВ с левой (а) и правой (б) сторон фланца

каждого из четырех болтов; G — ускорение свободного падения  $9803,6 \text{ мм/с}^2$ .

На первом этапе исследования по выявлению перемещений в материале типового КВ не проводили, так как такие КВ изготавливают серийно, и многолетний опыт их эксплуатации не выявил недостатков.

Поля перемещений в модернизированном КВ показаны на рис. 10. Здесь максимально точные размерные параметры наблюдаются в сопряжении обоих фланцев (диаметр 45 мм (H8/f8)). Согласно ГОСТ 23347–82, максимальный зазор в сопряжении равен 0,034 мм, а полученное при исследовании максимальное пе-

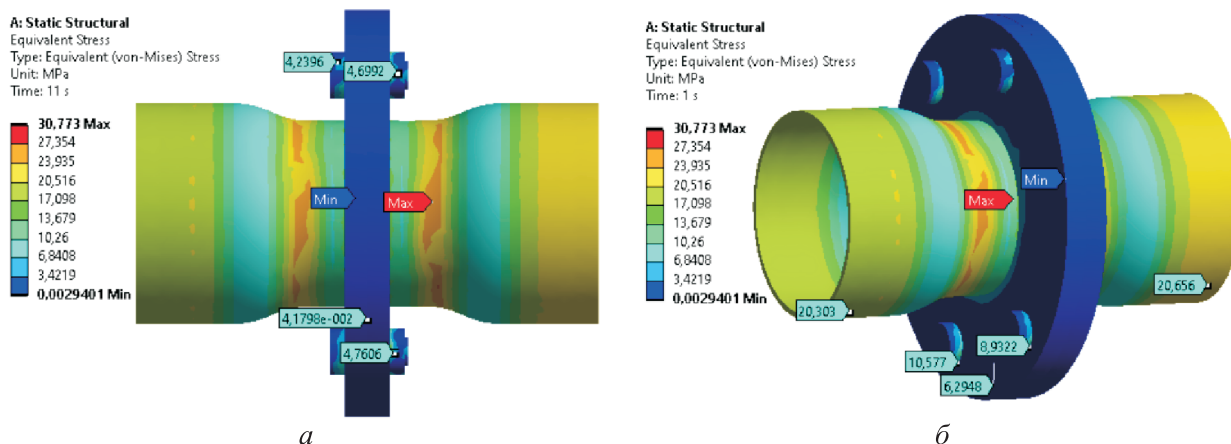


Рис. 11. Поля создаваемых при вращении шарниров напряжений, МПа, внутри материала болтов с левой (а) и правой (б) сторон фланца

ремещение составило 0,020 мм, что в 1,7 раза меньше допускаемого значения.

Поля создаваемых при вращении шарниров напряжений внутри материала болтов показаны на рис. 11. Видно, что максимальное напряжение не превышает 30,7 МПа, что в 25,4 раз меньше допускаемого значения (780 МПа).

## Выводы

1. Показано, что максимальное перемещение модернизированного КВ составляет 0,020 мм, что в 1,7 раза меньше допускаемого значения.

2. Установлено, что напряжения, возникающие в модернизированном КВ, не превышают 30,7 МПа, что в 25,4 раз меньше допускаемого значения (780 МПа).

3. Выявлено, что показатели прочности модернизированного КВ лучше, чем у типового КВ, в котором напряжения составили 13,5 МПа, что в 58 раз меньше допускаемого значения (780 МПа), и в 4,6 раза больше, чем в модернизированном КВ.

4. Предложена новая методика исследования, основанная на использовании упрощенных имитационных моделей применительно к конструктивным особенностям объекта и конкретного вида прикладываемой реальной нагрузки к нему.

5. Практическая значимость с точки зрения эксплуатационных характеристик предложенной конструкции КВ со съемными шарнирами заключается в возможности ТО и их замены без демонтажа КВ из трапеции автомобиля.

## Литература

- [1] Платонов А.В., Щеглетов А.В., Шмелев О.Г. и др. Исследования в области технического обслуживания шарниров неравных угловых скоростей карданных валов автомобилей (часть 1). *КШП. ОМД*, 2023, № 8, с. 43–48.
- [2] Вавуло В.А., Резников К.А. *Карданные передачи*. Минск, БПИ, 1980. 41 с.
- [3] Ефимцев А.В., Пастухов А.Г. Метрологическое обеспечение технического обслуживания карданных шарниров трактора John Deere. *Инновационные технологии в метрологии, стандартизации и управлении качеством. Мат. Всерос. науч.-практ. конф.* Москва, МГАУ, 2012, с. 52–57.
- [4] Платонов А.В., Щеглетов А.В., Шмелев О.Г. и др. Исследования в области технического обслуживания шарниров неравных угловых скоростей карданных валов автомобилей (часть 2). *КШП. ОМД*, 2023, № 9, с. 44–48.
- [5] Платонов А.В., Щеглетов К.А., Блохина А.С. и др. Исследования в области проведения технического обслуживания и ремонта карданных валов автомобильной техники. *Наука в современном информационном обществе. Мат. XXXII межд. науч.-практ. конф.*, 2023, с. 102–107.

- [6] Ереско С.П., Ереско Т.Т., Кукушкин Е.В. и др. Повышение долговечности карданной передачи за счет совершенствования конструкции карданного шарнира и способа его технического обслуживания. *Строительные и дорожные машины*, 2018, № 1, с. 45–51.
- [7] Ереско С.П., Ереско Т.Т., Кукушкин Е.В. и др. Повышение долговечности подшипников карданного шарнира неравных угловых скоростей. *Системы. Методы. Технологии*, 2018, № 2, с. 19–24. <https://doi.org/10.18324/2077-5415-2018-2-19-24>
- [8] Кукушкин Е.В. Уравнения движения карданного шарнира. *Вестник ПНИПУ. Машиностроение, материаловедение*, 2021, т. 23, № 2, с. 79–86, doi: <https://doi.org/10.15593/2224-9877/2021.2.10>
- [9] Карданная передача трансмиссии ГАЗ-3302 (чертеж общего вида). *autoopt.ru: веб-сайт*. URL: <https://www.autoopt.ru/auto/catalog/car/gaz/gaz-3302/72> (дата обращения: 18.07.2025).
- [10] Кошелев А.В., Ямпурин Н.П., Платонов А.В. и др. Методика моделирования частотных колебаний подшипниковых узлов с использованием программного комплекса SolidWorks Simulation. *КШП. ОМД*, 2020, № 1, с. 29–36.
- [11] Сотников Н.Н., Козарь Д.М. *Основы моделирования в SolidWorks*. Томск, Изд-во ТПУ, 2013. 129 с.
- [12] Тимашов Е.П., Пастухов А.Г. Исследование напряженно-деформированного состояния ремонтпригодной крестовины карданного шарнира. *Труды ГОСНИТИ*, 2013, т. 112, № 2, с. 100–105.
- [13] Ереско С.П., Ереско Т.Т., Кукушкин Е.В. и др. *Способ технического обслуживания карданных шарниров*. Патент РФ 2640157. Заявл. 04.05.2016, опубл. 26.12.2017.
- [14] Большаков В.П., Чагина А.В. *3D-моделирование в КОМПАС-3D версий V17 и выше*. Санкт-Петербург, Питер, 2021. 256 с.
- [15] Гумарова А.А., Ермиенко И.Ю., Кукушкин Е.В. Исследование напряженно-деформированного состояния проушины вилки карданной передачи. *Решетневские чтения. Мат. XXII Межд. науч. конф.* Т. 1. Красноярск, СибГУ им. М.Ф. Решетнева, 2018, с. 474–477.
- [16] Митюшов Е.А., Мисюра Н.Е., Ламоткин А.Е. и др. Моделирование кинематики и динамики шарнира неравных угловых скоростей. *Computational Nanotechnology*, 2022, т. 9, № 4, с. 48–54, doi: <https://doi.org/10.33693/2313-223X-2022-9-4-48-54>
- [17] Кукушкин Е.В. Уравнения движения карданного шарнира. *Вестник ПНИПУ. Машиностроение, материаловедение*, 2021, т. 23, № 2, с. 79–86.
- [18] Мансурова А.Р. Применение программного комплекса ANSYS в компьютерном моделировании. *Молодой ученый*, 2018, № 39, с. 31–33.

## References

- [1] Platonov A.V., Shchegletov A.V., Shmelev O.G. et al. Research in the field of maintenance of hinges of non-equal angular velocities of driveshafts of cars (part 1). *KShP. OMD [Forging and Stamping Production. Processing of Materials by Pressure]*, 2023, no. 8, pp. 43–48. (In Russ.).
- [2] Vavulo V.A., Reznikov K.A. *Kardannye peredachi [Cardan gears]*. Minsk, BPI Publ., 1980. 41 p. (In Russ.).
- [3] Efimtsev A.V., Pastukhov A.G. [Metrological support of maintenance of cardan joints of John Deere tractor]. *Innovatsionnye tekhnologii v metrologii, standartizatsii i upravlenii kachestvom. Mat. Vseros. nauch.-prakt. konf. [Innovative Technologies in Metrology, Standardisation and Quality Management. Proc. Russ. Sci.-Pract. Conf.]*. Moscow, MGAU Publ., 2012, pp. 52–57. (In Russ.).
- [4] Platonov A.V., Shchegletov A.V., Shmelev O.G. et al. Research in the field of maintenance of hinges of non-equal angular velocities of driveshafts of cars (part 2). *KShP. OMD [Forging and Stamping Production. Processing of Materials by Pressure]*, 2023, no. 9, pp. 44–48. (In Russ.).
- [5] Platonov A.V., Shchegletov K.A., Blokhina A.S. et al. [Research in the field of maintenance and repair of cardan shafts of automotive equipment]. *Nauka v sovremennom infor-*

- matsionnom obshchestve. Mat. XXXII mezhd. nauch.-prakt. konf.* [Science in the Modern Information Society. Proc. XXXII Int. Sci.-Pract. Conf.], 2023, pp. 102–107. (In Russ.).
- [6] Eresko S.P., Eresko T.T., Kukushkin E.V. et al. Increasing the durability of the transmission for the account of improving the design of the and the method of its technical service. *Stroitelnye i dorozhnye mashiny* [Construction and Road Building Machinery], 2018, no. 1, pp. 45–51. (In Russ.).
- [7] Eresko S.P., Eresko T.T., Kukushkin E.V. et al. Increasing the durability of the bearings of the universal joint of unequal angular velocities. *Sistemy. Metody. Tekhnologii* [Systems. Methods. Technologies], 2018, no. 2, pp. 19–24. <https://doi.org/10.18324/2077-5415-2018-2-19-24> (in Russ.).
- [8] Kukushkin E.V. Equations of motion of the universal joint. *Vestnik PNIPU. Mashinostroenie, materialovedenie* [Bulletin PNRPU. Mechanical Engineering, Materials Science], 2021, vol. 23, no. 2, pp. 79–86, doi: <https://doi.org/10.15593/2224-9877/2021.2.10> (in Russ.).
- [9] Kardannaya peredacha transmissii GAZ-3302 (chertezh obshchego vida). autoopt.ru: veb-sayt. URL: <https://www.autoopt.ru/auto/catalog/car/gaz/gaz-3302/72> (data obrashcheniya: 18.07.2025)
- [10] Koshelev A.V., Yampurin N.P., Platonov A.V. et al. Methodology for modeling the frequency oscillations of bearing assemblies using the Solid Works Simulation software package. *KShP. OMD* [Forging and Stamping Production. Processing of Materials by Pressure], 2020, no. 1, pp. 29–36. (In Russ.).
- [11] Sotnikov N.N., Kozar D.M. *Osnovy modelirovaniya v SolidWorks* [Fundamentals of simulation with SolidWorks]. Tomsk, Izd-vo TPU Publ., 2013. 129 p. (In Russ.).
- [12] Timashov E.P., Pastukhov A.G. Research intense the deformed condition of the maintainable crosspiece of cardan joint. *Trudy GOSNITI*, 2013, vol. 112, no. 2, pp. 100–105. (In Russ.).
- [13] Eresko S.P., Eresko T.T., Kukushkin E.V. et al. *Sposob tekhnicheskogo obsluzhivaniya kardannykh sharnirov* [Method for maintenance of universal joints]. Patent RU 2640157. Appl. 04.05.2016, publ. 26.12.2017. (In Russ.).
- [14] Bolshakov V.P., Chagina A.V. *3D-modelirovanie v KOMPAS-3D versiy V17 i vyshe* [3D modelling in KOMPAS-3D versions V17 and higher]. Sankt-Petersburg, Piter Publ., 2021. 256 p. (In Russ.).
- [15] Gumarova A.A., Ermienko I.Yu., Kukushkin E.V. [Investigation of the stress-deformed state of the leaf carded transmission form]. *Reshetnevskie chteniya. Mat. XXII Mezhd. nauch. konf. T. 1* [Reshetnev Readings. Proc. XXII Int. Sci. Conf. Vol. 1]. Krasnoyarsk, SibGU im. M.F. Reshetneva Publ., 2018, pp. 474–477. (In Russ.).
- [16] Mityushov E.A., Misyura N.E., Lamotkin A.E. et al. Modeling the kinematics and dynamics of universal joint. *Computational Nanotechnology*, 2022, vol. 9, no. 4, pp. 48–54, doi: <https://doi.org/10.33693/2313-223X-2022-9-4-48-54> (in Russ.).
- [17] Kukushkin E.V. Equations of motion of the universal joint. *Vestnik PNIPU. Mashinostroenie, materialovedenie* [Bulletin PNRPU. Mechanical Engineering, Materials Science], 2021, vol. 23, no. 2, pp. 79–86. (In Russ.).
- [18] Mansurova A.R. Application of ANSYS software package in computer modelling. *Molodoy uchenyy* [Young Scientist], 2018, no. 39, pp. 31–33. (In Russ.).

Статья поступила в редакцию 21.10.2024

## Информация об авторах

**ПЛАТОНОВ Александр Васильевич** — кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения». Арзамасский политехнический институт (филиал) Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева (607227, Арзамас, Российская Федерация, ул. Калинина, д. 19, e-mail: [platonov-alex-v@mail.ru](mailto:platonov-alex-v@mail.ru)).

## Information about the authors

**PLATONOV Aleksandr Vasilyevich** — Candidate of Science (Eng.), Associate Professor, Department of Mechanical Engineering Technology. Arzamas Polytechnic Institute, Branch of the Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev (607227, Arzamas, Kalinina St., Bldg. 19, e-mail: [platonov-alex-v@mail.ru](mailto:platonov-alex-v@mail.ru)).

**ЩЕГЛЕТОВ Кирилл Алексеевич** — инженер-конструктор третьей категории. АО АНПП «ТЕМП-АВИА» (607220, Арзамас, Российская Федерация, ул. Кирова, д. 26, e-mail: kshhegletov@bk.ru).

**SHCHEGLETOV Kirill Alekseevich** — Design Engineer of the 3<sup>rd</sup> Category. JSC ANPP TEMP-AVIA (607220, Arzamas, Kirova St., Bldg. 26, e-mail: kshhegletov@bk.ru).

**РЯБИКИНА Татьяна Владимировна** — кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения». Арзамасский политехнический институт (филиал) Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева (607227, Арзамас, Российская Федерация, ул. Калинина, д. 19, e-mail: tanya.ryabikina@yandex.ru).

**RYABIKINA Tatyana Vladimirovna** — Candidate of Science (Eng.), Associate Professor, Department of Mechanical Engineering Technology. Arzamas Polytechnic Institute, Branch of the Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev (607227, Arzamas, Kalinina St., Bldg. 19, e-mail: tanya.ryabikina@yandex.ru).

**Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:**

Платонов А.В., Щеглетов К.А., Рябикина Т.В. Исследование напряженно-деформированного состояния карданного вала автомобиля со съёмными шарнирами. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2025, № 7, с. 26–36.

**Please cite this article in English as:**

Platonov A.V., Shchegletov K.A., Ryabikina T.V. Studying the stress-strain state of a vehicle cardan shaft with the removable hinges. *BMSTU Journal of Mechanical Engineering*, 2025, no. 7, pp. 26–36.



**Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана  
предлагает читателям учебное пособие**

**«Особенности конструкции транспортных  
средств повышенной проходимости»**

**Авторы: В.И. Котляренко, А.Ю. Захаров**

Изложено описание основных направлений развития транспортных средств повышенной проходимости, приведены сведения о конструкциях разных видов движителей и механизмов, повышающих проходимость, представлена их классификация.

Предназначено для студентов, обучающихся специальностям 23.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства» и 23.03.02 «Транспортные средства специального назначения» и изучающих дисциплины «Конструкция транспортных средств специального назначения», «Конструкция военных колесных машин», «Внедорожные транспортные средства с комбинированным движителем», «Проектирование специальных движителей», «Проходимость КМ. Спецглавы».

Учебное пособие может быть использовано для подготовки к занятиям и выполнения заданий по курсовому проектированию.

**По вопросам приобретения обращайтесь:**

105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.  
Тел.: +7 499 263-60-45, факс: +7 499 261-45-97;  
press@bmstu.ru; <https://press.bmstu.ru>