

нология и оборудование в комплексе образуют новую высокотехнологичную комплексную систему изготовления холодногнутых деталей, обеспечивающих производство несущих конструкций шасси большегрузных автомобилей с управляемыми характеристиками прочности и долговечности.

Материалы являются обобщением передового опыта зарубежного и отечественного автомобилестроения в данной области и могут быть полезны для развития исследований по конструкторско-технологическому обеспечению надежности на стадии создания сборных несущих конструкций, методологии их ресурсного проектирования [6–8], что является необходимым условием повышения качества и конкурентоспособности грузовых автомобилей.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гун Г. Я. Теоретические основы обработки металлов давлением. – М.: Металлургия, 1980. – 456 с.
2. Теория пластических деформаций металлов/ Е. П. Унксов, У. Джонсон, В. Л. Колмогоров и др.: Под ред. Е. П. Унксова, А. Г. Овчиникова. – М.: Машиностроение, 1983. – 598 с.
3. Огородников В. А. Оценка деформируемости при обработке давлением. – Киев: Вища школа, 1983. – 175 с.
4. Колмогоров В. Л. Механика обработки металлов давлением. – М.: Металлургия, 1986. – 688 с.
5. Капуста П. П. Учет технологий изготовления и упрочнения деталей при ресурсном проектировании машин заданной надежности// Технология, оборудование, автоматизация, неразрушающий контроль процессов нагрева и упрочнения деталей на машиностроительных предприятиях: Сб. научн. трудов под ред. П. С. Гурченко. – Мн.: УП «Технопринт», 2002. – С. 154–162.
6. Капуста П. П., Верес А. И., Слабко И. А. Экспериментальные исследования сопротивления усталости и разработка новой сборной конструкции рамы двухосного магистрального автомобиля-тягача с повышенным ресурсом// Грузовик. – 2011, № 5. – С. 2, 3, 40–44.
7. Капуста П. П. Принципы обеспечения надежности и ресурсного проектирования несущих систем мобильных машин// Грузовик. – 2013, № 3. – С. 24–31.
8. Капуста П. П., Лебедев О. Н., Дидух М. И., Шинкевич В. И., Грихно А. А. Проектная оценка конструкции рамы на стадии эскизной компоновки четырехосного автомобиля-самосвала// Машиностроение. – Мн., 2021. – Вып. 33. – С. 106–127.

*Поступила 18.07.2022*

**УДК 620.178; УДК 621. 81: 621 – 192; УДК 681.3.06:629.114.2**

**Капуста П. П.<sup>1</sup>, Леоненко А. Г.<sup>2</sup>**

### **КОМПЛЕКСНАЯ ЗАДАЧА РАЗРАБОТКИ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ВЕДУЩИХ МОСТОВ ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ С УПРАВЛЯЕМЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ НАДЕЖНОСТИ**

1. *Белорусский национальный технический университет*
2. *Минский автомобильный завод,  
Минск, Беларусь*

*В статье содержатся сведения о классификации, конструкциях, современных методах конструкторско-технологического обеспечения надежности ведущих мостов грузовых автомобилей. Авторский коллектив специализируется в области исследования надежности, ресурсного проектирования, разработки технологий производства перспективных несущих систем грузовых автомобилей. Материалы являются обобщением передового опыта зарубежного и отечественного автомобилестроения, а также внед-*

ренных в серийное производство ведущих мостов грузовых автомобилей Минского автомобильного завода, результатов собственных разработок авторов статьи в данной области и могут быть полезны для развития исследований по конструкторско-технологическому обеспечению надежности на стадии создания ведущих мостов перспективных конструкций, методологии их ресурсного проектирования, что является необходимым условием повышения качества и конкурентоспособности автомобильной техники. Объектом исследований являются несущие конструкции ведущих мостов для новой серии перспективных автомобилей МАЗ.

Цель работы – создание и исследование несущих конструкций ведущих мостов повышенной надежности и пониженной металлоемкости на основе развития принципов ресурсного проектирования и методов конструкторско-технологического управления параметрами качества.

**Анализ модельных рядов картеров ведущих мостов в связи с классификацией грузовых автомобилей и технологий производства.** Большое количество производителей грузовой автомобильной техники в мире обуславливает и широкую гамму конструкций ведущих мостов. Производители автомобильной техники применяют как ведущие мосты собственного производства, так и ведущие мосты профильных мировых производителей агрегатов трансмиссии Dana (США), ArvinMeritor (США), Madara (Болгария), HanDeAxle (Китай) и т. д.

Классификация конструкций картеров ведущих мостов коммерческой грузовой техники укрупненно осуществляется по следующим основным критериям: технология изготовления; тип банджо; применяемая подвеска грузового автомобиля; применяемые тормозные механизмы; функциональное назначение ведущего моста.

В зависимости от технологии изготовления картеры ведущих мостов подразделяются на:

- изготовленные методом стального или чугунного литья (рис. 1);
- изготовленные методом сварки штампованных элементов (рис. 2);
- изготовленные методом сборки (запрессовки или запрессовки со сваркой) литого центрального картера и элементов, выполненных из сортового проката, чаще всего бесшовных толстостенных труб (рис. 3).



Рис. 1. Ведущий мост с литым картером



Рис. 2. Ведущий мост со штампованным картером

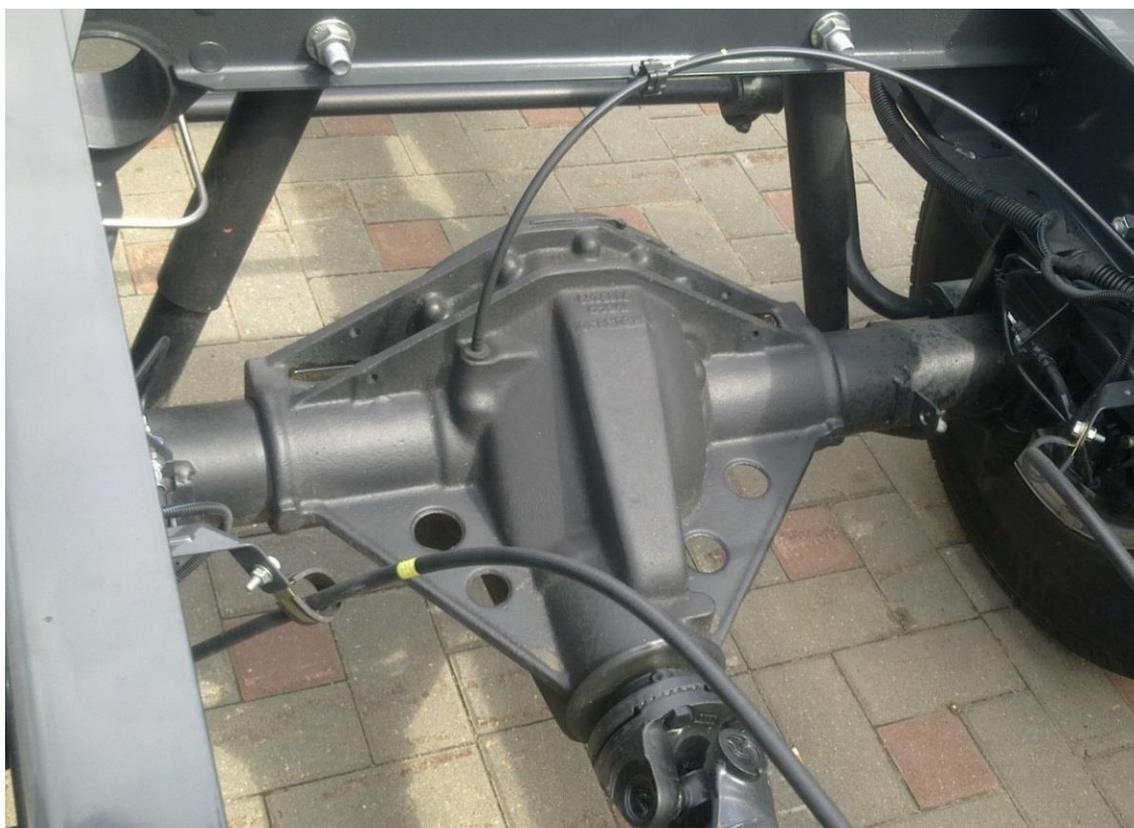


Рис. 3. Ведущий мост со сборным картером

В зависимости от количества ступеней и величине диапазона передаточных чисел зубчатого зацепления картеры ведущих мостов подразделяются на: картеры с круглым банджо; картеры с овальным банджо.

В зависимости от применяемой подвески грузового автомобиля укрупненно картеры ведущих мостов подразделяются на: картеры для рессорной подвески (не содержат точек крепления реактивных штанг, предусмотрены места крепления центральной части рессор посредством стремянок); картеры для рессорно-балансирной подвески (имеются

кронштейны крепления верхней реактивной штанги и двух нижних реактивных штанг, предусмотрены кронштейны крепления концов рессор); картеры для пневматической 2-х баллонной подвески (в большинстве случаев предусмотрено крепление поперечной реактивной штанги (тяги Панара), предусмотрены кронштейны крепления Z-образных опор пневматических баллонов); картеры для пневматической 4-х баллонной подвески (имеются кронштейны крепления верхней реактивной штанги и двух нижних реактивных штанг, предусмотрены кронштейны крепления опор пневматических баллонов).

В зависимости от применяемых тормозных механизмов картера ведущих мостов подразделяются на: картеры для мостов с дисковыми тормозными механизмами; картеры для мостов с барабанными тормозными механизмами.

В зависимости от функционального назначения укрупненно картера ведущих мостов подразделяются на: картеры для ведущих управляемых мостов (предусмотрена установка шкворневых поворотных ступичных узлов); картеры для проходных ведущих управляемых мостов (предусмотрена установка шкворневых поворотных ступичных узлов и выходного вала привода моста); картера для проходных ведущих неуправляемых мостов (предусмотрена установка выходного вала привода моста); картеры для ведущих неуправляемых мостов.

***Разрушения ведущих мостов. Разрушения ведущих мостов в эксплуатации (рис. 4, 5).***



Рис. 4. Локализация эксплуатационных разрушений картеров ведущих мостов



Рис. 5. Характерное эксплуатационное разрушение литого картера ведущего моста

*Разрушения ведущих мостов. Совместный анализ эксплуатационных при стендовых испытаниях (рис. 6) и стендовых разрушений.*



Рис. 6. Локализация разрушения картера ведущего моста при стендовых испытаниях

Разрушения практически локализуются в аналогичных опасных по усталости элементах картеров ведущих мостов:

- места относительно резких изменений конструкции и размеров;
- наличие обоснованных, связанных с конструкцией концентраторов напряжений;

- нижние поверхности сложной конфигурации в местах максимальных изгибающих напряжений;
- элементы вблизи зон термического влияния сварных швов;
- места локальных концентраторов напряжений, связанные с низким качеством исходного материала (шероховатость и др. дефекты поверхности и т. д.), деталей картеров изготовленных литьем, обработки металлов давлением (штамповкой, гибкой, прокатом и т. д.) и их соединений.

Значительное влияние на локализацию разрушений ведущих мостов оказывают циклические горизонтальные изгибающие и касательные крутильные напряжения, как в процессе движения, так и при маневрировании.

**Результаты стендовых ускоренных испытаний балок картеров ведущих мостов.**

Таблица 1 – Статическая характеристика картеров среднего моста Э64221–2501012–071

Объект испытаний		Усилие, кН										
		0	10	40	80	120	160	200	215	226	240	255
		Деформация в миллиметрах										
Опытные картеры среднего моста	Нагружение	0,0	0,1	0,5	1,1	1,7	2,3	2,9	3,1	3,3	3,5	3,7
	Разгрузка	0,0	0,2	0,7	1,3	1,9	2,5	3,0	3,2	3,4	3,6	3,7

Таблица 2 – Результаты соответствия балок картеров среднего моста Э64221–2501012–071 требованиям ГОСТ Р53804-2010 под осевую нагрузку 13 тонн

Объект испытаний	Усилие, кН	Средний прогиб картера по обеим рес-сорным площадкам, мм	Средний прогиб картера по обеим рес-сорным площадкам, мм/ метр колеи	Требования п.3.7.1.3 ГОСТ Р53804–2010 в отношении прогиба картера моста, мм/метр колеи	Заключение
Опытные картеры среднего моста	255	3,7	2,05	3,2 не более	Соответствует

Таблица 3 – Результаты стендовых циклических испытаний балок картеров среднего моста Э64221–2501012–071

Объект испытаний	Режим испытний	Наработка, циклов	Место и характер разрушения
Картер № 1	Циклическое нагружение от 13 до 247 кН (13 тонн на ось)	1 250 000	Появление трещины сзади справа от шва приварки фланца 5440–2401074–010. Испытания продолжены.
		1 290 000	Трещина критически увеличилась (рис. 7, а). Испытания остановлены.
Картер № 2		1 210 000	Трещина сзади справа на нижней части рукава картера (рис. 7, б). Испытания остановлены.
Картер № 3		1 125 000	Появления трещины сзади справа от сварного шва приварки фланца 5440-2401074-010 (рис. 7, в). Испытания остановлены.

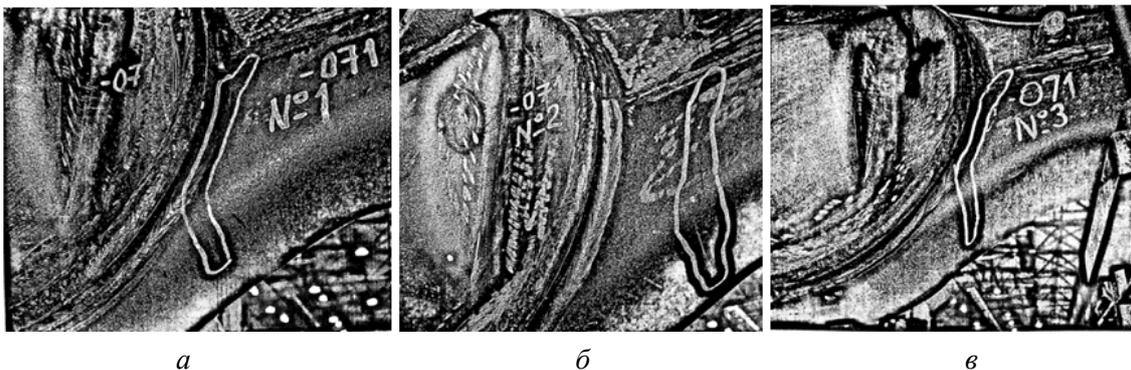


Рис. 7. Места разрушений при стендовых циклических испытаниях балок картеров среднего моста Э64221–2501012–071: *а* – картер № 1; *б* – картер № 2; *в* – картер № 3

Совместный анализ таблиц 1–3 и рис. 7 показывает рассеяние наработки в циклах и определенные отличия мест локализации усталостных трещин для разных картеров.

*Анализ напряженно-деформированного состояния картеров ведущих мостов методом конечных элементов (рис. 8).*

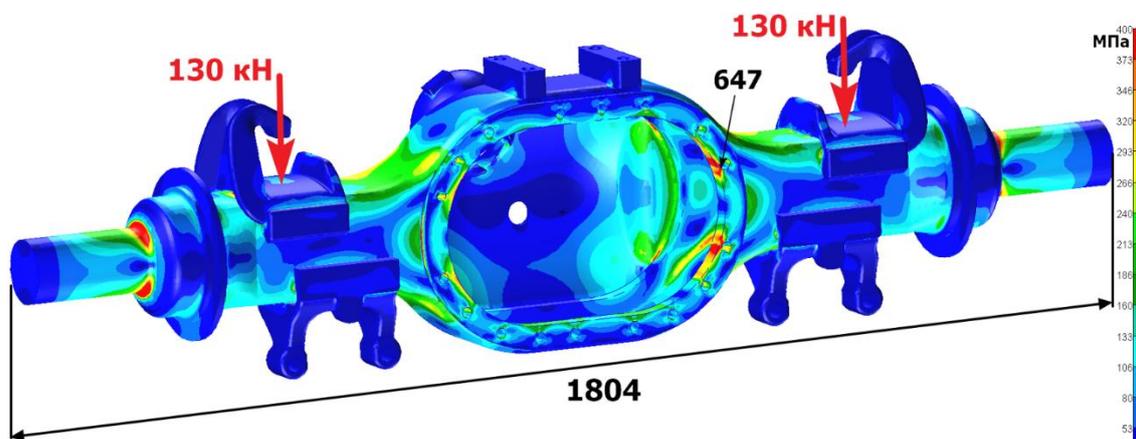


Рис. 8. Локализация расчетных напряжений картера ведущего моста

Поля напряжений качественно достаточно хорошо подтверждают места локализации усталостных трещин (рис. 7). При этом следует учесть тот факт, что геометрическая и математическая виртуальные модели являются идеализированными с точки зрения соответствия конструкции, а реальные объекты имеют рассеяние многих параметров, которое зависит от уровня технологической культуры производства.

*Предварительный анализ существующих методов и состояния проблемы создания надежных ведущих мостов грузовых автомобилей.* Существующие методы и состояние проблемы создания надежных ведущих мостов грузовых автомобилей в основном находятся в русле мировых тенденций решения обсуждаемых задач. В целом отечественное машиностроение также способно на современном уровне их выполнять. Так, для выполнения основных стадий имеется необходимое оборудование, алгоритмы и программное обеспечение для реализации и развития существующих методологии и технологий [1; 2–7]. Главные из них позволяют получать, приведенные в п. п. 2–4 настоящей статьи, достаточно хорошие результаты.

Однако, как показано выше, при разработке перспективных модельных рядов ведущих мостов вновь создаваемых классов и типов грузовой автомобильной техники, отсутствует цельная система взаимосвязи конструкторско-технологического обеспечения

надежности, системы менеджмента, сервисного обеспечения качества и безопасной эксплуатации. В связи с этим неизбежны несоответствия требуемых норм надежности вновь создаваемых образцов.

**Принципы решения комплексной задачи создания модельных рядов перспективных конструкций ведущих мостов грузовых автомобилей с управляемыми характеристиками надежности.** На основе анализа результатов ранее проведенных исследований [8–14] разработаны научные принципы и методики динамического моделирования несущих систем и деталей при случайном нагружении машин на основе использования метода конечных элементов; корреляционная модель и методика оценки нагруженности несущих конструкций и деталей машин при случайном нагружении; методика комплексной оценки прочности несущих систем и деталей машин с учетом нагруженности; прогнозирования параметров надежности несущих систем и деталей машин по комплексным критериям статической прочности и сопротивления усталости на основе комплексной оценки их динамики, нагруженности и прочности.

В полученных результатах научной деятельности имеются новые научные знания и информация, в виде методов расчетной оценки нагруженности и усталостного ресурса деталей машин. Методы базируются как на известных результатах фундаментальных наук (теории механических колебаний и рассеяния энергии в механических системах, методологии решения системных задач, статистической теории подобия усталостного разрушения; кинетической теории механической усталости и разрушения металлов и сплавов; вероятностного подхода к оценке характеристик сопротивления усталости материалов и деталей, нагруженности механических систем и долговечности их деталей) так и на собственных теоретических моделях и подходах, определяющих взаимосвязь нагруженности и усталостных повреждений [8–14]. Разработанные подходы и методы позволяют создавать гибкие производственные системы конструкторско-технологического обеспечения требуемых нормированных характеристик надежности несущих конструкций на стадиях подготовки и производства ведущих мостов грузовых автомобилей.

**Заключение.** В статье содержатся сведения о классификации, конструкциях, современных методах конструкторско-технологического обеспечения надежности ведущих мостов грузовых автомобилей. Материалы являются обобщением передового опыта зарубежного и отечественного автомобилестроения, а также внедренных в серийное производство ведущих мостов грузовых автомобилей Минского автомобильного завода, результатов собственных разработок авторов статьи в данной области и могут быть полезны для развития исследований по конструкторско-технологическому обеспечению надежности на стадии создания ведущих мостов перспективных конструкций, методологии их ресурсного проектирования, что является необходимым условием повышения качества и конкурентоспособности грузовой автомобильной техники.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Капуста П. П. Учет технологий изготовления и упрочнения деталей при ресурсном проектировании машин заданной надежности// Технология, оборудование, автоматизация, неразрушающий контроль процессов нагрева и упрочнения деталей на машиностроительных предприятиях: Сб. научн. трудов под ред. П. С. Гурченко. – Мн.: УП «Технопринт», 2002. – С. 154–162.
2. Капуста П. П., Рыбаков Д. В., Вихренко Д. В., Швец И. В., Мазоль В. А. Оценка нагруженности ведущего моста автомобиля: комплексная постановка задачи// Машиностроение: Республиканский межведомственный сборник научных трудов. Вып. 20, в двух томах. Т. 2 / Под ред. И. П. Филонова. – Мн.: УП «Технопринт», 2004 г. – С. 212–219.
3. Капуста П. П. Компьютерный полигон для оценки нагруженности конструкций автотранспортных средств// Автомобильная промышленность. – 2006. – № 1. – С. 34–36.
4. Захарик Ан. М., Захарик Ал. М., Вихренко Д. В., Захарик Ю. М., Капуста П. П. Упрощение моделей при определении собственных частот ведущего моста большегрузного автомобиля//

Современные методы проектирования машин. Вып. 2. В 7 томах. – Т. 6. Автоматизация проектирования и информационные технологии/ Под общ. ред. П. А. Витязя. – Мн., 2004. – С. 27–31.

5. Захарик Ан. М., Захарик Ал. М., Вихренко Д. В., Захарик Ю. М., Капуста П. П. Определенные собственных частот центральной части двухступенчатого ведущего моста// Современные методы проектирования машин. Вып. 2. В 7 томах. – Т. 6. Автоматизация проектирования и информационные технологии/ Под общ. ред. П. А. Витязя. – Мн., 2004. – С. 23–27.

6. Захарик Ан. М., Захарик Ал. М., Вихренко Д. В., Захарик Ю. М., Капуста П. П. Исследование прочностных свойств картера ведущего моста большегрузного автомобиля// Современные методы проектирования машин. Вып. 2. В 7 томах. – Т. 2. Качество изделий машиностроения. Проектирование материалов и конструкций/ Под общ. ред. П. А. Витязя. – Мн., 2004. – С. 107–109.

7. Захарик Ан. М., Захарик Ал. М., Вихренко Д. В., Захарик Ю. М., Капуста П. П. Оптимизация элементов конструкции картера ведущего моста большегрузного автомобиля// Современные методы проектирования машин. Вып. 2. В 7 томах. – Т. 2. Качество изделий машиностроения. Проектирование материалов и конструкций/ Под общ. ред. П. А. Витязя. – Мн., 2004. – С. 109–113.

8. Капуста П. П. Методика оценки нерегулярной нагруженности деталей и конструкций машин// Вестник машиностроения. – 2005. – №6. – С. 13–18.

9. Капуста П. П. Принципы ресурсного проектирования несущих систем и деталей машин// Вестник машиностроения. – 2005. – №7. – С. 13–16.

10. Капуста П. П. Моделирование микропрофиля дороги для имитационной оценки нагруженности несущих систем мобильных транспортных машин// Трибофатика: Сборник докладов V Международного симпозиума по трибофатике ISTF – 2005 г., В 3-х томах: 3–7 октября 2005 г. – Иркутск: ИрГУПС, 2005. – Т. 3. – С. 180–194.

11. Почтенный Е. К., Капуста П. П. Ресурс несущих конструкций грузовых автомобилей с учетом многочастотности и многорежимности нагружения// Грузовик. – 2006. – № 1. – С. 31–38.

12. Почтенный Е. К., Капуста П. П. Экспериментально-аналитическая методика ускоренных испытаний конструкций при регулярном многоцикловом нагружении и оценка их ресурса при случайном многочастотном и многорежимном нагружении// Вестник машиностроения. – 2006. – №1. – С. 28–40.

13. Капуста П. П. Принципы обеспечения надежности и ресурсного проектирования несущих систем мобильных машин// Грузовик. – 2013. – № 3. – С. 24–31.

14. Капуста П. П., Шпаковский И. Т., Ярошевич А. П. Дорожные испытания несущих систем и конструкций грузовых автомобилей// Международный научно-технический сборник «Теоретическая и прикладная механика». Вып. 32. Минск, 2017. – С. 336–343.

*Поступила 18.07.2022*