

**БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

УДК 629.113.001

**ПАНОВ
АЛЕКСАНДР НИКОЛАЕВИЧ**

**НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ СИСТЕМНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ
И ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ
МОБИЛЬНЫХ МАШИН**

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук
по специальностям 01.02.06 – Динамика, прочность машин,
приборов и аппаратуры и 05.02.08 – Технология машиностроения

Минск, 2009

Работа выполнена в государственном научном учреждении «Объединенный институт машиностроения Национальной академии наук Беларуси»

Научный консультант

Мрочек Жорж Адамович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Технология машиностроения» Белорусского национального технического университета

Официальные оппоненты:

Мариев Павел Лукьянович, доктор технических наук, директор Научно-технического центра «Карьерная техника и технологии» Объединенного института машиностроения НАН Беларуси;

Махутов Николай Андреевич, доктор технических наук, профессор, член-корреспондент Российской академии наук, главный научный сотрудник

Отдела прочности, живучести и безопасности машин Института машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук;

Киселев Михаил Григорьевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Конструирование и производство приборов» Белорусского национального технического университета

Оппонирующая организация –

ПО «Минский тракторный завод»

Защита состоится 22 января 2010 г. в 14.00 часов на заседании совета по защите диссертаций Д 02.05.03 при Белорусском национальном техническом университете по адресу: Республика Беларусь, 220013, г. Минск, проспект Независимости, 65, корп.1, ауд. 202. Тел. (+37517) 292 24 04.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского национального технического университета.

Автореферат разослан « _____ » _____ 2009 г.

Ученый секретарь Совета
по защите диссертаций,
доктор технических наук, профессор _____

Девойно О.Г.

© Панов А.Н., 2009

© БНТУ, 2009

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

В настоящее время автомобилестроение является одной из основных отраслей промышленности высокоразвитых стран. Удельный вес машиностроения и металлообработки в общем объеме ВВП республики достигает 25 %, годовой объем производства мобильных машин составляет 100 тыс. шт. Выпуск грузовых и полноприводных автомобилей, тягачей, самосвалов, автобусов осуществляется в условиях жесткой конкуренции. Ограничиваются цена, ресурсы, сроки выхода на рынок. Требуется создавать как качественно новый тип продукции, так и при ее тиражировании обеспечивать у потребителя допустимую вероятность несоответствия требованиям, включая показатели надежности и безопасности. Усложнение конструкции, технологии производства и эксплуатации приводит к увеличению количества отказов машин, росту техногенных катастроф, снижению конкурентоспособности. Ежегодно в мире и в республике в дорожно-транспортных происшествиях (ДТП) гибнет порядка 0,02 % и травмируется около 0,1 % населения.

Проведенный комплексный анализ теоретических основ и практики проектирования и изготовления техники выявил системные проблемы не позволяющие обеспечить производителю конкурентоспособное соотношение «цена-качество» (показатели: надежность, безопасность) при создании мобильных машин. Причины – применение при проектировании и изготовлении комплекса моделей, методов и средств не адекватных концепции управления рисками и затратами, возникающими при производстве и эксплуатации мобильных машин. Требуют совершенствования теоретические основы проектирования и разработки, используемые модели и методы: нормирования надежности и безопасности машин и процессов изготовления, управления и создания техники в машиностроительном производстве, достижения достоверности оценок многовекторного нагружения и повреждений (усталость, фреттинг-усталость, разрушение соединений) конструкции, комплексного управления технологической наследственностью компонентов и сборочных единиц, прогнозирования и оценки ресурса, рисков для достижения оптимальных технико-экономических показателей мобильной машины как для изготовителя, так и потребителя. Поэтому разработка и внедрение методологии системного планирования и обеспечения надежности и безопасности мобильных машин при оптимальных затратах на их производство и эксплуатацию является важнейшей научной и практической проблемой.

Связь работы с крупными научными программами и темами. Тема диссертации включена в утвержденные планы работы Объединенного института машиностроения (ОИМ), соответствует: приоритетному направлению фундаментальных и прикладных исследований республики – механика машин, обеспечение надежности и безопасности технических систем, повышение конкурентоспособности продукции машиностроения; приоритетным направлениям научно-технической деятельности – ресурсосберегающие и энергоэффективные технологии производства конкурентоспособной продукции, приоритетной макротехнологии – машиностроение, *критической технологии* – обеспечение технического уровня и надежности конструкции автомобильной техники. Исследования, положенные в основу настоящей диссертации, проводились в соответствии с планами: научно-

исследовательских работ в области естественных наук (№ ГР01.88.0001598, 1990); РНТП «Машиностроение» (№ ГР19951248, 1995 № ГР19962946, 1999, 2000); ГНТП «Белавтотракторостроение» (№ ГР1997208, 1997, № ГР20042316, 2004); ГПФИ «Надежность технических систем» (№ ГР2002470, 2001–2005); ГКПНИ «Механика» (№ ГР20065572), государственной и межгосударственной стандартизации по темам 2.1.3-95; 2.1.1-95; 1.18-95; 02.01.0003-98, 1.2.056-2.020.05-ВУ, Государственной программы «Качество» (№ ГР2008373, № ГР2008374), в рамках сотрудничества с Минским, Белорусским автозаводами, СП ЗАО МАЗ-МАН, НПО Фенокс, Минским тракторным заводом и др.

Цель и задачи исследования. Цель работы – разработать научные основы и реализовать в производстве методологию системного планирования и обеспечения надежности и безопасности мобильных машин на этапах проектирования продукции и технологических процессов изготовления при оптимальных затратах на производство и эксплуатацию.

Для достижения поставленной цели требовалось решить следующие задачи.

1. Разработать методологию, модели, методы и средства для нормирования, прогнозирования и управления надежностью и безопасностью мобильных машин и технологических процессов их изготовления и сборки.

2. Теоретически обосновать оптимальные параметры моделей управления процессами изготовления в машиностроительном производстве для обеспечения надежности и безопасности мобильных машин.

3. Установить закономерности технико-экономической оптимизации надежности, безопасности эксплуатации и затрат в жизненном цикле машины на стадиях проектирования и изготовления.

4. Определить характеристики сопротивления усталости, разработать методы и средства оценки нагруженности и моделирования повреждений сборных несущих конструкций мобильных машин с учетом влияния конструкторско-технологических факторов.

5. Создать модели, методы и средства обеспечения надежности технологических процессов изготовления и сборки машин по параметрам качества выпускаемой продукции.

6. Разработать и освоить в производстве методы и средства моделирования нагруженности, прогнозирования ресурса и оценки рисков конструкций мобильных машин с учетом множества зон, механизмов повреждения и конструкторско-технологических факторов.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту.

1. Теоретические зависимости, устанавливающие вероятностную связь используемой системы планирования, обеспечения надежности и безопасности с достигнутыми показателями; модели нормирования параметров надежности, безопасности по критериям прочности, циклической долговечности, износостойкости; методы и средства расчетной и экспериментальной оценок; способы оптимизации надежности конструкции и технологических процессов изготовления, отличающиеся критериями, структурой, составом и последовательностью анализа приемлемости риска технических и технологических систем в их жизненном цикле, позволяющие управлять достижением приемлемых рисков продукции и процессов

изготовления, что обеспечило создание: конкурентоспособных конструкций и технологических процессов изготовления машин нового уровня с ppm 3000 до ppm 50 и менее, с сокращением в 1,5–2 раза сроков постановки на производство и снижением себестоимости продукции на 30–50 %; системы норм надежности и безопасности, методик, государственных и межгосударственных стандартов позволяющих обеспечить уменьшение вероятности аварии при эксплуатации мобильной машины в 1,1–1,25 раза.

2. Результаты оптимизации параметров системы управления в машиностроительном производстве, обеспечивающие условия достижения надежности и безопасности технических и технологических систем; модели анализа технико-экономических показателей процессов, основанные на идентификации и адаптации вероятностно-детерминистических элементов функционирования производства, направленные на достижение надежности, безопасности мобильной машины и процессов ее изготовления, использование которых в машиностроительном производстве позволило уменьшить вероятности возникновения несоответствий параметров в 10 и более раз, сократить затраты на 25–50 %.

3. Аналитические зависимости, методы идентификации, устанавливающие условия достижения приемлемых рисков несоответствия технических систем и максимальной эффективности в их жизненном цикле, что позволило создать модели анализа, оптимизации процесса планирования и управления надежностью и безопасностью мобильных машин и технологических процессов на этапах проектирования, постановки на производство, изготовления и эксплуатации, основанные на достижении вероятности появления причин возникновения отказов до приемлемой, и обеспечивающие при постановке на производство машины уменьшение вероятности возникновения потенциальных несоответствий параметров в 100 и более раз, сокращение сроков и затрат на 20–35 %.

4. Экспериментальные зависимости, устанавливающие вероятностную связь между параметрами нагружения, характеристиками сопротивления усталости и конструкторско-технологическими факторами, разработанные физико-математические модели, методы и средства нормирования, результаты расчетно-экспериментальных исследований, локального моделирования, оценки эксплуатационной нагруженности зон повреждений и характеристик циклической долговечности несущих конструкций, учитывающие многовекторное циклическое нагружение, наличие массивов и иерархию разрушений, множество механизмов и процессов повреждений (усталость, фреттинг-усталость, ослабление и разрушение соединений) и влияние конструкторско-технологических факторов, обеспечивающие адекватную рискам точность оценок для достижения требуемых технических показателей машин, сокращение затрат, сроков на проведение расчетных и экспериментальных исследований, что позволило выбрать оптимальные параметры элементов конструкции и технологических процессов изготовления, сократить затраты и сроки на проведение расчетов, испытание и доводку мобильной машины в 2–3 раза, повысить параметры сопротивления повреждению на 10–30 % и точность прогнозирования ресурса на 20–60 %.

5. Установленные вероятностные связи количества несоответствий заданному качеству и применяемой системы контроля объектов управления, модели плани-

рования, оценки надежности процесса изготовления мобильных машин, основанные на анализе технологического процесса, учете причин несоответствий, возникающих при производстве машин и позволяющих обеспечивать приемлемую вероятность их появления, оптимизацию затрат для управления достижением приемлемых рисков продукции и показателей возможности процессов изготовления 1,67 и выше, при сокращении в 1,5–2 раза сроков подготовки производства и затрат на 30–50 %.

6. Результаты экспериментальных исследований влияния конструкторско-технологических факторов и процесса сборки на напряженно-деформированное состояние несущей конструкции машины, что позволило разработать методы и средства его моделирования и управления, с учетом взаимного влияния множества зон и механизмов повреждений (усталость, фреттинг-усталость, ослабление и разрушение соединений), для выбора оптимальных параметров технологических процессов, обеспечивающих, по сравнению с ранее известными, требуемые показатели циклической долговечности мобильной машины, повышение точности в 1,7 раза и ускорение оценки напряженно-деформированного состояния, сокращение затрат на экспериментальную и расчетную оценку остаточных напряжений в 1,5–2 раза, проектирование типовых технологических процессов сборки для увеличения ресурса на 20–60 %.

7. Теоретические и экспериментальные зависимости взаимосвязи характеристик нагруженности с сопротивлением повреждению, комплекс методов и средств исследования эксплуатационной нагруженности, прогнозирования, оценки и анализа достижения показателей надежности, безопасности мобильной машины и определения приемлемых рисков, отличающиеся учетом многовекторного эксплуатационного нагружения машины, наличия массивов зон разрушений и механизмов повреждений конструкции, влияния конструкторско-технологических факторов и степени надежности процессов изготовления, вероятности появления каждой причины возникновения несоответствий параметров, для предотвращения появления отказов и позволяющих осуществлять оптимизацию затрат при проектировании, постановке на производство, изготовлении и эксплуатации мобильных машин. Предложенный комплекс моделей, методов, технологий и средств обеспечил сокращение длительности и затрат на прогнозирование и оценку долговечности мобильных машин на 30–50 %; повышение достоверности оценок на 15–65 %.

Личный вклад соискателя. Основные положения, результаты, выводы и рекомендации диссертационной работы получены соискателем самостоятельно. Автор сформулированы научные проблемы, цель работы, осуществлена постановка задач, исследованы и разработаны выносимые на защиту модели, методики и закономерности. Автор непосредственно участвовал в качестве научного и (или) ответственного исполнителя работ связанных с темой диссертации. Включенный в диссертацию материал отражает личный вклад автора в выполненных исследованиях. Часть расчетных и экспериментальных данных, программных продуктов получена в ходе работ по бюджетным и договорным НИР при участии сотрудников ОИМ, ПО «БелавтоМАЗ», БНТУ, НПО Фенокс, ПО «БелАЗ», МТЗ и др. Участие автора и соавторов определены в отчетах по НИР, актах, справках и т.п.

Апробация результатов диссертации. Основные результаты работы представлялись, докладывались и обсуждались на международных, межрегиональных и республиканских научно-технических конференциях, симпозиумах, семинарах и в организациях. Основными из них являются: 46-я, 54-я научно-техническая конференция (НТК) БНТУ (Минск, 1990 г., 2000 г.); республиканская НТК «Повышение технического уровня, надежности и долговечности машин» (Минск, 1990 г., 1993 г.); 4-й Уральский семинар по проблемам проектирования конструкций (Миасс, 1990 г.); 13-я НТК по конструкционной прочности двигателей (Самара, 1991 г.); Российская школа по проблемам проектирования неоднородных конструкций (Миасс, 1991 г.); 4-я Всесоюзная (Москва, 1990 г.), 5-е, 6-е, 7-е Российские научно-технические совещания «Динамика и прочность автомобиля» (Москва, 1992, 1994, 1996 гг.); Международные симпозиумы по трибофатике «Трение, изнашивание, усталость» (Гомель, 1993 г.; Москва, 1996 г.; Тернополь, 2002 г.); НТК «Проблемы качества и надежности машин» (Могилев, 1994 г.); НТК «Создание ресурсосберегающих машин и технологий» (Могилев, 1996 г.); НТК «Моделирование интеллектуальных процессов проектирования и производства» (Минск, 1996 г.); международная НТК «Проблемы безопасности на транспорте» (Гомель, 1997 г.); НТК «Стандартизация и управление качеством» (Минск, 2001 г.); семинар SAE International «Подход к решению проблем обеспечения глобального качества продукции» (СПб., 2001 г.); международная НТК «Надежность машин и технических систем» (Минск, 2001 г.); международная НТК «Актуальные проблемы динамики и прочности в теоретической и прикладной механике» (Минск, 2001 г.); международные НТК «Современные методы проектирования машин. Расчет, конструирование и технология изготовления» (Минск, 2002, 2004, 2008 гг.); 9-я международная НТК «Машиностроение и техносфера XXI века» (Севастополь 2002 г.). Работа получила положительные отзывы и рекомендации к широкому использованию в НИИ, КБ, при производстве и подготовке кадров на научно-технических советах, семинарах, заседаниях кафедр, лабораторий НИИ, вузов и других организаций, в том числе в ПО «БелавтоМАЗ», в Институте машиноведения РАН (председатель-чл.-корр. РАН Махутов Н.А., Москва, 2002 г.), в Институте проблем прочности НАН Украины им. Г.С. Писаренко (председатель – академик Трощенко В.Т., Киев, 2002 г.), в Московском автодорожном институте (ГТУ МАДИ), кафедра «Строительная механика» (руководитель-проф. Демьянушко И.В., Москва, 2002 г.), в НАМИ (проф. Яценко Н.Н., Москва, 2002 г.), в НАТИ (проф. Дмитриченко С.С., Москва, 2002 г.), в Московском авиационном институте (2007 г.), МВТУ им. Н.Э. Баумана (2007 г.), в Московском автомеханическом институте (2007 г.), в Иркутском государственном техническом университете (2007 г.), в Донецком национальном техническом университете (2007 г.), в Ивано-Франковском национальном техническом университете (2007 г.), в Научно-исследовательском автотранспортном институте - НАМИ (2007 г.), в Госстандарте Беларуси (2007 г.), в ЗАО «Гражданские самолеты Сухого» (2007 г.), в ОАО ГАЗ (2007 г.), в ОАО КамАЗ (2007 г.), в ПО БелАЗ (2007 г.), в Институте технологии металлов НАН Беларуси (Могилев, 2007 г.), в Физико-техническом институте НАН Беларуси (Минск, 2007 г.), в Полоцком государственном университете (2008 г.), в Белорусском национальном

техническом университете (2008 г.), в Белорусском государственном университете информатики и радиоэлектроники (Минск, 2008 г.).

Работа (в соавторстве) по моделированию повреждения несущих конструкций автомобилей семейства МАЗ была отмечена дипломом 2 степени на Выставке достижений народного хозяйства БССР, соискатель в соавторстве за цикл работ на тему «Научные основы планирования качества конкурентоспособных технических систем» – удостоен диплома «Лауреат премии Национальной академии наук Беларуси»; цикл публикаций вошел в серию «Лучшие книги по качеству РИА «Стандарты и качество» РФ в 2004, 2006, 2007 гг. Соискатель за цикл работ в области теории нормирования и серию межгосударственных стандартов удостоен знака Госстандарта «За заслуги в стандартизации».

Опубликованность результатов. По теме диссертации опубликована 121 печатная работа, в том числе: 2 монографии, 24 статьи в научно-технических журналах (18 – без соавторов), 40 статей в рецензируемых сборниках научных депонированных трудов и материалах конференций (33 – без соавторов), 38 тезисов докладов на научных конференциях и симпозиумах (21 – без соавторов), 4 авторских свидетельства и 3 патента, 4 межгосударственных и 2 государственных стандарта, методических рекомендаций. Объем публикаций соответствующих п.18 «Положения о присуждении ученых степеней...» – 62,5 авт. листов, прочих – 73,5.

Структура диссертации. Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, 5 глав, заключения, списка использованных источников из 913 наименований, списка публикаций соискателя, приложений и содержит 197 страниц текста, а также 47 рисунков, 25 таблиц. В приложении – копии документов, подтверждающих практическое применение результатов работы и рекомендации по их использованию, а также типовые формуляры планирования надежности машин и процессов изготовления, тексты разделов разработанных нормативных документов, промежуточные таблицы и иллюстрации проведенных исследований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель, задачи, место диссертации в данной области исследований, описывается структура работы.

Первая глава «Анализ моделей, методов и средств обеспечения качества, надежности и безопасности мобильных машин и процессов их изготовления» посвящена анализу существующих моделей, методов и средств обеспечения надежности и безопасности мобильных машин и процессов их изготовления, являющихся как техническими, так и технологическими системами.

Установлено, что в настоящее время не достигается необходимый уровень надежности и безопасности мобильных машин. Так, по прогнозам ВОЗ через 10 лет одной из основных причин гибели людей будут ДТП. В настоящее время в ДТП отдельных стран Европы ежегодно погибает порядка 0,01–0,02 %, травмируется свыше 0,04 % численности населения. Например, в России гибнет около 30 тыс. чел., в республике – 2 тыс., а доля происшествий по причине несоответствия параметров надежности и безопасности мобильных машин может достигать 8–30 %. При этом следует учитывать, что неадекватные технические ограничения при соз-

дании современных мобильных машин, технических и технологических систем (ТТС) недопустимы в конкурентной экономике. Показано, что нормирование показателей надежности и безопасности машин следует базировать на экономических критериях. При оптимизации затрат на машиностроительную продукцию следует принимать во внимание: конструктивное и технологическое резервирование; ущерб от потенциальной аварии; компенсацию травмирования и гибели людей; экологические последствия; страхование и т.п. Установлено, что требует развития терминологический аппарат надежности, следует учитывать серьезность последствий потенциальных отказов и несоответствий техническим требованиям ТТС, величины риска и его приемлемости (как критерия принятия решения о соответствии конструкции и технологии, установленным требованиям), необходимо активно управлять надежностью, рисками ТТС по экономическому критерию. Совершенствование экономико-математических методов нормирования надежности и безопасности машин требуется реализовывать в единстве со стадиями жизненного цикла машины: проектирование, подготовка производства, процесс изготовления, диагностика в эксплуатации и ремонт. Установлено, что существенная доля отказов технических и технологических систем определяется влиянием человеческого фактора (ошибки при проектировании, брак при изготовлении, нарушение условий эксплуатации и т.п.). Для обеспечения функционирования ТТС в современных условиях при прогнозировании и оценке требуемых показателей надежности и безопасности в процессе проектирования, производства и эксплуатации необходимо учитывать, в первую очередь, процессы повреждения детали, узла машины в эксплуатации – «анализ конструкции». Во вторую – надежность технологического процесса изготовления и его элементов (станок, приспособление, инструмент, деталь) – «анализ технологической операции». Показано, что для моделирования, управления надежностью и безопасностью ТТС следует рассматривать такие факторы как: «человек-оператор», «производство», «предприятие» и т.д. Установлено, что традиционный механистический подход при анализе и обеспечении надежности и безопасности ТТС в настоящее время является не достаточным.

Установлено, что поскольку рассматриваемые ТТС и процессы их создания относятся к сложным, динамическим и существенно нелинейным системам, в них не могут быть применены принцип суперпозиции и традиционные методы моделирования. Например, метод структурной схемы надежности имеет ограниченное использование и вспомогательное значение. В результате анализа показано, что исследуемые системы асимптотически устойчивы лишь при малых возмущениях. Выявлено, что в случае внесения малейших неопределенностей в начальные условия (производство, контроль и испытания, поставщики, эксплуатация, персонал и т.п.) происходит переход ТТС в критическое состояние, внутренние флуктуации и внешние возмущения приводят к бифуркации, а значит к существенным изменениям и катастрофическим последствиям для функционирования ТТС. Показано, что рассматриваемые сложные системы консервативны, в тоже время динамически неустойчивые, обладают адаптационными возможностями. Установлено, что с позиции приемлемого риска результативно и эффективно для заинтересованных сторон предупреждать возникновение в ТТС несоответствий, осуществлять управление и контроль их функционирования. В настоящее время в теории надежности

и безопасности ТТС используются новые модели и методы исследования сложных систем: системы менеджмента надежности и риска; анализ видов, последствий отказов; оценка стоимости жизненного цикла; анализ степени риска технологических систем; оценка надежности сложных систем с учетом технического и программного обеспечения, оперативного персонала; инженерная психология; интегрированный процесс разработки надежности в жизненном цикле ТТС и др. Указанные методы получили развитие (Махутов Н.А и др.) и уже достаточно стандартизованы, в том числе на международном уровне (ИСО/МЭК 60300-1, МЭК 300-1 и др.). Показано, что повысилась значимость нормативных документов (НД) – стандартов для решения проблем надежности и безопасности ТТС, а экономический эффект от нормирования существенен. Так, например, по данным Госстандарта России, эффект от внедрения одного государственного стандарта превышает 1,5 млн. долл. Для организации-изготовителя эффект образуется от снижения, а часто и исключения затрат на НИР, проектирование, испытания, доводку продукции и технологических процессов изготовления, а также от сокращения сроков выхода на рынок и ошибок, допущенных при постановке продукции на производство и эксплуатации. Для организации-потребителя и др. заинтересованных сторон положительный эффект при использовании нормирования возникает от снижения эксплуатационных расходов, затрат на устранение отказов, простоя, штрафов и компенсаций из-за последствий отказов. Следует учитывать, в том числе экологические, социальные последствия и их масштаб, например, количество дорожно-транспортных происшествий (гибель и травмирование тысяч людей и т.д.). Показано, что для достижения экономической эффективности, обеспечения конкурентоспособности машин на этапах жизненного цикла продукции как инструменты обеспечения надежности и безопасности ТТС необходимо использовать методы сетевого планирования, менеджмента рисков. Практика свидетельствует о том, что попытки повышения надежности и безопасности мобильных машин не в гармоничной взаимосвязи с этапами жизненного цикла ТТС, как правило, не результативны. Так, например, установлено, что затраты на устранение отказов, на ремонт, простои в связи с восстановлением техники в эксплуатации даже в краткосрочный период (уборка урожая и т.п.) могут существенно превышать существенную разницу (до 50 %) в первоначальной цене техники. Установлено, что для сокращения сроков проектирования, подготовки производства требуется оптимальное распределение временных ресурсов при одновременном обеспечении приемлемой точности проведения оценок соответствия выходных проектных данных - первоначально установленным в техническом задании. В связи с чем возрастает потребность в гармонизации расчетных и экспериментальных исследований для существенного (в 2–3 и более раз) сокращения сроков разработки и выхода на рынок. Достижение требуемой достоверности оценок особенно важно при проведении анализа сложных процессов накопления повреждений машин при циклическом случайном нагружении, многокомпонентном и многофакторном воздействии, а также влияния на надежность и безопасность ТТС процессов изготовления и новых конструкторско-технологических решений. Установлено, что соответствие надежности и безопасности мобильной машины не менее чем на 80 % определяется ее комплектующими. К критическим компонентами и технологиями, опре-

деляющим надежность и безопасность, мобильных машин относятся: сборные рамные несущие конструкции; детали и узлы тормозной системы и трансмиссии (колодки, диски, барабаны тормозные, цилиндры, трубопроводы и т.д.); детали и сборочные единицы подвески и рулевого привода (пальцы шаровые, опоры и шарниры и т.п.) и др. Данные изделия массового и крупносерийного производства при высоком темпе обновления моделей изготавливаются с использованием различных технологий (механообработка, сварка, сборка и др.), определяют надежность (ресурс), безопасность мобильных машин. Показано, что усталость, изнашивание обуславливают до 90 % эксплуатационных отказов машин. Установлено, что ресурс мобильных машин определяется в первую очередь надежностью и безопасностью несущих конструкций, подверженных в эксплуатации случайному многовекторному нагружению, имеющих одновременно множество зон повреждений с различными механизмами и процессами накопления повреждений – усталость, фреттинг-усталость, износ, ослабление соединений и др. Развитие теории и инженерных методик эффективного моделирования вероятности возникновения несоответствия при изготовлении (тиражировании продукции) потребовало выделить в особый класс задачу возникновения в конструкции при сборке напряженного состояния в дополнении к локальному (от местного упрочнения, сварки и т.п.). Показано, что напряжения, возникающие при сборке пространственных несущих конструкций мобильных машин создают условия для существенного взаимного влияния процессов повреждения во множестве зон разрушений.

Установлено, что обеспечение надежности ТТС по показателям качества выпускаемой продукции (ГОСТ 27.202) требует проведения анализа различных уровней рассмотрения технологических систем – «операция», «технологический процесс», «производственное подразделение» и «предприятие в целом». Традиционно для этого используют единичные и комплексные показатели надежности (дефектность, возвраты, технологическая дисциплина, авторский надзор и т.п.). Показано, что традиционный критерий соответствия технологического процесса установленным требованиям по качеству продукции - попадание в границы поля допуска не является адекватным, поскольку на указанных границах не происходит физико-химических явлений нелинейно изменяющих нормируемые конструкторско-технологические свойства. Требуется развитие имеющихся и разработка новых критериев соответствия технологических процессов по параметрам качества выпускаемой продукции. Установленные в процессе проведенных исследований причины определяют потребность в разработке и развитии научных основ и создании комплекса методов и средств проектирования и изготовления мобильных машин, а также процессов управления в машиностроительном производстве в рамках жизненного цикла машин, позволяющих обеспечить создание конкурентоспособных ТТС нового уровня, соответствующих требованиям по надежности и безопасности, цене и срокам выхода на рынок и достигать максимума экономической эффективности потребителям, производителям и другим заинтересованным сторонам. Научная идея диссертационной работы состоит в разработке системы обоснованных физико-математических моделей проектирования, испытания и ускоренной технологической подготовки производства мобильных машин, обеспечивающих качество их изготовления и безопасность, оптимизацию затрат путем

управления конструктивными, технологическими, производственными и эксплуатационными рисками на стадии проектирования конструкции и технологических процессов.

На основе проведенного анализа сформулированы цель, задачи исследования. Основные структурные блоки работы представлены на рисунке 1.

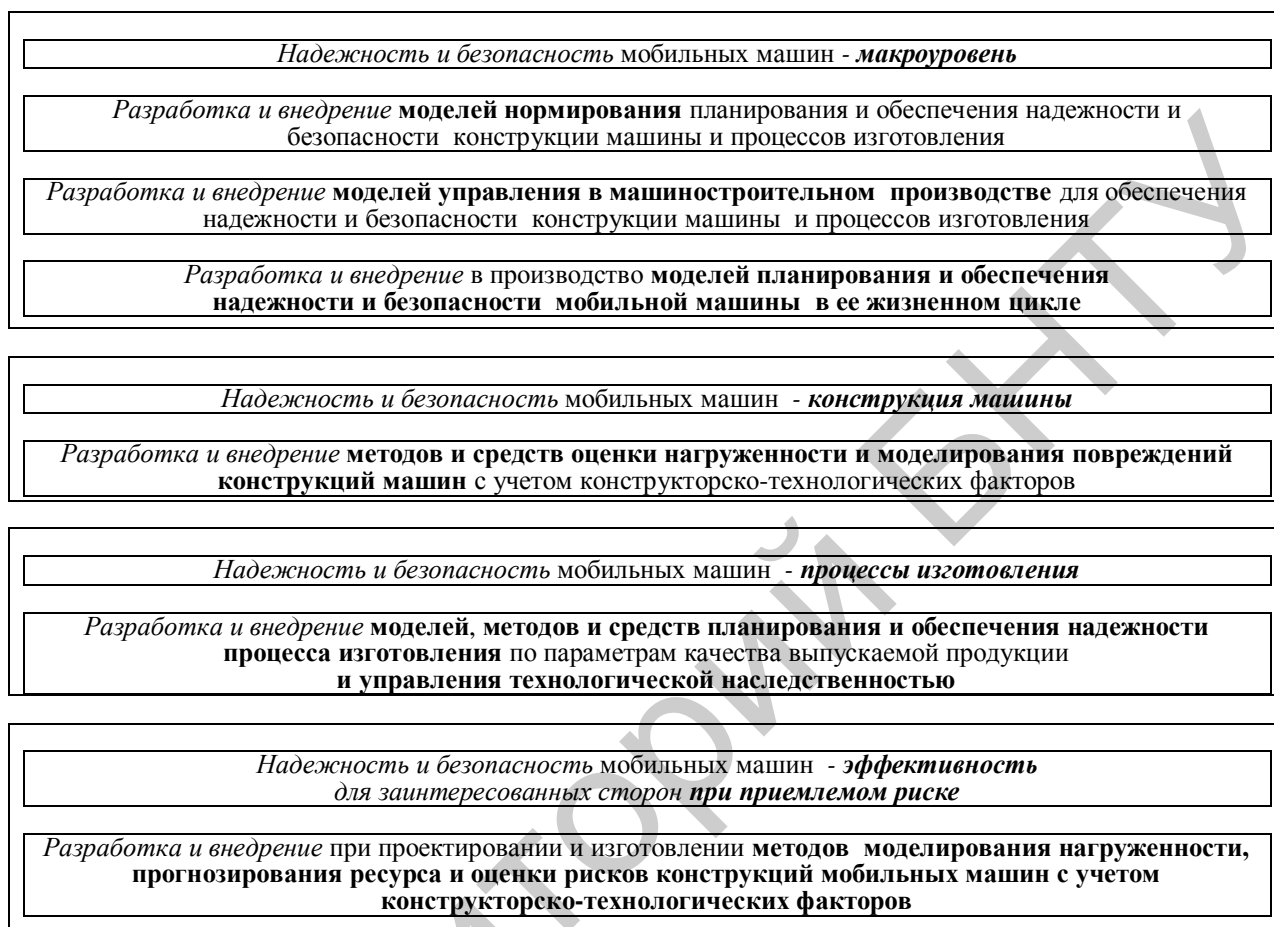


Рисунок 1 – Структура системы планирования и обеспечения надежности и безопасности мобильных машин при проектировании и изготовлении

Вторая глава «Разработка моделей нормирования и управления процессами обеспечения надежности и безопасности мобильных машин» посвящена разработке методологии, моделей, методов нормирования, планирования и обеспечения надежности и безопасности мобильных машин в машиностроительном производстве и в рамках жизненного цикла ТТС.

На основе метода системно-комплексного упорядочения и оптимизации требований в работе установлены требования к целевой функции нормирования – $C(a) = R_{REZ}(t) / R_{RES}(t) \Rightarrow \max_a$ (2.1); $P_R(a, C_j) \leq [P_R^*]$ (2.2), $a \in A$, где a, A – соответственно вектор нормируемых параметров и область его допустимых значений; $C(a)$ – эффективность ТТС для заинтересованных сторон (потребителя, производителя, поставщика и т.д.); $R_{REZ}(t), R_{RES}(t)$ – соответственно положительный результат от использования ТТС и затраченные ресурсы в жизненном цикле $[0, T]$; $P_R(a, C_j)$ и $[P_R^*]$ – заданный и минимально допустимый (приемлемый) риск несоответствия машины установленным требованиям. Поскольку риск - вероятность причинения

вреда (экономические последствия, безопасность жизни и т.д.) с учетом тяжести этого вреда, то для достижения установленных показателей надежности и безопасности машины показано, что для оценки требуемых ресурсов $R_{RES}(t)=R_{REAL}(t) + \sum_{i=0}^T \sum_{j=1}^m P_{Ri}(a, C_j) R_{C, POTEN, i}(t) \Rightarrow \min_a$ (2.3), где T – нормативный срок службы (ресурс) машины; $R_{REAL}(t)$ и $R_{C, POTEN, i}(t)$ – соответственно величины фактических и потенциальных потерь в денежном выражении в случае возникновения i -го несоответствия с серьезностью последствий класса C_j . В работе разработана уточненная классификация критериев потери безопасности и надежности ТТС и ее элементов в основе которой – серьезность последствий для системы в случае несоответствия элемента требованиям, развит терминологический аппарат для нормирования надежности и безопасности машин. Разработанные [2-6, 11, 13, 17, 19, 22-24, 26-29, 31, 32, 41-42, 47-49, 51- 55, 59-66] модели нормирования технических требований, методов экспериментальной оценки параметров безопасности, надежности (критерии прочность, износостойкость) машин, анализа технологических процессов изготовления направлены на обеспечение надежности и безопасности мобильных машин. Разработана модель процесса нормирования – $Z \supset \{Z_{Konf}, Z_{LFP}, Z_{LFE}, Z_{LFM}, Z_{DT}\}$ (2.4), где в $\{\dots\}$ соответственно установлены этапы определения множественных отказов – «дерево функций – конструкции (процесса) – дефектов – причин» для различного типа машин, их элементов и дальнейшего тиражирования. Установлена структурная связь требований, определенных для высшего, среднего и низшего уровней анализа машины и ее компонентов – $T_{NDKonf}(t) \cap T_{NDP}(t), T_{NDTY}(t) \supset T_{NDP}(t)$ (2.5) и их логическое взаимодействие с позиции приемлемости риска – $[P_R^*]_{Konf} \supset [P_R^*]_P$ (2.6), $[P_R^*]_P \geq P_R^*_{TY}$ (2.7), для обеспечения конкретизации ограничений. Где $[P_R^*]_{Konf}$, $[P_R^*]_P$, $P_R^*_{TY}$ – соответственно приемлемые риски для конфигуратора и продукции, установленные в НД, а также заданные в ТУ.

Модель включает следующие множества: а) Идентификация терминов и соответствующих определений $\{T_{Yopr}\}, \{T_{Copr}\}$, базы данных $\{DB\}$, базы знаний $\{ZB\}$; б) Определение содержательной модели высшего уровня, $A(t); A_R(t)$ – соответственно массивы всех и нормируемых его параметров; в) Рассмотрение стадий жизненного цикла продукции – $L_{A-O}(t)$; г) Определение «выходных параметров» - параметров продукции, не выполнение которых является возможной причиной несоответствий конфигуратора. При этом: $B_R(t)=f(L_{F-M}(t))$ (2.8) – массив нормируемых параметров продукции; $B_{PR}(t)$ – массив нормируемых параметров продукции, величины которых определяются конструктивным решением конфигуратора; $B_{PR}(t)= f[A_R(t)]$ (2.9); $B_{NR}(t)=f[S(t)]$ (2.10) – массив нормируемых параметров продукции, величины которых индифферентны к конструктивным решениям; $S(t)$ - массив установленного уровня развития науки и техники; д) Регламентирование границ применения $\{T_{np}\}$ (2.11); е) Определение массива вероятности появления неблагоприятного события $[P_R^*(C)] = \{C_K, C_3, C_M\}$ (2.12) – для обеспечения приемлемого риска соответственно критических, значительных и малозначительных элементов/параметров на основе принципа оптимизации – «равной удовлетворенности потребителя» – связи серьезности последствий несоответствия и вероятности его возникновения; ж) Ус-

тановление однозначных схем, расчетных случаев, методов проведения испытаний типа продукции (блок нагружения) для конструктивного исполнения. Блок нагружения продукции (I) либо части (i) – $BL_{N,i} \supset \{B_F(b,t); B_W(b,t); B_M(b,t)\}$ (2.13), где $B_F(b,t)$, $B_W(b,t)$, $B_M(b,t)$ – массивы испытаний типа машины для подтверждения параметров функционирования, работоспособности и воздействия среды; $b \in \Psi$ – соответственно векторы нагруженности при испытании и эксплуатации. Целевая функция формирования блоков нагружения $C(b) \Rightarrow \max_b$ (2.14); $P_{RBL}(b, C_j) \leq [P_{RBL}^*]$ (2.15) – соответственно $C(b)$ – эффективность испытаний; $P_{RBL}(b, C_j), [P_{RBL}^*]$ – заданный и минимально допустимый (приемлемый) риск несоответствия испытаний условиям потребления; 3) Осуществление неразрывной цепи статистических доказательств. Вероятность соответствия машиностроительной продукции, как конструкции, так и процессов их изготовления установленным требованиям $P^*[B_R(t)] = f(P_T[B_R(t)]); P_M[B_R(t)] = (1 - P_R(a, C_j))$ (2.16), где $P_T[B_R(t)]$ (2.17) – вероятность соответствия типа продукции; $P_M[B_R(t)]$ (2.18) – вероятность соответствия продукции при тиражировании. При этом «партия» – $\Pi_{PART} \supset [N_{Kol}(t^*), D_{Doc}(t), I(t), I^*(t), M_{7M+R}(t), f(t)]$ (2.19), «поток» продукции – $\Pi_{Potok} \supset [N_{Kol}(t), D_{Doc}(t), I(t), I^*(t), M_{7M+R}(t), f(t)]$ (2.20), где соответственно N_{Kol} – совокупность продукции во времени t (фиксированный момент t^*), $I(t)$ и $I^*(t)$ – идентификация и прослеживаемость; $D_{Doc}(t) = const$; $M_{7M+R}(t) = const$, (индекс «7M+R» означает учет влияющих факторов: материал, оборудование, метод, среда, персонал, управление в машиностроительном производстве, эффекты разрегулированности сложных систем); $f(t)$ – массивы документирования и условий производства при нормальном законе распределения; и) Развертывание функций качества от типа к тиражированию $P_M[B_R(t)] = f\{P[C_M(t)]; P[N_M(t)]; P[M_M(t)]; P[H_M(t)]\}$ (2.21) где $C_M(t)$ (2.22) – массив методов тиражирования продукции; $N_M(t)$ (2.23) – массив статистических правил приемки в зависимости от рисков; $M_M(t)$ (2.24) – массив методов контроля; $P[H_M(t)]$ (2.25) – суммарная надежность метода доказательств соответствия тиражирования; к) Регламентирование производства без установления способа достижения цели, т.е., если после выполнения верификации процесса изготовления U_{LVerM} вероятность $P^*[B_R(t)] \leq (1 - [P_R^*])$ (2.26) – выполняется этап валидации U_{LValM} и устанавливается требование $C_M(t) = const, N_M(t) = const, M_M(t) = const$ (2.27); л) Задание критериев: документирования результатов контроля $D(t)$ (2.28); м) Переход от подтверждения требований по надежности, безопасности каждого изделия, через типового представителя группы к подтверждению типа изделия и системы управления в машиностроительном производстве (в том числе качеством и надежностью). Массив данных о группе продукции имеющей типового представителя $T(t) = [B_{PR}(t) = \{var\}; B_{NR}(t) = \{var\}; C_M(t) = const; N_M(t) = const; M_M(t) = const; H_T(t) = const; I(t) = const; I^*(t) = const; D(t) = const; Q(t) = const; L(t) = const; K(t) = const; H_M(t) = const]$ (2.29), где $Q(t)$ – массив системы управления в машиностроительном производстве (надежности, рисков и т.д.); $L(t)$ – массив этапов жизненного цикла продукции; $K(t)$ – массив коррекций и корректирующих мероприятий. Поскольку

$$Q(t) = f[C_M(t); N_M(t); M_M(t); H_T(t); I(t); I^*(t); D(t); L(t); K(t); H_M(t)] \quad (2.30)$$

типовой представитель группы по конкретному параметру –

$$T^*(t) = [B_{PR}(t) = extremum \{var\}; B_{NR}(t) = extremum \{var\}; Q(t) = const] \quad (2.31)$$

На основе результатов исследований продукции и процессов производства, установлены параметры безопасности, надежности, разработаны методики испытаний, правила оценки надежности процессов изготовления. Модели внедрены в странах СНГ (1997–2007 гг.) [1-6, 11,13, 17, 19, 22-24, 26, 112-117,120] и в республике при проектировании более 53 комплектов конструкторско-технологической документации и ТУ на автотранспортные средства, а также при разработке шести государственных и межгосударственных стандартов. Обоснование норм надежности, безопасности мобильных машин и процессов их изготовления обеспечило, во-первых, создание машин, позволяющих увеличить безопасность их эксплуатации и сократить материальные потери от аварий на 10–25 %; во-вторых, уменьшение сроков разработки и постановки продукции на производство в 1,5–2 раза; в третьих, достижение конкурентоспособной цены за счет снижения себестоимости изделий на 5–30 % путем оптимизации затрат на НИОКР, на испытания и т.п.

Показано, что систему управления в машиностроительном производстве S_{OM} следует рассматривать как сложную систему макроуровня для обеспечения надежности и безопасности ТТС, включающую порядок постановки продукции на производство. Разработаны модели управления в машиностроительном производстве и массив элементов E_{kl} системы [1-3,6,7,9,13,17,22-26,35-38,42,45,47,51-56,60-66,119,121], а также {А–О} – структура этапов жизненного цикла (рисунок 2.1).

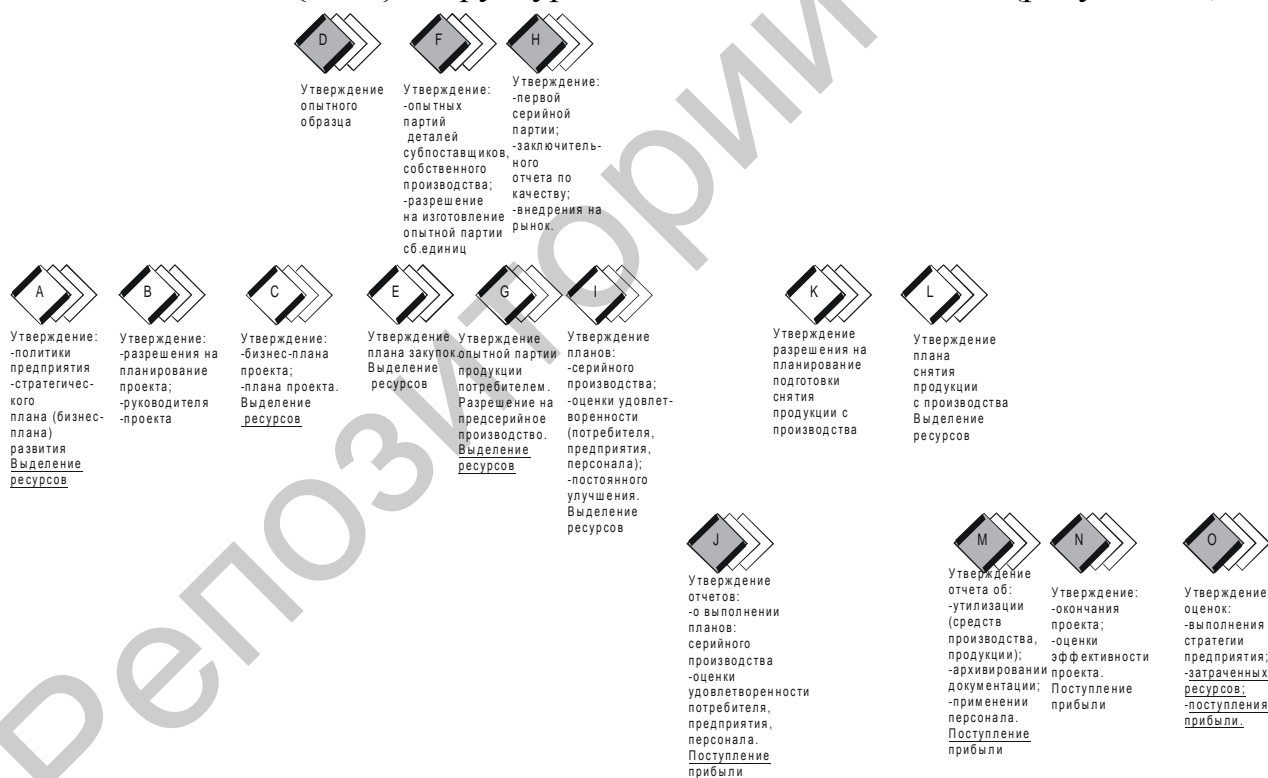


Рисунок 2.1 – Структура жизненного цикла организации, проектов, продукции

Определены критерии эффективности системы, приемлемого риска для заинтересованных сторон – потребителя, изготовителя, поставщиков и т.д., сформулированы требования для определения ресурсов на качество и процессы [0,Т] организации, где R_{ZPQM} , R_{ZKQM} , R_{FQM} – затраты на предупреждение, контроль и потери из-за несоответствия машин. Определены условия и разработана модель адапта-

ции системы управления, а также цикл (рисунок 2.2) постоянного улучшения для обеспечения требуемых показателей машин и процессов изготовления.

Внедрение разработанных моделей системы управления [1-3, 6, 7, 9, 13, 17, 22-26, 119, 121] обеспечивает соответствие производства требованиям международных стандартов по менеджменту надежности и рисков (ИСО/МЭК 60300-1, МЭК 300-1 и др.), сокращает затраты и сроки на оптимизацию системы на 30–50 %. Модели внедрены в производство (1997–2008 гг.), что позволило впервые в СНГ подтвердить соответствие системы управления в машиностроительном производстве международным стандартам ISO 9001, QS 9000, VDA 6.1, НПО Фенокс выиграло тендер и стало поставщиком известных корпораций автомобильной промышленности Западной Европы, в том числе компании Фольксваген.



А,В,N,O – контрольные точки жизненного цикла организации, проектов, продукции;
1 – мультипроект; стадии: 2 – глобальные изменения; 3 – локальные улучшения)

Рисунок 2.2 – Цикл непрерывного улучшения деятельности организации

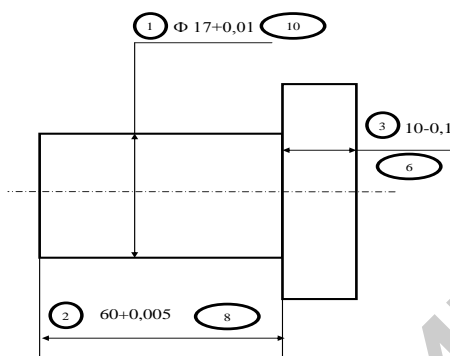
Разработаны модели планирования и обеспечения экономической целесообразности надежности, безопасности машин и процессов их изготовления при проектировании и подготовке производства для условий серийного производства. Модели включают показатели планирования качества продукции, массив планов: опытный образец - $\{OO(t)\}$, опытная партия - $\{OP(t)\}$, серийное производство - $\{СП(t)\}$, постоянное улучшение - $\{ПУ(t)\}$; P_R , $[P_R^*]$ – заданный и минимально допустимый риск несоответствия машины и процессов изготовления требованиям. Установлено, что обеспечение рисков следует рассматривать как часть процесса жизненного цикла организации, проекта, продукта (см. рисунок 2.1) и реализовывать как составную часть монопроекта – $P_{MoProjekt}$.

Показано, что планирование надежности и безопасности P_{PQ} – массив планов реализации вероятностно-детерминированных процедур E_{kl} . Установлено, что необходимое и достаточное условие - $P_{PQ} \supset (\{OO(t)\}; \{OP(t)\}; \{СП(t)\}; \{ПУ(t)\})$ (2.32), позволяет анализировать достигнутые риски P_R требуемым - $[P_R^*]$ для конструкций машин и процессов их изготовления. Показано, что для повышения эффективности планирования качества для заинтересованных сторон, т.е. $C_{PIQ} = R_{REZ PIQ} / R_{RES PIQ} \Rightarrow \max$ (2.33) при $R_{REZ PIQ} \geq [R_{REZ PIQ}]$ (2.34) и $R_{RES PIQ} \Rightarrow \min$ (2.35) следует осуществлять идентификацию Θ на этапах жизненного цикла продукции и процессов серьезности последствий несоответствий параметров, т.е. рисков - $\{R_Q\}$, при этом $\{R_Q\} \supset (\{C\}, \{O\}, \{D\})$ (2.36), где $\{C\}, \{O\}, \{D\}$ – серьезность последствий несоответствия параметров, вероятности его возникновения и обнаружения. Доказано, что для повышения эффективности, получения соотношения «приемлемая цена - соответствующее качество» необходимо фокусировать деятельность по планированию надежности и безопасности путем идентификации Θ важности характеристик машины и процессов изготовления в актуализируемом массиве $\{CX\} = \{S_P^*, F^*, D^*, S_H^* \dots\}$ (2.37). В массиве - важными параметрами Δ_D^* продукции и процессов являются, в том числе: S_P^* -безопасность, F^* -

функционирование, D^* -надежность, S_H^* -техника безопасности производства и т.п. Актуализация $\{CX\}$ осуществляется на всех этапах планирования $\{OO(t)\}$; $\{OP(t)\}$; $\{CP(t)\}$; $\{PY(t)\}$. Предложено в технической документации указанные параметры выделять Θ специальными символами (рисунок 2.3), представлены описания критериев серьезности последствий несоответствия.

Достоверность доказательств вероятности возникновения, обнаружения параметров в зависимости от важности основано на применении адекватных рискам статистических методов при оценке соответствия конструкции, технологии, методов диагностики. Показано, что адекватность идентификации Θ рисков продуктов и процессов $\{R_Q\}$ приемлема, т.е. $\Delta \leq [\Delta^*]$ (2.38), при заданных ресурсных ограничениях $R_{RES\ PIQ} \leq [R_{RES\ PIQ}]$ (2.39), если в процессе ее реализации использованная информация $\{I\} \Rightarrow \max$ (2.40), где Δ и $[\Delta^*]$ - достигнутая и заданная погрешность в оценке серьезности последствий несоответствия продукта и процесса; $\{I\}$ – массив информации о продукции и процессе изготовления. Идентификация и прослеживаемость рисков документируется E_{kl} .

Показано, что для результативного и эффективного, т.е. $R_{REZ\ PIQ} \geq [R_{REZ\ PIQ}]$ (2.41), а $C_{PIQ} \Rightarrow \max$, планирования показателей надежности и безопасности продукта и процесса изготовления необходимо и достаточно дове-



- Обозначение порядкового номера параметра
- Обозначение степени важности параметра

Рисунок 2.3 – Пример обозначения степени важности параметров в конструкторской документации

дение вероятности появления каждой из причин $\{\Omega\}_i$ каждого из идентифицированных рисков P_{RI} до приемлемого, т.е. если $P_{RI} = F(\{\Omega\}_i)$ (2.42) и для P_{RI} выполняется условие $(\{\Omega\}_i) \leq [(\{\Omega\}_i)]$ (2.43), при этом $\{\Omega\} \supset (\{O\}, \{D\})$ (2.43), где $(\{\Omega\}_i)$ – массив причин i -го риска, $\{O\}$ и $\{D\}$ – массивы вероятностей возникновения и обнаружения несоответствующих параметров.

Установлено, что для результативного в течение жизненного цикла, т.е. $R_{REZ\ PIQ} \geq [R_{REZ\ PIQ}]$, планирования качества (показатели надежности и безопасности) P_{PQ} продукта и процесса изготовления на основе адекватной идентификации Θ рисков для заинтересованных сторон, необходимо и достаточно на этапах $\{OO(t)\}$; $\{OP(t)\}$;

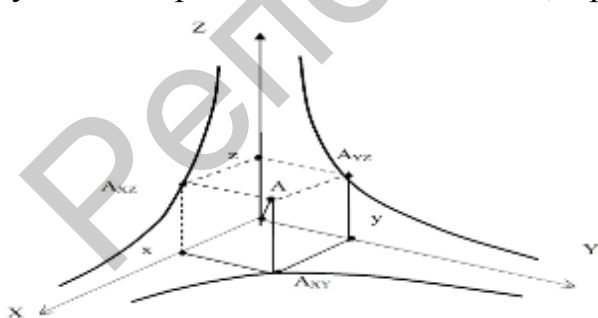
$\{CP(t)\}$; $\{PY(t)\}$ опережающее, актуализируемое управление вероятностью возникновения $\{O\}$ и обнаружения $\{D\}$ всех идентифицированных причин $\{\Omega\}$ несоответствий параметров продукции и процессов изготовления. Для этапов $\{OO(t)\}$; $\{OP(t)\}$; $\{CP(t)\}$; $\{PY(t)\}$ – $P_{PQ} \supset (\{PND\}, \{\Theta\}, \{RP/CP\}, \{MI/DI\}, \{MM\}, \{I/O\}, \{INF/A\}, \{PR\}, \{d(t)/AS, AP_c, AP_d\})$ (2.44), где адекватных степени риска $\{R_Q\}$ массивы: $\{PND\}$ – параметров продукта/процесса, их номинальных значений и полей допусков; $\{\Theta\}$ - идентификаторов важности параметра – т.е. риска $\{R_Q\}$ (см. рисунок 2.3); $\{RP/CP\}$ - методов обнаружения несоответствия параметров продукта; $\{MI/DI\}$ – методов измерения и их достоверности; $\{MM\}$ - планов предотвращения несоответствий при управлении ресурсами – $M_{7M+R}(t)$ (персонал; средства и методы

производства; инфраструктура и др.); $\{I/O\}$ - методов идентификации статуса контроля продукции, процессов и объектов управления; $\{INF/A\}$ - методов информационного обеспечения и обработки данных; $\{PR\}$ - планов реагирования в случае обнаружения несоответствия параметров; $\{d(t)/AS, APs, APd\}$ (4.45) – планов внешних управляющих воздействий для снижения ошибок $\Delta NI_{NakInf}(t)$ на основе информации полученной аудитами системы - AS , процессов - APc и продуктов – APd . Документирование планирования показателей надежности и безопасности реализуется в программе управления качеством $\{J\} = (\{PND\}, \{\Theta\}, \{RP/CP\}, \{MI/DI\}, \{MM\}, \{I/O\}, \{INF/A\}, \{PR\}, \{d(t)/AS, APc, APd\})$ (2.46).

Установлено, что для результативного во времени t планирования надежности и безопасности P_{PQ} продукции и процесса изготовления, их улучшения, снижения затрат, т.е. $R_{REZ\ PQ} \geq [R_{REZ\ PQ}]$, $P_{R(I+1)} \leq P_{R(I)} \leq [P_R^*]$ (2.47), $R_{RES\ PQ(I+1)} \leq R_{RES\ PQ(I)}$ (2.48), на основе адекватной идентификации Θ рисков $\{R_Q\}$ в течение интервала времени $(t_{i+1}) \leq [t^*]$ необходимы внешние целенаправленные воздействия $\{U(t)\}$ приводящие к: а) устранению всех обнаруженных при t_i причин возникновения несоответствий параметров; б) уменьшению вариации процессов; в) предотвращению появления идентифицированных на основе актуальных достижений науки, техники и всех выявленных потенциальных причин несоответствий параметров в аналогичных продуктах и процессах изготовления.

На основе развития классической зависимости «затраты - функция степени соответствия качеству», методологии «предотвращение несоответствий», используемых моделей затрат на качество, надежность, безопасность (Болотин В.В., Волков Л.И, Дидусев Б.А., Завойчинский Б.И., Животкевич И.Н., Острейковский В.А., Проников А.С., Смирнов А.П., Тагучи, Хазов Б.Ф. и др.), а также предложенной методологии максимума эффективности при приемлемом риске разработана модель оптимизации затрат на качество, надежность и безопасность (рисунок 2.4).

Установлено, что эффективность, для заинтересованных сторон, планирования показателей надежности и безопасности $C_{PQ} \Rightarrow \max$ при $R_{REZ\ PQ} \geq [R_{REZ\ PQ}]$ и $R_{RES} = R_{RES\ PR} + R_{RES\ PQ} \Rightarrow \min$ (2.49), за счет $R_{RES\ PQ} \Rightarrow \min$ (2.50), где $R_{RES\ PQ} = R_{RES\ QPr} + R_{RES\ QK} + R_{RES\ QF}$ (2.51) обеспечивается, если $R_{RES\ QPr} = R_{RES\ QK} = R_{RES\ QF}$ (2.52), где $R_{RES\ QF}(t) = R_{RES\ QF}^*(t) + R_{RES\ QF}^{**}(t)$ (2.53), в жизненном цикле L_{BN} продукции и процессов изготовления, причем граничные условия для этапов $B-N$ от



X - затраты на контроль качества процесса создания и потребления продукции (процесса); Y - потери из-за недостижения качества; Z - затраты на предупреждение несоответствия

Рисунок 2.4 – Модель затрат и потерь связанных с качеством (X, Y, Z)

$R_{RES\ QF}(t_B) = R_{RES\ QF}^{**}(t_B)$ (2.54) до $R_{RES\ QF}(t_N) = R_{RES\ QF}^*(t_N)$ (2.55), где $R_{RES\ PR}$, $R_{RES\ PQ}$ - требуемые ресурсы на производство и качество, $R_{RES\ QPr}$, $R_{RES\ QK}$, $R_{RES\ QF}$ - затраты на предупреждение несоответствий параметров, их контроль и потери; $R_{RES\ QF}^*(t)$ и $R_{RES\ QF}^{**}(t)$ - фактические и потенциальные (риски) потери.

$$C = f(X; Y; Z; \dots) \quad (2.56).$$

Установлено, что соответственно снижение себестоимости продукции, процесса изготовления возможно при миними-

зации суммы X, Y, Z . Графики описывают оптимальную с точки зрения суммарных затрат на качество функцию, где $(OA_{XY}); (OA_{XZ}); (OA_{YZ})$ - полуоси гипербол. Предложенная модель определяет экономический критерий оптимизации качества, надежности и безопасности ТТС.

Разработанные модели внедрены с 2000 г. в производстве, в том числе при разработке, проектировании конструкции и технологических процессов и оборудования, постановке на производство более чем 25 моделей элементов тормозной системы, трансмиссии, подвески, рулевого привода, что позволило обеспечить установленные потребителем требования: вероятность наступления несоответствий – ppm 50 и менее; показатель возможности процесса 1,67 и более.

Модели [1-3, 6, 7, 9, 13, 17, 22-26, 35-38, 42, 45, 47, 51-56, 60-66, 119, 121] обеспечивают планирование надежности и менеджмент рисков в рамках жизненного цикла ТТС (разработка и проектирование продукции и процессов изготовления, закупка средств производства, измерение и контроль, анализ и повышение надежности и безопасности), в том числе в соответствии с требованиями международных стандартов по менеджменту надежности и рисков (ИСО/МЭК 60300-1, МЭК 300-1 и др.), что позволяет сокращать затраты и сроки при оптимизации надежности и безопасности машин на 25–50 %.

Третья глава «Разработка методов и средств оценки нагруженности и моделирования прогнозируемых повреждений сборных несущих конструкций мобильных машин» посвящена разработке и внедрению методов и средств оценки нагруженности и моделирования повреждений конструкции при учете влияния конструкторско-технологических факторов (КТФ) для одного из наиболее сложных и ответственных компонентов мобильной машины, определяющих в целом ее надежность и безопасность - сборной несущей конструкции.

Для анализа результатов проектирования (по E_{kl}) - проверки соответствия «входных» проектных данных «выходным» требуется осуществлять прогнозирование (до физического появления прототипа) и оценку (опытный образец) достижения показателей, установленных техническим заданием.

Показано, что создание базы знаний, банка данных процессов нагружения и повреждений (сопротивление усталости (ХСУ), фреттинг-усталость, износ, ослабление и разрушение соединений и т.д.) следует осуществлять комплексно на основе предложенной иерархии моделей (рисунок 3.1). Ис-

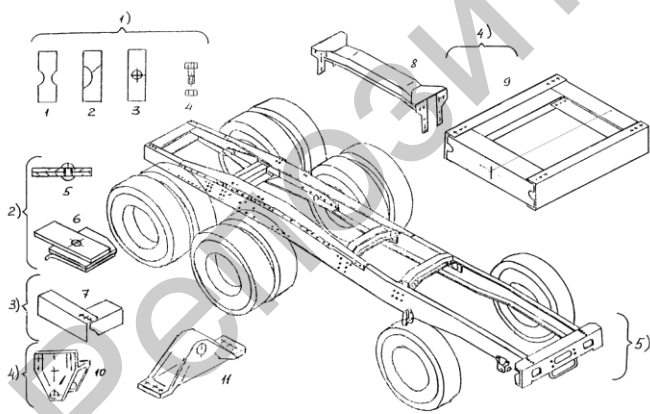


Рисунок 3.1 – Иерархия моделей сборной несущей конструкции на примере автомобиля

следованы факторы, влияющие на повреждение (рисунок 3.2-3.4): напряженно-деформированное состояние (НДС), в том числе методом конечных элементов (МКЭ); макро- и микроконцентраторы; микроструктура материала и размер зерна; зазоры в сопряжениях конструкции; химический состав и механические свойства материала; концентрация напряжений; силы термической усадки и т.д.

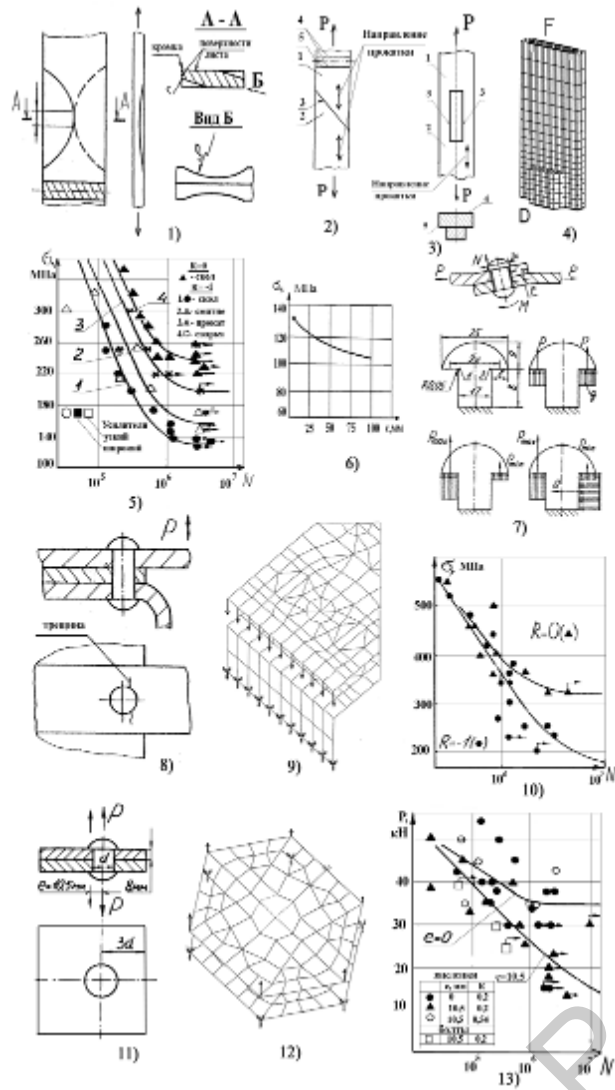


Рисунок 3.2 - Физические, математические модели зон повреждений. Характеристики сопротивления повреждению

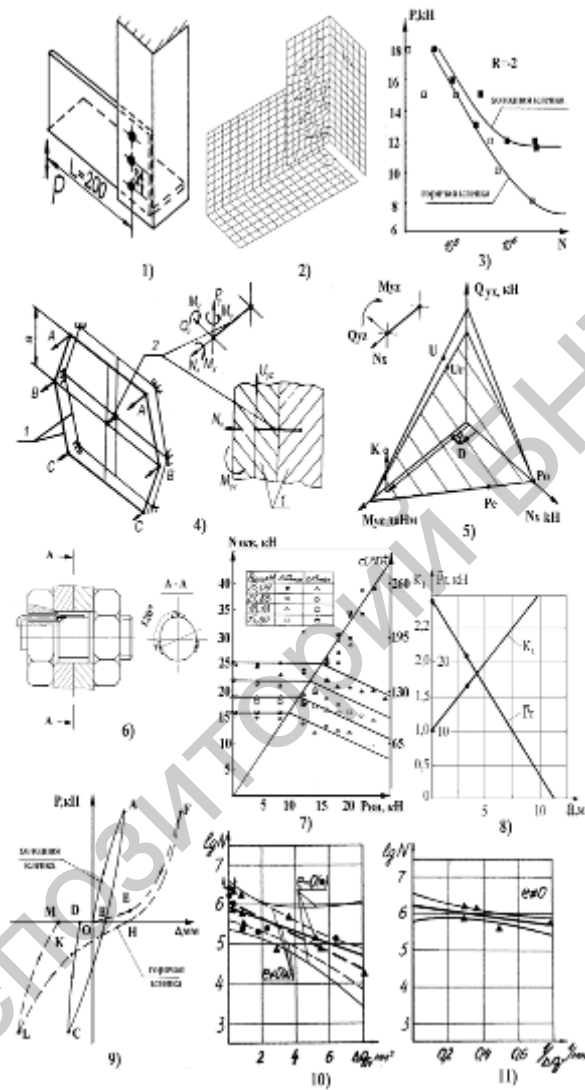


Рисунок 3.3 - Физические, математические модели зон повреждений. Характеристики сопротивления повреждению

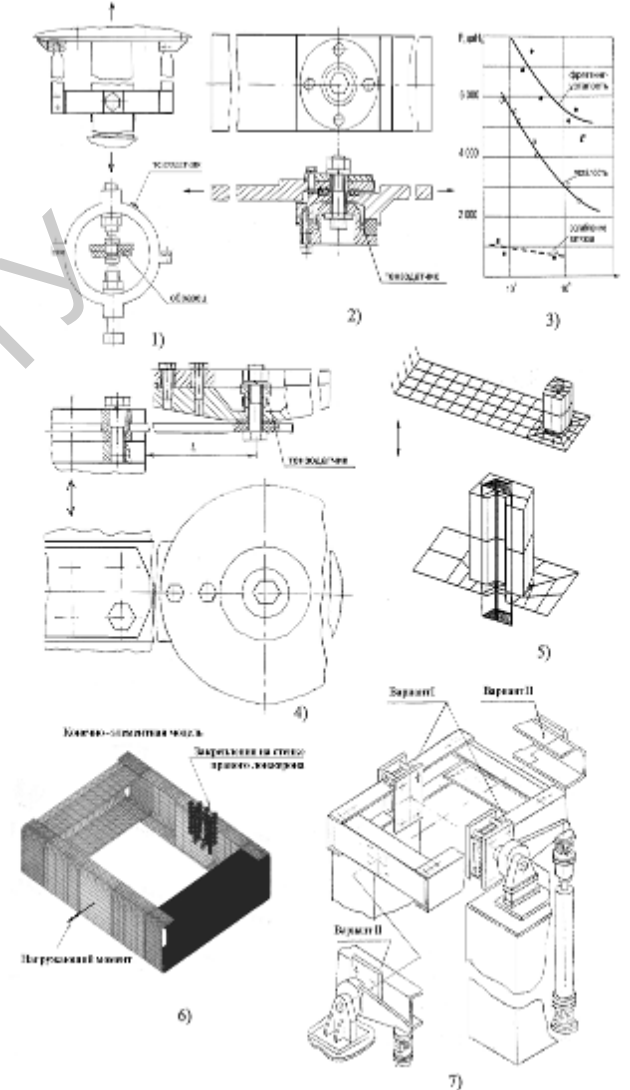


Рисунок 3.4 - Физические, математические модели зон повреждений. Характеристики сопротивления повреждению

Определены КТФ имеющие доминирующее влияние на ХСУ зон разрушений. Разработана система локальных моделей повреждений и средств (рисунок 3.2-3.4) измерения (более 10) [105,107, 110,111]. Исследования (более 30 серий) осуществлялись на универсальных и оригинальных стендах типа «Shenck», ZDM Pu-10, МУП-50, вибраторах и созданной оснастке. Первый уровень моделей – простейшая зона повреждения (рисунок 3.2.1;3.2.3); второй- соединение с единицей крепежа (рисунок 3.2.2, 3.2.8, 3.2.11, 3.4.1, 3.4.2, 3.4.4). Третий - соединение с группой крепежа (рисунок 3.3.1). Четвертый - узел (рисунок 3.4.7). Пятый – натурная конструкция (рисунок 3.5, 3.6). Получена зависимость, позволяющая оценивать снижение предела выносливости (рисунок 3.2.6) от анализируемых размеров зоны повреждения c (рисунок 3.2.1) в локальной модели и в натурной конструкции. В результате варьирования конструкторско-технологическими факторами, получены и исследованы: ХСУ несущих элементов (рисунок 3.2.5, 3.2.10), заклепок (рисунок 3.2.13), соединения с группой крепежа (рисунок 3.3.3), фреттинг-усталости (рисунок 3.4.3); характеристики жесткости в зависимости от вида заклепочного соединения – клепка вгорячую, вхолодную (рисунок 3.3.9) – соединения (рисунок 3.3.1). Для болтовых (рисунок 3.4.2) – установлены зависимости: «момент затяжки– усилие, приводящее к проскальзыванию»; «циклическая нагрузка – амплитуда проскальзывания»; «сила затяжки болта, величина циклического воздействия – число циклов до "срыва стыка"» (рисунок 3.4.3). При моделировании ослабления затяжки (рисунок 3.4.4) варьировались конструкторско-технологические факторы: усилие затяжки, частота вибрации (до 60 Гц), стопорный элемент и т.п., отмечено явление бигармонического резонанса.

Разработаны методика, средство измерения – тензометрический болт (ТБ) (рисунок 3.3.6) [110], исследована его нагруженность в соединении (рисунок 3.3.7). Показано, что измерение деформаций (напряжений - $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$) в ТБ, позволяет при решении системы уравнений $\sigma_{1(2)(3)} = N_Z/F + N_Z Y_N Y_{1(2)(3)}/I + N_Z X_N X_{1(2)(3)}/I$ (3.1) определять силу N_Z и изгибающие моменты ($N_Z X_N, N_Z Y_N$), действующие на крепежный элемент на основе геометрических характеристик сечения (F, I) и координат датчиков (X, Y). Установленная связь (рисунок 3.3.8) «нагруженность ТБ – ХСУ заклепочного соединения» позволяет расчетно-экспериментальным методом оценивать коэффициент запаса крепежной детали по нагрузке, используя предложенное выражение $n_Z = P_{ai} / P_{vni}$ (3.2), где P_{ai} – среднее значение предела выносливости соединения полученное на основе зависимости «предел выносливости– эксцентриситет вектора нагружения»; P_{vni} – величина внешней нагрузки определенная с помощью ТБ. Установлены регрессионная, корреляционная связи между зазором (рисунок 3.2.11) в соединении, полученном при использовании традиционной технологии изготовления, и числом циклов до разрушения заклепки, а также определена предельная величина зазора при изготовлении заклепочного соединения недостижение которого обеспечивает его долговечность свыше 10^6 циклов (рисунок 3.3.10; 3.3.11).

Разработаны система моделирования и комплекс математических, физических моделей для оценки напряженно-деформированного состояния зон повреждений, как натурной конструкции, так и физических локальных моделей (рисунок 3.2.4, 3.2.9, 3.2.12, 3.3.2, 3.3.4, 3.4.5, 3.4.6) зон повреждений. Это позволило преодолеть

неадекватность математического моделирования - КЭ-модели – физическим и химическим процессам накопления повреждений с учетом КТФ в зоне стыков соединяемых элементов конструкции. Введен параметр – коэффициент чувствительности КЭ-модели – k_s , являющийся аналогом эффективного коэффициента концентрации напряжений и позволяющий при расчете МКЭ зон нерегулярности учитывать не только схему деформирования и геометрию зоны нерегулярности, но и физико-механические свойства и влияние конструкторско-технологических факторов (технология изготовления заклепочного соединения и т.п.): $k_s = \sigma_e / \sigma_p$ (3.3), где σ_e , σ_p – соответственно напряжения полученные измерением и расчетом в одной и той же зоне физической и КЭ-моделей соответственно. Для крепежа при расчете МКЭ нагруженности отдельных соединений (рисунок 3.3.2, 3.3.4, 3.4.6) и натурной конструкции в целом (рисунок 3.5) получены массивы значений осевой N_x и поперечной Q_{yz} сил, изгибающего момента M_{yz} . Доказано, что допускаемые значения внутренних силовых факторов (ВСФ) - критерий долговечности при оценке МКЭ нагруженности крепежа конструкции - следует представлять в виде пирамиды (рисунок 3.3.5) и описывать зависимостью: $X \cos \alpha + Y \cos \beta + Z \cos \gamma - p = 0$ (3.4). Принадлежность расчетных значений ВСФ (рисунок 3.3.5) к плоскости (P_o, P_e, U_e) и (P_o, P_e, U) свидетельствует о разрушении с вероятностью 0,5, например, "горячих" и "холодных" заклепок соответственно. Установлено, что величина отклонения точки $K_i (X_i, Y_i, Z_i)$ от плоскости допустимых значений ВСФ определяется как $\delta = X_i \cos \alpha + Y_i \cos \beta + Z_i \cos \gamma - p$ (3.5). Показано, что расчетные данные ВСФ в крепеже несущей конструкции, необходимо сравнивать с предложенным параметром - коэффициентом перегрузки крепежа $n = \delta / p$ (3.6), характеризующем отношение величины действующих ВСФ для данной схемы нагружения и предела выносливости, причем предел выносливости определяется, как при различных видах разрушения, так и при ослаблении крепежа.

С целью оптимального проведения расчетов и испытаний, разработки норм и адекватной схемы нагружения пятого уровня моделей сборной несущей конструкции (рисунок 3.1) проведены исследования, которые позволили выявить влияние на нагруженность и, соответственно, повреждение конкретных зон конструкции определенного вида условий эксплуатации (дорог, маневров т.п.). Показано, что нагруженность как в целом несущей системы, так и каждой потенциальной i -той зоны повреждения в процессе эксплуатации для конкретной мобильной машины случайные величины соответственно $D_{mc} = f(B, N)$ и $NZ_i = f(B_i, N_i)$, где B – типы технологических режимов мобильной машины, N - количество циклов воздействий.

Установлено, что для прогнозирования и оценки ресурса конструкции оптимальным является воспроизведение схемы и количества циклов нагружения эквивалентным нормированному режиму – H_{mc} . На практике им может являться режим форсированных испытаний на полигоне (ФРИ), либо на стенде, эквивалентность эксплуатационному режиму которых известна и нормирована, что обеспечивает сравнимость результатов прогнозов и сокращает время проведения исследований.

Движение мобильной машины предлагается представлять как последовательность единичных видов нагружений, объединенных в массив – $\{D_{mc}\}$. На основе принципа суперпозиций необходимо осуществлять любую комбинацию видов на-

гружения и формировать блоки для имитации технологического цикла для каждой зоны повреждения, т.е. $BL_i = \{NZ_i\}$.

Разработаны схемы и методы расчета МКЭ (при балочной и оболочечной аппроксимации) и экспериментальных исследований (рисунок 3.5). Подтверждена адекватность КЭ-моделей их сопоставлением с результатами экспериментальных исследований. Определены перемещения зон конструкции, внутренние силовые факторы в элементах мобильной машины. Результаты исследований позволяют проводить оценку НДС, а также допустимые величины деформации элементов конструкции мобильной машины.

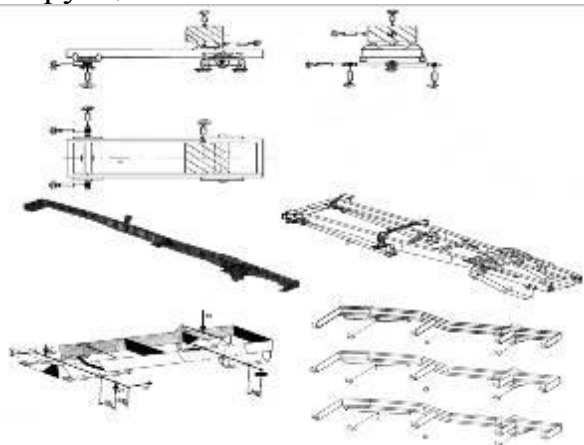


Рисунок 3.5 – Схема многовекторного нагружения (на примере рамы седельного тягача). Конечно-элементные модели

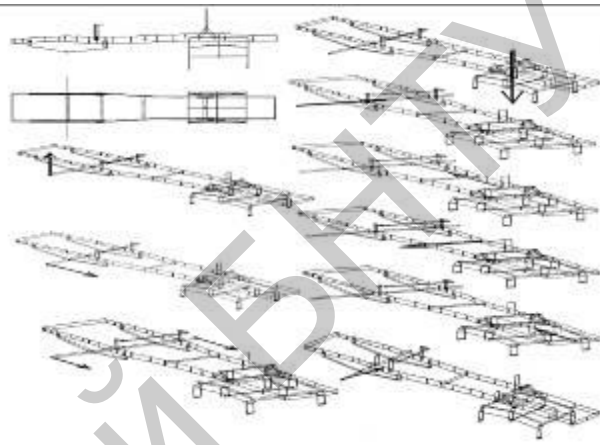


Рисунок 3.6 – Нормируемые схемы расчетов и испытаний несущих конструкций. Конечно-элементные модели

Предложена схема (рисунок 3.5) нагружения для стендовых испытаний (на примере рамы седельного тягача) на этапах «анализа» и «проверки» проекта несущей конструкции. Сделан вывод, что при расчетах и испытании рамы мобильной машины, необходимо определять требуемую жесткость (локальную- $G_{ЛЛ}$, глобальную- $G_{ГЛ}$) по критериям предельного состояния для установленных на раме узлов и агрегатов $P_{PG} = \{G_{ГЛ}, G_{ЛЛ}\} \leq [P_{PG}]$, а также, что расчеты и испытания на циклическое воздействие такого рода конструкций необходимо осуществлять при «жестком» нагружении. Разработана и установлена в качестве нормы схема расчетов и испытаний несущей конструкции (рисунок 3.5, 3.6) мобильной машины для моделирования эквивалентного эксплуатационному многовекторному нагружению. Разработанные методики анализа НДС МКЭ и тензометрированием несущей конструкции машины, а также методики обработки процесса нагружения позволили установить закономерности влияния элементов технологического цикла работы (вид дороги, маневры и т.п.) машины на нагруженность и повреждаемость конкретных зон, что позволяет снизить в 2–3 раза затраты на измерение нагруженности в условиях эксплуатации и на испытательном стенде (рисунок 3.5), а также осуществлять оценку циклической долговечности с учетом вида эксплуатационного нагружения. Введение нормативных схем расчетов и испытаний, учет множества зон повреждений и различных видов нагружения технологического цикла мобильной машины позволяет повысить на 10–30 % точность и достоверность оценки нагруженности потенциальных зон повреждения несущей конструкции мобильной машины, при одновременном сокращении затрат и сроков проведения расчетов и испытаний в 1,5–2 раза. Показано, что технология изготовления несущей

щих элементов существенно (до 50 %) влияет на их предел выносливости, варьирование КТФ позволяет с трехкратным запасом обеспечивать требуемый ресурс конструкции. Наличие, вид и расположение сварного соединения может снижать предел выносливости на 60%. Установлено, что предел выносливости "холодных" заклепок в зависимости от вида нагружения может быть выше "горячих" на 65 %, а вид конструкторско-технологического исполнения болтового соединения и характер его нагружения существенно (в разы) влияет на надежность (ослабление, разрушение) соединений в несущих конструкциях мобильных машин.

В результате исследований и доводки 7-и видов несущих конструкций седельных тягачей, самосвалов МАЗ, МАЗ-МАН предложено и внедрено на Минском автозаводе ПО БелавтоМАЗ и СП ЗАО МАЗ-МАН системное моделирование повреждений сборных несущих конструкций с позиций иерархии и преодоления неадекватности физических и математических (МКЭ) моделей.

Разработанные методы и средства [105, 107, 110, 111] обеспечения локального моделирования процессов накопления повреждений (усталость, фреттинг-усталость, ослабление и разрушение соединений), полученные базы данных характеристик сопротивления повреждению, учитывающих влияние КТФ процесса изготовления, позволяют повысить точность оценки циклической долговечности несущих конструкций мобильных машин до 30 %, сократить длительность получения ХСУ и прогнозирования ресурса на 20–60 %.

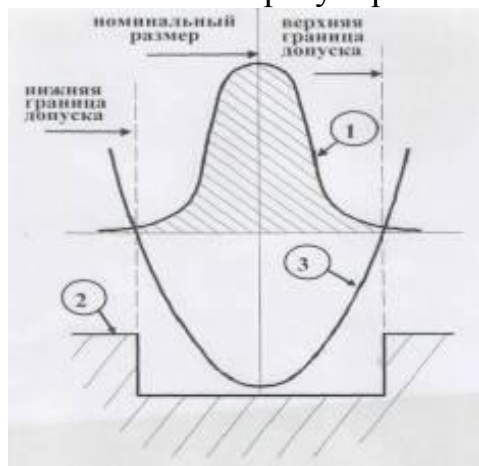
Четвертая глава «Разработка и внедрение моделей, методов и средств планирования и обеспечения надежности процесса изготовления по параметрам качества выпускаемой продукции и управления технологической наследственностью» посвящена планированию и обеспечению надежности процесса изготовления и сборки мобильных машин. Показано, что методики и результаты прогнозирования надежности и рисков машины следует неразрывно связывать с обеспечением качества при ее тиражировании. Традиционная, применяемая в настоящее время при подготовке производства, модель обеспечения надежности технологического процесса (ТП) изготовления основана на оценке надежности ТП (ГОСТ 27.202, ГОСТ 27.203 и др.) по параметрам качества изготавливаемой продукции - получении статистических данных по невыполнению установленных параметров произведенной продукции. Традиционно надежность технологического процесса – вероятность P_n попадания параметров качества продукции в поле допуска (рисунок 4.1), не связана с риском отказа мобильной машины. Разработанная модель проектирования процесса изготовления (ПИ) серийного и массового производства, в развитие существующей, включает: опережающее планирование качества (включая показатели надежности и безопасности) продукции и процесса изготовления – P_{PQ} , разработку $\{CX\}$, $\{J\}$ как этапов L_{BN} (см. рисунок 2.1); нормирование методов E_{kl} последовательного снятия неопределенности – $P_{PIQ}(t_{i-1}, t_i, t_{i+1})$; идентификацию Θ параметров серьезности последствий $\{C\}$ несоответствия параметров продукции и процесса изготовления их номинальной величине в конструкторско-технологической документации (см. рисунок 2.3); определение приемлемого риска $\{R_Q\}$ – как вероятности несоответствия параметра номинальной величине в связи с серьезностью последствий; проведение обязательного вида контроля и аудитов $\{RP/CP\}$ в зависимости от $\{R_Q\}$ в рамках жизненного цикла

продукции и процессов; анализ опытной $\{ОП(t)\}$ и первой серийной партии $\{СП(t)\}$ по критерию вероятности несоответствия параметров в зависимости от $\{R_Q\}$; оценку M_{ob} в целом измерительной системы $\{MI/DI\}$ в зависимости от $\{R_Q\}$ при апробации опытной партии $\{ОП(t)\}$; совместное планирование вероятности появления несоответствий от идентифицированных причин $M_{7M+R}(t)$; постоянное совершенствование $P_{PQ}(t_{i-1}, t_i, t_{i+1})$ ПИ за счет снижения вариаций, устранения выявленных коренных причин несоответствий параметров, диагностики (аудитов процесса - APc и продукта - APd); адекватное $\{R_Q\}$ планирование способов идентификации и обратной прослеживаемости $\{I/O\}$; регистрацию записей $\{INF/A\}$ по результатам измерения и анализ проблем с ПИ в связи с ходом процесса и состояния объектов управления $M_{7M+R}(t)$ и т.д.; однозначную процедуру и ответственности за управление, анализ данных, планирование мер и реализацию адекватных планов реагирования $\{PR\}$; назначение периодических испытаний продукции.

Установлено, что надежность процесса изготовления $K = F(P_n)$ (4.2) следует рассматривать как вероятность P_n недостижения номинальной величины параметра качества продукции в зависимости от важности $\{C\}$ данного параметра (рисунок 4.1). В качестве входных данных - информационной базы - разработки ПИ кроме традиционных необходимо использовать массив специальных характеристик $\{CX\}$, программу управления качеством продукта $\{J\}_p$. Традиционные этапы проектирования ТП дополняются и реализуются в соответствии с E_{KL} : а) разработкой «карты процесса» $\{KL\}$ - для анализа рисков; б) планированием в программе управления качеством процесса $\{J\}_n$ (опытной партии - $\{J\}_{on}$, серии - $\{J\}_{cn}$), включающее создание адекватных рискам $\{R_Q\}$ планов обратной прослеживаемости, обслуживания и ремонта оборудования, инструмента, анализа метрологической достоверности измерений, обучения персонала, создания требуемых условий среды и т.п.; в) проверкой «опытной партии» для оценки возможности и т.п. процесса, метрологической достоверности на основе опытно-статистических исследований; г) постоянным совершенствованием.

Показано, что разработанная модель планирования и обеспечения надежности процесса изготовления обеспечивает достижение результативности $R_{REZ PIQ(TI)} \Rightarrow \Rightarrow max(4.3)$, при выполнении ограничений $P_R \leq [P_R^*]$ и эффективности планирования надежности процесса изготовления $C_{PIQ(TI)} = R_{REZ PIQ(TI)} / R_{RES PIQ(TI)} \Rightarrow max(4.4)$ при $R_{REZ PIQ(TI)} \geq [R_{REZ PIQ(TI)}]$ (4.5) и $R_{RES PIQ(TI)} \Rightarrow min(4.6)$. Установлено, что вероятностью появления несоответствия процесса изготовления в зависимости от серьезности $\{C\}$ его последствий при реализации целей $P_R \leq [P_R^*]$ можно управлять на основе использования адекватной информации $NI_{NakInf}\{t, b(t), B(t)\}$ о потенциальных свойствах процесса изготовления, путем выбора и назначения адекватных $\{R_Q\}$: обязательных видов контроля - $\{K\Omega_o\}_i$ и $\{K\Omega_{no}\}_I$; планов реагирования $\{PR\}$ (для идентификации, устранения основных $\{\Omega_o\}_I$ и не основных $\{\Omega_{no}\}_I$ причин); аудитов продукта APd и процесса изготовления APc (для диагностики степени дезорганизации S_{Dez} , ошибки динамической памяти $NI_{NakInf}(t)$, флуктуации функций $\Delta \Phi_{Scc}(t)$ сложных систем S_{cc}); целенаправленных внешних воздействий $\{U(t)\}$ - для возврата функции процесса изготовления в требуемые пределы $\Phi_{Scc}(t) \in [\Phi_{Scc}(t)]$ (4.7), при оптимальных затратах на качество $R_{RES PIQ}$. В работе на основе разработанных моделей установлено [1-7, 9, 11, 13-15, 17-19, 22, 23, 25, 26],

что при проектировании технологических процессов следует использовать периодический и приемлемый с позиции «затраты–риск» выбор обязательных видов контроля и аудитов. Указанная модель позволяет назначать виды, объем контроля и статистического регулирования процесса, аудиты продукции и др.



1 – нормальный закон распределения контролируемого параметра процесса изготовления; функции качества: 2 – вероятность попадания в поле допуска, 3 – вероятность достижения номинальной величины в зависимости от серьезности последствий несоответствия

Рисунок 4.1 – Модели соответствия процесса изготовления

Разработанные модели, методы и средства реализованы на практике при проектировании свыше 44 комплектов конструкторско-технологической документации на элементы тормозной системы, привода сцепления, рулевого привода и направляющего аппарата подвески транспортных средств (легковые, грузовые автомобили) на НПО Фенокс. Указанное обеспечило: совершенствование систем технологической подготовки производства; разработку оптимальных вариантов технологических процессов; оптимизацию затрат и достижение требуемой надежности технологических процессов по параметрам качества изготавливаемой продукции, производительности, стоимости; проведение оценки технико-экономического уровня действующих процессов.

Указанное позволяет: многократно уменьшить вероятность появления несоответствий машины, в первую очередь для параметров конструкции с высокой серьезностью последствий – с ppm 3000 до ppm 50 и менее; обеспечивать показатель возможности процесса 1,67 и более; снизить себестоимость от 5 до 30 % (сокращение брака, возвратов продукции и т.п.) и в 1,5–2 раза сроки постановки на производство.

На примере автомобилей МАЗ, МАЗ-MAN исследовано и показано, что причиной возникновения остаточных напряжений первого рода (ОНС) является применяемый в авто- и авиастроении метод упругой сборки. Объектом исследования являлись рамы автомобилей (рисунок 4.2.1). В работе для экспериментального определения ОНС в элементах (в зонах зарождения усталостных трещин), а также внутренних силовых факторов в крепеже использовался разработанный метод на основе тензометрии. Расчетное определение ОНС осуществлялось с помощью метода, созданного на основе МКЭ. В работе решался ряд задач: а) исследование ОНС, возникающих в раме при ее сборке согласно технологическому процессу, релаксация в результате циклического нагружения конструкции, в том числе и при наличии в ней локальных повреждений; б) исследование конструкций рам с рекомендуемыми длинами внутренних поперечин, а также формой и расположением их кронштейнов (рисунок 4.2.1) с целью создания сжимающих ОНС в зонах зарождения трещин; в) разработка методики определения ВСФ, возникающие в крепеже от сборки; г) совершенствование методики расчета для моделирования различных вариантов (рисунок 4.2.2-4.2.6) величин ОНС и ВСФ в сборных конструкциях; д) разработка для проектирования типовых технологиче-

ских процессов методик, алгоритмов создания и оптимизации, в том числе технико-экономической, ОНС в конструкции за счет изменения размеров, формы и расположения входящих элементов.

На основании анализа результатов исследований установлено: а) ОНС на кромках полок и нормальные осевые напряжения на стенках у отверстий лонжеронов достигают величин рабочих, деформации элементов конструкции определяются как геометрией лонжеронов, так и поперечин, а варьирование последним и приводит к сложному перераспределению ОНС и позволяет выявить как наиболее неблагоприятные с позиции циклической долговечности, так и рекомендуемые сочетания; б) в раме, после циклических испытаний, ОНС не релаксируют до нуля и при этом достигают величин рабочих напряжений как на неповрежденных полках и стенках лонжеронов у отверстий – зоны концентрации напряжений, так и в зоне распространения трещин; в) в потенциальных зонах зарождения трещин возможно создание благоприятных сжимающих напряжений, при этом нет необходимости ужесточать допуски на поперечины, а следует задавать в требуемых локальных областях зазоры между стыкуемыми поверхностями лонжеронов и поперечин; г) наибольшие растягивающие усилия и моменты в крепеже соединения полок достигают 25 Нм. Подтверждена адекватность предложенных в работе методик и расчетов МКЭ.

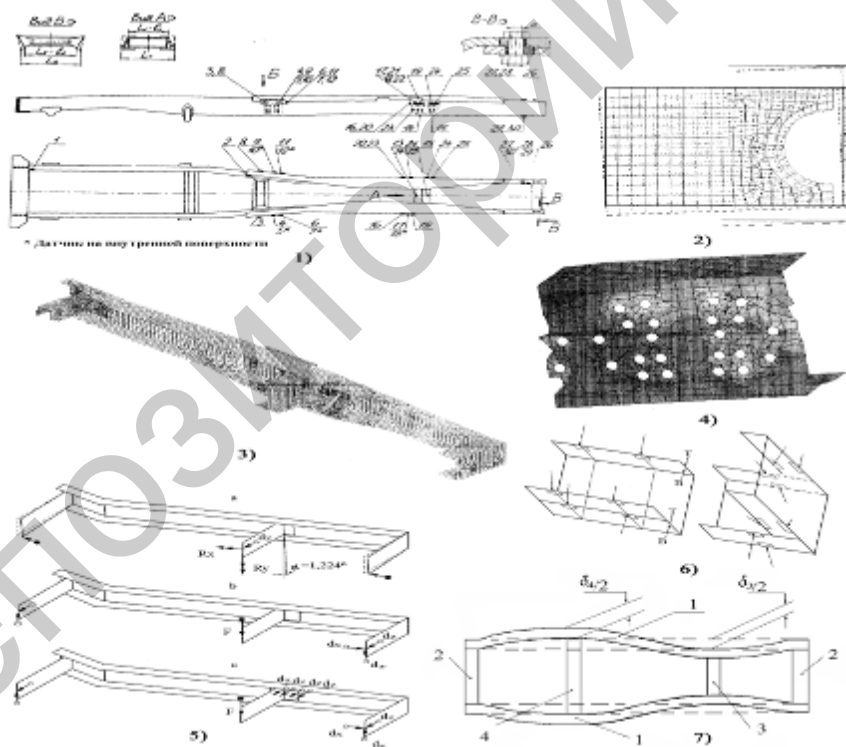


Рисунок 4.2 – Схемы экспериментального исследования и расчетные конечно-элементные модели для оптимизации остаточных напряжений в сборных несущих конструкциях

Показано, что при планировании и прогнозировании циклической долговечности сборных конструкций, необходимо учитывать и управлять ОНС. Для снижения в сборных несущих конструкциях величин ОНС разработаны способы их релаксации [106] и сборки для обеспечения создания сжимающих напряжений в по-

тенциальных зонах повреждений [108, 109]. Выбор варианта сборки осуществляется по критерию оптимизации – наибольшей величине

$$I = \sum_{i=1}^n C_i \left(\frac{\sigma_{ai} - [\sigma_{ai \min}]}{[\sigma_{ai \min}]} \right) + \sum_{j=1}^k C_j \left(\frac{\sigma_{aj} - [\sigma_{aj \min}]}{[\sigma_{aj \min}]} \right), \quad (4.8)$$

где i, j - число типичных зон разрушения, лимитирующих и не лимитирующих долговечность конструкции; σ_a - значение предела выносливости зоны, полученное в результате варианта сборки; σ_{\min} - минимальное значение предела выносливости зоны, обеспечивающее требуемую долговечность конструкции; C_i, C_j - весовые коэффициенты приоритета для каждой зоны, причем

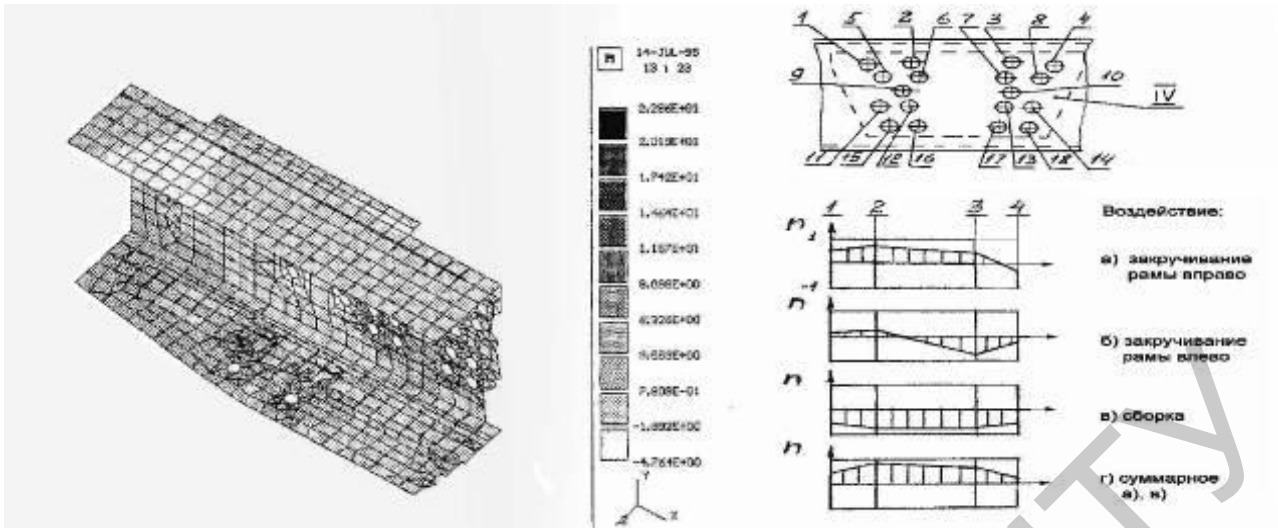
$$\begin{aligned} \sigma_{ai} - [\sigma_{ai \min}] &\geq 0 \\ \sigma_{aj} - [\sigma_{aj \min}] &\geq 0 \end{aligned} \quad (4.9)$$

Для реализации способа разработаны алгоритмы и программное обеспечение, методика оценки экономической эффективности на основе критерия «ресурс конструкции - трудоемкость изготовления». В результате исследований для сборных рамных конструкций мобильных машин: а) разработан комплекс методов, средств по экспериментальному и расчетному МКЭ исследованию ОНС, ВСФ; б) предложены новые технологические способы стабилизации и оптимизации влияния технологической наследственности на долговечность сборных конструкций мобильных машин; в) получены данные для разработки типовых технологических процессов сборки, позволяющие повысить ресурс несущей конструкции.

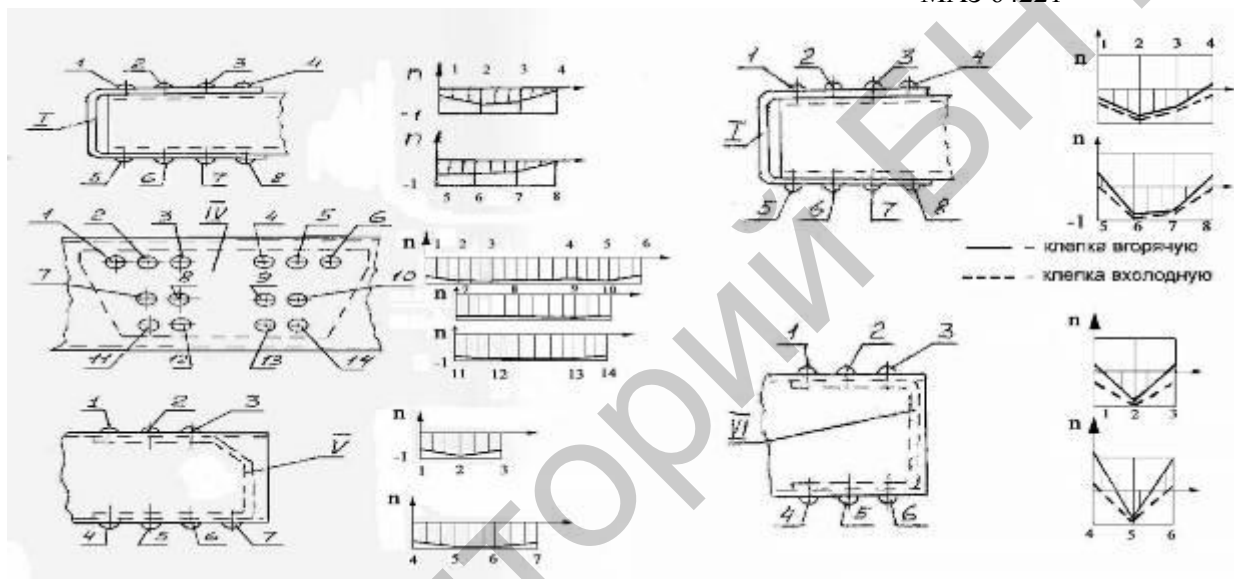
Разработанные методики и программное обеспечение позволило повысить точность оценки НДС в 1,1–1,7 раза, сократить затраты и сроки экспериментальной оценки ОНС для обоснования принятия решения о выборе технологических вариантов в 1,5–2 раза. Проведенное прогнозирование ресурса (на примере автомобилей МАЗ) свидетельствует, что приемлемые для создания (порядка 100 МПа) остаточные сжимающие напряжения в опасных зонах несущих элементов могут – повышать ресурс на 21-58%, а аналогичной величины растягивающие – снижать ресурс на 33–39 %. Использование на ОАО МАЗ предложенных способов управления технологической наследственностью позволяет на основе технико-экономического анализа – «затраты–ресурс» ресурсосберегающим способом повысить циклическую долговечность рамы транспортного средства в 1,2–1,6 раз.

Пятая глава «Разработка и освоение в производстве методов моделирования нагруженности, прогнозирования ресурса и оценки рисков конструкций мобильных машин» посвящена разработке и освоению в производстве при проектировании и изготовлении методов моделирования нагруженности, прогнозирования ресурса и оценки рисков конструкций мобильных машин с учетом влияния конструкторско-технологических факторов и надежности технологического процесса изготовления. Показано, что в процессе планирования показателей надежности и безопасности P_{PQ} на этапах анализа и проверки результатов проектирования следует выполнять прогнозирование и оценку соответствия параметров конструкции, процессов изготовления установленным требованиям и рисков.

В работе на примере автомобилей МАЗ, МАЗ-MAN (рисунок 5) разработаны критерии достижения предельного состояния несущей конструкции машины.

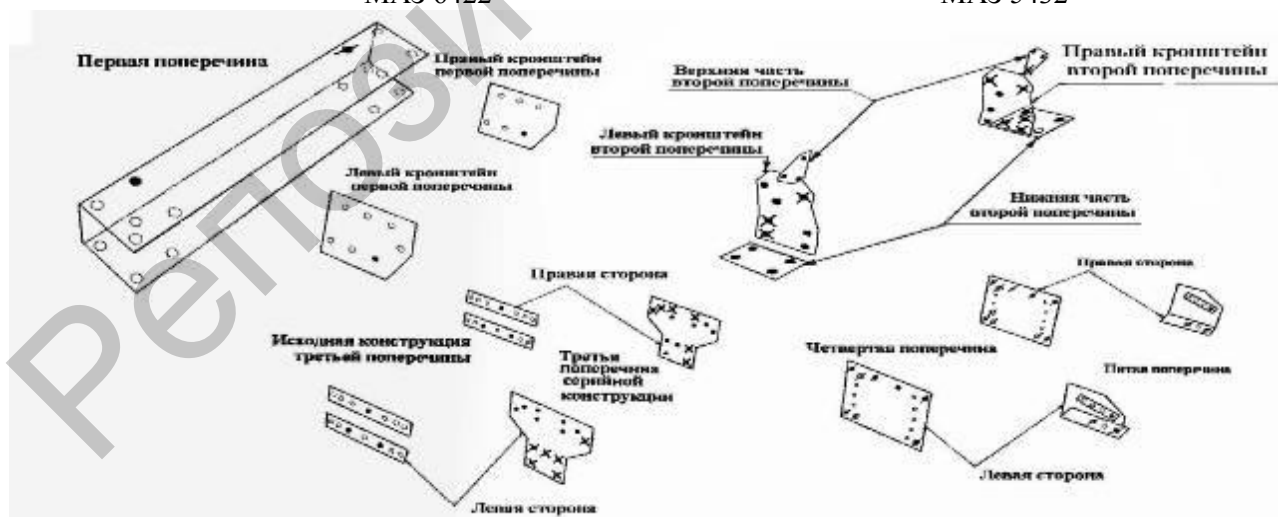


MA3 64221



MA3 6422

MA3 5432



MA3 54421

n – коэффициент перегрузки крепежа; затемненные точки – болты, незатемненные – заклепки; перечеркнутые один раз точки – «перегруженный» крепеж, дважды – «перегруженный» крепеж, разрушенный при проверочном испытании

Рисунок 5 – Результаты расчета НДС в несущих элементах; прогноз надежности крепежных деталей (заклепок и болтов) рам автомобилей

Рекомендовано нормировать ее «безотказность». Для сборной конструкции - «жесткость» $G = f(h_i, n_i)$ (5.1) (где h_i и n_i - соответственно геометрические характеристики сечения и количество крепежа в стыке) - интегральный параметр – критерий достижения ее безотказности. При этом $G_o = [G] + \Delta G$ (5.2), где $[G]$ и ΔG - соответственно требуемое предельное (минимальное) значение жесткости и запас жесткости обеспечивающий живучесть конструкции. Разработана методика, позволяющая учитывать при прогнозировании и оценке надежности и безопасности множество одновременно действующих процессов-причин (усталость, фреттинг-усталость, ослабление соединений, разрушение крепежа и т.д.) повреждения, приводящих в эксплуатации при случайном многовекторном нагружении к потере предельного состояния несущей конструкции.

Разработана методика анализа результатов выполнения требований к несущей конструкции, включающая: а) структурирование в начале конструкции, затем функций; б) проведение анализа «дерево несоответствий – дерево причин»; в) прогнозирование вероятности появления каждой причины несоответствия параметров (с учетом серьезности последствий и вероятности обнаружения при контроле) и сравнение с требуемой; г) идентификацию и оценку рисков $\{R_Q\} \supset (\{C\}, \{O\}, \{D\})$; д) оптимизацию $C_{PIQ} \Rightarrow \max$ экономических последствий несоответствий ТТС и затрат на коррекцию.

Показано, что решение при оптимизации ТТС принимается на основе предложенной (см. рисунок 2.4) модели эффективности планирования качества – затрат на качество, надежность и безопасность R_{RESPIQ} . Установлено, что при реализации методики следует использовать базы данных и знаний, полученные в результате исследований, в том числе и характеристик процессов нагружения, повреждений, и разработанные модели: нормирования надежности и безопасности, управления в машиностроительном производстве, планирования надежности и безопасности в жизненном цикле; оценки нагруженности и процессов накопления повреждений в зависимости от влияния конструкторско-технологических факторов; управления надежностью процесса изготовления и сборки. Исходными данными для реализации методики анализа являлись: значения $R^*_{RESQF}(t)$, $R^{**}_{RESQF}(t)$ – фактических и потенциальных потерь из-за несоответствий параметров; адекватная классификация и идентификация Θ на последовательных этапах L_{BN} (для всех уровней детализации) рисков – $\{R_Q\} \supset (\{C\}, \{O\}, \{D\})$, где $\{C\}$, $\{O\}$, $\{D\}$ – серьезность последствий несоответствия параметров, вероятности его возникновения и обнаружения; заданные значения показателя FMEA-анализа для продукта (процесса изготовления) – [RPN]; планируемое количество несоответствий параметров – [PPM]. На основе проведенных исследований, созданных моделей, полученных параметров и зависимостей разработаны и на примере сборных несущих конструкций мобильных машин внедрены методики «анализа» и «проверки» результатов проектирования. Методика включает: а) формирование блоков нагружения конструкции, имитирующих воздействие нормированного технологического цикла работы машины; б) анализ НДС несущих элементов, ВСФ в крепеже по итогам расчета МКЭ и измерения; в) измерение НДС, оценка ХСУ зон повреждений, ВСФ в крепеже с учетом влияния КТФ методом локального моделирования и использования базы данных; г) анализ НДС зон повреждения по итогам расчета МКЭ локальных моде-

лей на вид воздействия приводящего к повреждению; оценка чувствительности КЭ-модели k_s , для последующей корректировки блока нагружения зоны повреждения; расчет допускаемых значений пирамиды внутренних силовых факторов в крепеже - n , коэффициента запаса крепежа по нагрузке - n_z ; д) анализ НДС зон повреждений несущего элемента, ВСФ в крепеже по итогам расчета МКЭ и измерения ОНС для дальнейшего управления технологической наследственностью; е) схематизация и приведение процессов нагружения опытного образца потенциальных и типичных зон повреждений с переменным коэффициентом асимметрии цикла нагружения R к эквивалентному по повреждению симметричному (с использованием трехпараметрического распределения Вейбулла). При этом используются данные по ХСУ, полученные на основе предложенной иерархии моделей (см. рисунок 3.1); ж) представление полученных процессов в виде вариационных рядов. Составление блока нагружения для каждой интересующей зоны повреждения; з) формирование обобщенных блоков нагружения для каждой интересующей зоны повреждения для ездового цикла (режима ФРИ и т.п.); и) расчет циклической долговечности по нескольким гипотезам суммирования усталостных повреждений (линейной, скорректированной и с учетом снижения предела выносливости); к) расчет перегрузки крепежа n , n_z ; л) циклические испытания натурной конструкции на заданный блок нагружения; м) расчетная (МКЭ) и экспериментальная оценка глобальной и локальной жесткости конструкции «не имеющей» и «имеющей повреждения», сравнение с критериями предельного состояния G_o , $[G]$, ΔG – «входными проектными данными»; н) оценка серьезности последствий $\{C\}$ появления несоответствий параметров; о) анализ функций качества и поиск причин возникновения несоответствий параметров путем последовательного построения «дерева конструкции – функций – дефектов – причин»; п) оценка вероятного количества несоответствий параметров, исходя из предположения, что каждая причина приведет к возникновению несоответствия (критерии несоответствия – не достижение заданного среднего ресурса, гарантийной наработки и т.д.). При допущении о нормальном распределении параметров установлено, что количество несоответствий конструкции определяется как $U = (X_n - \bar{X}_i) / S_i$ (5.3), где X_n – граничные значения нормируемого параметра (средний ресурс, гарантийный пробег и т. д.); \bar{X}_i – среднее значение ресурса; S_i – стандартное отклонение; р) в результате прогнозирования на этапе анализа, либо оценки проекта машины при наличии опытного образца получаем $\{O\}$ для каждой i -той зоны: \bar{X}_i ; S_i ; PPM_i ; RPN_i . Далее осуществляется проверка выполнимости условий $PPM_i \leq [PPM]$ (5.4), и с учетом серьезности последствий $\{C\}$ и вероятности обнаружения при контроле (диагностике в эксплуатации) $\{D\}$ $RPN_i \leq [RPN]$ (5.5); с) анализ потенциальных затрат и потерь, связанных с качеством, надежностью и безопасностью $R^*_{RES Q F}(t)$, $R^{**}_{RES Q F}(t)$. Далее осуществляется принятие решения: о соответствии конструкции требованиям; необходимости корректировки как «проекта конструкции» машины (например, учет влияния на циклическую долговечность шероховатости поверхности, зазора, хим. состава материала детали и т.п.), так и «проекта процесса изготовления» (наследственность, надежность технологического процесса и т.п.); уточнение требований к поставщикам (снижение рассеяния характеристик соот-

ветствия комплектующих и т.п.); о резервирование ресурсов на рекламации, акции по отзыву и т.п.; об экономической нецелесообразности совершенствования.

Процедура прогнозирования, оценки ресурса, рисков несоответствий несущих элементов и соединений реализована на ПЭВМ на примере серии двух- и трехосных седельных тягачей, самосвалов (см. исунок 5). Моделировался режим эксплуатационного нагружения, а также предварительное напряженное состояние – технологическая наследственность (см. рисунок 4.2). Анализ результатов прогнозирования, оценки ресурса и рисков свидетельствует о приемлемой достоверности моделей и полученных зависимостей.

Разработанный комплекс методик прогнозирования ресурса несущих элементов, крепежных соединений и анализа рисков конструкции в целом на этапе «анализа проекта», а также оценки ресурса конструкции на этапе «проверки проекта» (см. рисунок 2.1) позволяет: оценивать вероятное количество несоответствующих машин в эксплуатации с учетом серьезности возможных последствий, как для потребителя, так и производителя; достигать отказа для несоответствий с высокой степенью серьезности последствий - до практически невероятного события и с незначительной степенью - до приемлемой; при заданных ресурсных ограничениях (себестоимости) максимально удовлетворять требования потребителя; создавать системы «равной удовлетворенности потребителя»; осуществлять неразрывную связь анализов экономической эффективности организации и показателей надежности, безопасности при проектировании и подготовке производства. Разработанный комплекс методов и средств позволяет: сократить длительность и затраты на процесс прогнозирования и оценки ресурса конструкций на 30–50 %; повысить на 15–65 %, достоверность оценок за счет идентификации потенциальных рисков и использования адекватных данных о нагруженности (зон нерегулярности несущих элементов, крепежных деталей) и сопротивлении повреждению, учета конструкторско-технологических факторов.

Разработанные модели, методы и средства нормирования, планирования и обеспечения надежности и безопасности машин и процессов их изготовления внедрены в 10 странах СНГ, в том числе на 15 предприятиях республики. На 01.01.2008г. в республике результаты работы применены при проектировании разработке конструкторско-технологической документации (КТД), испытательного оборудования (более 10 единиц), постановке на производство и совершенствовании: мобильных машин, в том числе разработаны 28 комплектов ТУ и соответствующих КТД ОАО МАЗ, СП МАЗ-MAN (самосвалы, тягачи, грузовые автомобили, полноприводные автомобили, автобусы); компонентов для автотранспортных средств (тормозные системы, трансмиссия, подвеска, рулевой привод), в том числе 28 комплектов ТУ и КТД на 15 предприятиях республики. На НПО Фенокс разработано 7 ТУ, свыше 63 комплектов КТД, 17 единиц измерительного и испытательного оборудования. Результаты работы использованы при разработке и введении в действие обязательных с 1997 года для выполнения 6–и государственных (СТБ) и межгосударственных стандартов (ГОСТ). Начиная с 1997 г. и по настоящее время свыше 40 % наименований комплектующих и запасных частей для автотранспортных средств, подлежащих сертификации в республике проектируются, производятся и испытываются в соответствии с разработанными стандартами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Разработаны научные основы системного планирования и обеспечения надежности, безопасности мобильных машин, процессов их изготовления, отличающиеся использованием предложенного критерия достижения приемлемого риска соответствия требованиям технических и технологических систем, методами расчетно-экспериментального прогнозирования и оценки конструкции и процессов на этапах разработки, проектирования, изготовления и эксплуатации при оптимизации затрат на надежность и безопасность, что позволяет управлять достижением приемлемых рисков продукции и процессов с r_{pm} 3000 до r_{pm} 50 и менее, снижает требуемое время в 1,5–2 раза и затраты на 30–50 %.

Установлено, что результативное и эффективное планирование и обеспечение надежности и безопасности мобильных машин следует выполнять с использованием системы моделей: на макроуровне (нормы надежности и безопасности; управление в машиностроительном производстве; управление проектами жизненного цикла мобильной машины); при анализе конструкции мобильной машины (множественные отказы функционирования; массивы зон разрушений; множество механизмов повреждений; влияние конструкторско-технологических факторов); при анализе технологических процессов изготовления (множественные отказы процесса и объектов управления: материал, оборудование, методы, инфраструктура; персонал и др.); вероятностного управления рисками для оптимального доведения их величин до приемлемых на макроуровне, на уровнях конструкции и процессов изготовления [1-121].

2. Обосновано, экспериментально подтверждено и показано, что для повышения эффективности использования норм надежности и безопасности для мобильных машин следует реализовывать законы управляющих воздействий. К таким законам относятся: изменение требований целевой функции нормирования и заданного минимально допустимого риска; взаимосвязанное изменение требований структуры: конфигуратор (транспортная система) – система (мобильная машина) – продукция (сборочная единица, деталь, материал); взаимосвязанное изменение причин и следствий для множественных отказов: «дерево функций» (конструкция, процесс изготовления) – «дерево дефектов» – «дерево причин»; изменение стадий жизненного цикла – «конфигуратор – система – продукция», массивов появления неблагоприятных событий, видов, методов, блоков испытаний конструкции, процесса изготовления и цепи статистических доказательств от приемлемости риска. В соответствии с выбранной методологией управления разработаны модели, алгоритмы создания норм надежности и безопасности для мобильных машин (тормозная система, рулевое управление, подвеска, трансмиссия, несущие элементы и т.п.) и процессов их изготовления, что позволило эффективным образом обеспечить снижение рисков аварий мобильных машин в 1,1–1,25 и более раз [2-6, 11, 13,17,19, 22-24, 26-29, 31, 32,41-42, 47-49, 51- 55, 59-66, 74, 76, 89-98, 103, 104, 112-121].

3. Установлено и экспериментально подтверждено, что для повышения эффективности обеспечения надежности и безопасности мобильных машин необходимо

реализовывать законы управления в машиностроительном производстве. К таким законам относятся: изменение требований целевой функции машиностроительного производства и заданного минимально допустимого риска несоответствия его результатов; взаимосвязанное изменение показателей целевой функции, свойства самоорганизации, внешнего управляющего действия, показателей функционирования производства, проектов создания технических и технологических систем и эффективности; изменение показателей эффективности функционирования и системы вероятностно-детерминистических упорядоченных элементов повторяющейся деятельности машиностроительного производства; изменение показателей эффективности, приемлемости рисков, ресурсов, используемых на предупреждение, контроль несоответствий и потери в производстве, и видом адаптации системы управления в машиностроительном производстве. В соответствии с выбранной методологией управления разработаны модели, методы, средства и алгоритмы создания системы управления в машиностроительном производстве для обеспечения надежности и безопасности мобильных машин, что позволило эффективным образом обеспечить снижение вероятности несоответствий техническим требованиям в 10 и более раз [2-6, 11, 13, 17, 19, 22-24, 26-29, 31, 32, 41-42, 47-49, 51-55, 59-66, 74, 76, 89-98, 103, 104, 112-121].

4. Обосновано, экспериментально подтверждено, что для повышения эффективности достижения надежности и безопасности мобильных машин необходимо реализовывать законы управления в жизненном цикле создания технических и технологических систем. К таким законам относятся: изменение показателей конструкции, процессов изготовления и применяемой системы вероятностно-детерминистических упорядоченных элементов повторяющейся деятельности в рамках проекта, а также системы достижения приемлемых рисков в массивах планов анализа и испытаний («опытный образец», «опытная партия», «серийное производство», «улучшение»); изменение показателей эффективности планирования и используемой системой идентификации рисков на этапах жизненного цикла машины для управления вероятностью их возникновения и обнаружения; изменение степени адекватности идентификации рисков и используемой базой данных; изменение результативности и эффективности обеспечения надежности и безопасности технических и технологических систем и степени доведения вероятности появления каждой из причин появления каждого из идентифицированных рисков до приемлемого на этапах создания мобильной машины путем снижения вариаций, устранения обнаруженных и предотвращения потенциальных причин; изменение показателей эффективности достижения рисков и распределением ресурсов, используемых на предупреждение, контроль несоответствий и потери производства. В соответствии с выбранной методологией управления разработаны модели, методы, средства и алгоритмы системы управления созданием мобильных машин для обеспечения их надежности и безопасности, что позволило эффективным образом обеспечить снижение вероятности не выполнения технических требований в 100 и более раз, сокращение требуемого времени для создания новой машины в 1,5–2 раза и требуемых ресурсов на 30–50 %.[2-6, 11, 13, 17, 19, 22-24, 26-29, 31, 32, 41-42, 47-49, 51-55, 59-66, 74, 76, 89-98, 103, 104, 112-121].

5. На основе математического моделирования и экспериментальных исследований получены вероятностные зависимости характеристик циклического повреждения сборных несущих конструкций мобильных машин, учитывающие многовекторное циклическое нагружение, наличие массивов и иерархию разрушений, множество механизмов и процессов повреждений (усталость, фреттинг-усталость, ослабление и разрушение соединений), влияние конструкторско-технологических факторов и технологических процессов сборки машин, а также критерии предельного состояния несущей конструкции (жесткость), обеспечивающие выбор оптимальных параметров элементов конструкции и технологических процессов изготовления, повышение сопротивления повреждению (предел выносливости, в зависимости от вида, зоны зарождения трещины, конструкции и технологии сборки соединений) на 10–30 % и точность прогнозирования ресурса на 20–60 %, требуемых затрат 2–3 раза. [2, 4, 8, 10, 12-19, 21, 22, 27, 31-34, 38-40, 43-44, 46-49, 58, 59, 66, 70-73, 75, 80-84, 99-101, 105, 107, 110, 111]

6. Установлены закономерности влияния конструкторско-технологических факторов и процесса сборки на напряженно-деформированное состояние пространственных несущих конструкций, предложены критерии эффективности оптимального повышения ресурса, показано, что циклической долговечностью можно управлять с учетом множества зон и различных механизмов накопления повреждений (усталость, фреттинг-усталость, ослабление и разрушение соединений). Экспериментально–расчетным путем доказано, что предложенные методы и средства обеспечивают: повышение точности оценки напряженно-деформированного состояния в 1,7 раза; сокращение затрат на экспериментальную и расчетную оценку остаточных напряжений в несущих конструкциях в 1,5–2 раза; разработку типовых технологических процессов сборки основных несущих конструкций; увеличение ресурса на 20–60 %. Разработаны алгоритмы моделирования технологических процессов сборки несущих конструкций мобильных машин, базируются на основных положениях и критериях эффективности достижения циклической долговечности конструкций с множеством зон и различными механизмами накопления повреждений. Предложены методы и средства управления остаточными напряжениями для конструкций с множественными отказами [2,3, 10, 12, 14-16, 20, 21, 25, 26, 30, 31, 39, 40, 43, 44, 46, 50, 57, 58-60, 67, 69, 85, 88, 106, 108, 109, 118].

7. Выявлены теоретические и экспериментальные зависимости взаимосвязи характеристик нагруженности с сопротивлением повреждению, разработаны модели, методы и средства прогнозирования надежности, оценки риска несоответствия показателей безопасности и надежности мобильных машин, отличающиеся системой нормирования показателей надежности и безопасности конструкции и процессов изготовления, методами расчетных и экспериментальных исследований многовекторного эксплуатационного нагружения, массивов зон разрушения и множества механизмов повреждений (усталость, фреттинг-усталость, разрушение соединений) с учетом критериев адекватности физических и математических моделей, влияния конструкторско-технологических факторов и степени риска отказов на стадии проектирования конструкции и технологических процессов изготовления. Предложенный комплекс моделей, методов, технологий и средств позволяет обеспечить: сокращение длительности и требуемых затрат на прогнозирование

и оценку циклической долговечности особо ответственных узлов мобильных машин на 30–50 %; повысить обоснованность и достоверность оценки на 15–65 %. [1-4, 7-26, 28-50, 55-62, 64, 66-88, 97- 102, 105-111, 118, 121].

Рекомендации по практическому использованию результатов

Разработанные модели, технологические процессы, методы и средства реализованы в производстве при системном планировании и обеспечении требуемого уровня надежности и безопасности в процессе проектирования и изготовления мобильных машин (несущие конструкции, элементы тормозной системы, рулевого привода, подвески, трансмиссии и др.). Модели, методы и технологические процессы, средства планирования, обеспечения надежности и безопасности мобильных машин внедрены в 10 странах СНГ, в том числе использованы на 15 предприятиях республики при постановке продукции на производство, совершенствовании технологических процессов изготовления и разработки конструкторско-технологической документации узлов для моделей мобильных машин (самосвалы, седельные тягачи, грузовые и полноприводные автомобили, автобусы, легковые автомобили) на ОАО МАЗ, СП МАЗ-MAN, НПО Фенокс, ПО БелаАЗ и др.

Разработано и внедрено в республике и СНГ 6 государственных и межгосударственных стандартов. Свыше 40 % наименований изделий и узлов для автотранспортных средств республики проектируются, изготавливаются и испытываются в соответствии с разработанными моделями и стандартами.

Предложенные модели нормирования надежности и безопасности конструкций, планирования и оценки стабильности процесса производства машин, технологических процессов использованы при разработке 28 технических условий на изготовление продукции, свыше 63 комплектов конструкторско-технологической документации и 17 единиц испытательного оборудования. [1-26, 28, 29, 32, 35, 37, 41, 46, 47, 48, 55, 60-66, 74, 76, 78, 89-95, 98, 103,104,112-121]. Экономический эффект результатов работы при создании *критической технологии* – обеспечения технического уровня и надежности мобильных машин, в том числе разработке процессов, производств, методов и средств расчетов и испытаний, повышения экспортного потенциала промышленности, снижения затрат и сроков на разработку, подготовку производства и испытания, уменьшения рисков аварий составил более 10 млн. долл. в ценах 2008 года.

Разработанный на базе предложенной методологии системного планирования и обеспечения надежности и безопасности машин комплекс моделей, методов и средств проектирования, изготовления, испытаний конструкций и процессов изготовления машин может быть применен при производстве тракторов, комбайнов, подъемно-транспортных и дорожных машин, вагонов, станков и станочного оборудования, средств измерений, а также использован при подготовке научных и инженерных кадров, техников и рабочих.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

Монографии

1. Панов, А.Н. Основы системы менеджмента качества машиностроительного предприятия / В. И. Арбузов, Ж. А. Мрочек, А. Н. Панов, В. Л. Хартон. – Мн.: Технопринт, 2000. – 280 с.

2. Горбацевич, М.И. Проектирование транспортных средств: нагруженность, повреждение, ресурс: Монография/ М.И. Горбацевич, А.Н. Панов, С.М. Минюкович; Под общей ред. А.Н. Панова. – Мн.: «Технопринт», 2005г.-264 с.:ил.

Статьи в журналах

3. Панов, А.Н. Методологические основы эффективного управления системой качества машиностроительного предприятия/А.Н.Панов// Новости. Стандартизация и сертификация. – 1998. – №5. – С. 13-18.

4. Панов, А.Н. Выбор, обоснование и нормирование параметров безопасности элементов транспортных средств/А.Н.Панов// Техника. Экономика. Организация. – 1999. - №3. – С. 24-27.

5. Панов, А. Н. Стандарты в машиностроении: концепция разработки/А.Н.Панов // Техника. Экономика. Организация. – 1999. - №4. – С. 12-15.

6. Панов, А. Н. Оптимизация затрат на качество/А.Н.Панов // Техника. Экономика. Организация. – 2000. - №1-2. – С. 30-32.

7. Панов, А.Н. Модель менеджмента машиностроительного предприятия/ А.Н.Панов // Стандарты и качество. –2002 , №1 -С. 54-58.

8. Панов, А.Н. Прогнозирование надежности машин на этапе анализа проекта/А.Н.Панов // Вестник МГТУ им. Н.Э.Баумана. Сер. «Машиностроение» –2002 , №4 -С. 45-51.

9. Панов, А.Н. Менеджмент машиностроительного предприятия/ А.Н. Панов // Вестник машиностроения. –2002 , №8 -С. 59-62.

10. Панов, А.Н. Системное моделирование повреждений несущих элементов машин/А.Н.Панов // Тракторы и сельхозмашины –2002, №11 -С. 40-42.

11. Панов, А.Н. Концепция разработки стандартов, регламентирующих требования безопасности машиностроительной продукции/А.Н.Панов // Стандарты и качество. –2002 , №9 -С. 20-24.

12. Панов, А.Н. Несущие системы грузовых АТС: Прогнозирование ресурса/А.Н.Панов // Автомобильная промышленность –2003, №3 -С. 14-16.

13. Панов, А.Н. Проблемы контроля машин. Теоретические и практические аспекты стандартизации безопасности/А.Н.Панов // Контроль. Диагностика –2003, №4 -С. 55-68.

14. Панов, А.Н. Анализ прочности сборной несущей конструкции/ А.Н. Панов // Тракторы и сельхозмашины –2003, №3 - С. 39-45.

15. Панов, А.Н. Несущие системы грузовых АТС: Прогнозирование ресурса/А.Н.Панов // Автомобильная промышленность –2003, №4 -С. 14-21.

16. Панов, А.Н. Прогнозирование ресурса несущих конструкций транспортных средств/А.Н.Панов // Известия вузов –2003 , №1 - С. 17-31.

17. Панов, А.Н. Система менеджмента, планирование качества, затраты на качество деятельности – фундамент качества, надежности и безопасности в авто-

транспортном комплексе/А.Н.Панов /International Journal of Vehicular Technology. 2002, ISSN 1682-9832, IJVT 0201105. -8 С.

18. Панов, А.Н. Анализ проекта несущей конструкции транспортного средства/А.Н.Панов /International Journal of Vehicular Technology. 2002, ISSN 1682-9832, IJVT 0201103.- 6 С.

19. Панов, А.Н., Лаздин В.П., Рогожин С.В. Безопасность машин. Проблемы развития стандартизации/А.Н.Панов // Подъемные сооружения. Специальная техника. –2003 , №4 –С. 23.

20. Панов, А.Н. Сборные несущие конструкции. Управление остаточными напряжениями/А.Н.Панов // Сборка в машиностроении, приборостроении –2003, №4 - С. 34-38

21. Панов, А.Н. Определение напряженно-деформированного состояния сборных несущих конструкций на этапах жизненного цикла/ Панов А.Н., Горбацевич М.И., Минюкович С.М. // Сборка в машиностроении, приборостроении –2004, №4 - С. 30-35.

22. Панов, А.Н. Эффективный менеджмент и качество. Адекватная теория – успешная практика./ Панов А.Н., Осмола И.И., Сушня Н.А. // Вестник машиностроения - №8 -2007 –С. 77-83.

23. Панов, А.Н. Обеспечение качества продукции, безопасности труда и экологии. Эффективное распределение ответственности и полномочий./ Осмола И.И., Панов А.Н. // Контроль и диагностика–№11-2007-С. 64-76.

24. Панов, А.Н. Инновационные подходы в нормировании. / Сушня Н.А., Осмола И.И., Панов А.Н. //Стандартизация №4 -2007-С. 38-43

25. Панов, А.Н. Обеспечение надежности процессов изготовления компонентов транспортных средств/ Панов А.Н. // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Прикладные науки. 2008. №2 С.21-24.

26. Панов, А.Н. Обеспечение показателей качества, охраны труда и экологической безопасности в процессах изготовления машин/ А.Н. Панов, И.И. Осмола, И.В. Шкадрцов// Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Прикладные науки. 2009. №2 С. 93-98.

Депонированные статьи, статьи в сборниках научных трудов и материалах конференций

27. Панов, А.Н. Оценка характеристик сопротивления усталости рам транспортных средств на основе исследования локальных моделей./ Панов А.Н., Горбацевич М.И. // Сборник сообщений 4-го Уральского семинара по проблемам проектирования неоднородных конструкций. / Ур. отд. АН СССР. – Миасс, 1990г. - С. 174-181.

28. Панов, А.Н. Параметры безопасности деталей и узлов автомобиля. Нормирование / Панов А.Н.// Ин-т надежности машин НАН Беларуси. – Мн., 2000. – 7 с. – Деп. в БелИСА 22.02.2000, № Д200012 // Реферативный сборник. – 2000. - № 15. – С. 105.

29. Панов, А.Н. Модель стандартизации безопасности в автомобилестроении / Панов А.Н.// Ин-т надежности машин НАН Беларуси. – Мн., 2000. – 11 с. – Деп. в БелИСА 22.02.2000, № Д200013 // Реферативный сборник. –2000. – № 15.– С. 104.

30. Панов, А.Н. Методика расчета для создания благоприятного распределения остаточных напряжений в сборных несущих конструкциях транспортных средств/ Панов А.Н. // Ин-т надежности машин НАН Беларуси. – Мн., 2000. – 22 с. – Деп. в БелИСА 21.07.2000, № Д200051 // Реферативный сборник. – 2000. – № 18. – С. 102.

31. Панов, А.Н. Оценка характеристик сопротивления усталости и моделирование напряженно-деформированного состояния зон разрушений рамы с учетом различных механизмов повреждения. Нормирование оценок и моделей. / Панов А.Н.// Ин-т надежности машин НАН Беларуси. – Мн., 2000. – 27 с. –Деп. в БелИ-СА 25.07.2000, № Д200052 // Реферативный сборник. – 2000. – № 18. – С. 102.

32. Панов, А.Н. Оценка вероятности несоответствий установленным требованиям несущих конструкций транспортных средств/ Панов А.Н.// Ин-т надежности машин НАН Беларуси. – Мн., 2000. – 30 с. – Деп. в БелИСА 25.07.2000, № Д200053 // Реферативный сборник. – 2000. – № 18. – С. 102.

33. Панов, А.Н. Прогнозирование ресурса сборной несущей конструкции до появления ее в металле при учете различных механизмов и множества зон повреждений / Панов А.Н.// Ин-т надежности машин НАН Беларуси. – Мн., 2000. – 40 с. – Деп. в БелИСА 25.07.2000, № Д200054 // Реферативный сборник. – 2000. – № 18. – С. 103.

34. Панов, А.Н. Моделирование многокомпонентного стенового нагружения несущей конструкции транспортного средства. Нормирование моделирования / Панов А.Н.// Ин-т надежности машин НАН Беларуси. – Мн., 2000. – 27 с. Деп. в БелИСА 25.07.2000, № Д200055 // Реферативный сборник. – 2000. – № 18. – С. 103.

35. Панов, А.Н. Модель и реализация всеобщего управления качеством (TQM) на машиностроительном предприятии. Теория и практика / Панов А.Н.// TQM – 2000: Сб. материалов 10-ой Междун. конф. по менеджменту качества / ЗАО «ТКБ Интерсертифика». – Москва, 2000. – С. 68-72.

36. Панов, А.Н. Информационные системы – основы модели предприятия XXI века / Панов А.Н.// TQM –2000: Сб. материалов 10-ой Междун. конф. по менеджменту качества / ЗАО «ТКБ Интерсертифика». – Москва, 2000. – С. 182-183.

37. Панов, А.Н. Основы системного планирования, управления качеством и надежностью машин. Конфигуратор/ Панов А.Н.// Надежность машин и технических систем: Материалы международной научно-технической конференции: В 2 т.(16-17.10.2001г. Минск). Под общ. ред.О.В. Берестнева. Минск: ИТК НАНБ, 2001. Т.1 – С.81-82.

38. Панов, А.Н. Системное планирование, управление качеством и надежностью несущих конструкций транспортных средств. / Панов А.Н.//Надежность машин и технических систем: Материалы международной научно-технической конференции: В 2 т.(16-17. 10.2001 г. Минск). Под общ. ред.О.В. Берестнева. Минск: ИТК НАНБ, 2001. Т.1 – С. 83-84.

39. Панов, А.Н. Физическое и математическое моделирование повреждений несущих элементов машин. / Панов А.Н. //Актуальные проблемы динамики и прочности в теоретической и прикладной механике. – Мн.: УП «Технопринт», 2001.-С. 375-379.

40. Панов, А.Н. Физическое, математическое моделирование и управление остаточными напряжениями в сборных несущих конструкциях. / Панов А.Н.//Актуальные проблемы динамики и прочности в теоретической и прикладной механике. – Мн.: УП «Технопринт», 2001.-С. 380-384.

41. Панов, А.Н. Концепция нормирования параметров безопасности элементов машин / Панов А. Н., Комарова Н. В., Шевченко О. А. // Стандартизация и управление качеством. Методологические аспекты построения системы подготовки, переподготовки и повышения квалификации: Сборник научных трудов под общ. ред. Сапелкина Е.П. / М-во образования РБ. Госстандарт РБ, Бел. гос. политехн. академия. – Мн., 2001, - С. 92-94.

42. Панов, А.Н. Модель менеджмента машиностроительного предприятия. Жизненный цикл предприятия, проектов, продукции/ Панов А.Н. // Стандартизация и управление качеством. Методологические аспекты построения системы подготовки, переподготовки и повышения квалификации: Сборник научных трудов под общ. ред. Сапелкина Е.П./ М-во образования РБ. Госстандарт РБ, Бел. гос. политехн. академия. – Мн., 2001, - С. 43-46.

43. Панов, А.Н. Моделирование износо-усталостных повреждений несущих элементов машин/ Панов А.Н. // Трибофатика: Труды 4-го Междунар. симпозиума по трибофатике (ISTF4), 23-27 сент.2002 г. в г. Тернополь (Украина)/ Отв. Ред. В.Т. Трощенко – Тернополь: Тернопольский технич. университет им. И. Пулюя, 2002. –В 2 т. Т.1. – С.255-259.

44. Панов, А.Н. Прогнозирование надежности машин по комплексным критериям/ Панов А.Н. // Трибофатика: Труды 4-го Междунар. симпозиума по трибофатике (ISTF4), 23-27 сент.2002 г. в г. Тернополь (Украина)/ Отв. ред. В.Т. Трощенко – Тернополь: Тернопольский технич. университет им. И. Пулюя, 2002. –В 2 т. Т.1. – С.260-265.

45. Панов, А.Н. Движение к TQM. Концепция и практика менеджмента качества, надежности и безопасности/ Панов А.Н. // Машиностроение и техносфера XXI века. Сборник трудов международной научно-технической конференции, 2001. Т. 2. –С.216-222.

46. Панов, А.Н. Экспериментальное и расчетное моделирование многовекторного нагружения несущих конструкций транспортных средств. Нормирование/ Панов А.Н. // Современные методы проектирования машин. Расчет, конструирование и технология изготовления. Сборник научных трудов. Вып.1. В 3-х т.-Т.2/ Под общ. ред. П.А. Витязя. - Мн.: УП «Технопринт», 2002. с. 422-424 .

47. Панов, А.Н. Системное планирование качества, надежности и безопасности машин/ Панов А.Н. // Современные методы проектирования машин. Расчет, конструирование и технология изготовления. Сборник научных трудов. Вып.1. В 3-х т.-Т.2/ Под общ. ред. П.А. Витязя. - Мн.: УП «Технопринт»,2002.с 27-33.

48. Панов, А.Н. Анализ потенциальных рисков несоответствий продукции (на примере несущих конструкций)/ Панов А.Н. // Современные методы проектирования машин. Расчет, конструирование и технология изготовления. Сборник научных трудов. Вып.1. В 3-х т.-Т.2/ Под общ. ред. П.А. Витязя. - Мн.: УП «Технопринт», 2002.с 33-37.

49. Панов, А.Н. Прогнозирование ресурса конструкции на этапе анализа проектной документации/ Панов А.Н. // Современные методы проектирования машин. Расчет, конструирование и технология изготовления. Сборник научных трудов. Вып.1. В 3-х т.-Т.2/ Под общ. ред. П.А. Витязя. - Мн.: УП «Технопринт», 2002. с 419-421.

50. Панов, А.Н. Технологии повышения долговечности сборных несущих конструкций мобильных машин /Панов А.Н. // Материалы, технологии и оборудование для упрочнения и восстановления деталей машин: Тематический сборник/ Под общ. ред. П.А. Витязя. Мн.: УП «Технопринт», Новополоцк, ПГУ, 2003 – С.327-329.

51. Панов, А.Н. ISO 9001-2000. Что дальше? Перспективы стандарта и развитие организаций для удовлетворенности заинтересованных сторон / Панов А.Н. // Стандартизация. Сертификация. Качество: Материалы междунар. науч.-техн. конф (27-28 нояб.2003 г., Минск, Респ. Беларусь)/ Под общ. Ред.В.Н. Корешкова и др. – Мн.: БелГИСС, 2003 - С. 270-272.

52. Панов, А.Н. Качество, надежность, безопасность. Развитие теории стандартизации/ Панов А. Н., Терешко В.К., Исаченко Н.В., Шевченко О.А., Сокол Н.А. Климук Н.И.// Стандартизация. Сертификация. Качество: Материалы междунар. науч.-техн. конф (27-28 нояб.2003г., Минск, Респ. Беларусь)/ Под общ. Ред.В.Н. Корешкова и др. –Мн.: БелГИСС, 2003 -С.87-89.

53. Панов, А.Н. Необходимо ли внедрение ISO/TS 16949 в автотракторостроение и смежные отрасли республики/ Панов А.Н. // Стандартизация. Сертификация. Качество: Материалы междунар. науч.-техн. конф (27-28 нояб.2003 г., Минск, Респ. Беларусь)/ Под общ. Ред.В.Н. Корешкова и др. – Мн.: БелГИСС, 2003 - С. 98-100.

54. Панов, А.Н. Проблемы, практика, пути и перспективы совершенствования системы менеджмента организации до требований автопроизводителей западной Европы и США/ Панов А.Н. // Второй международный семинар менеджеров качества: Сб. материалов/ ЗАО «ТКБ Интерсертифика». – Москва, 2004 – С. 168-174.

55. Панов, А.Н. Научная концепция максимума эффективности при приемлемом риске создания объектов второй природы/ Панов А.Н. / Машиностроение и техносфера XXI века// Сборник трудов международной научно-технической конференции в г. Севастополе 13-18 сентября 2004 г. В 4-х томах.- Донецк: ДонНТУ, 2004.Т3 – С.23-24.

56. Панов, А.Н. Анализ проблем и перспектив управления качеством машиностроительной продукции при производстве и подтверждении/ Сокол Н.А., Капская О.С., Панов А.Н. / Машиностроение и техносфера XXI века// Сборник трудов межд.научно-технической конференции в г. Севастополе 13-18 сентября 2004 г.В 4-х томах.- Донецк:ДонНТУ,2004.Т3– С.135-139.

57. Панов, А.Н. Сборные несущие конструкции, подвергаемые циклическому нагружению. Создание предварительно-напряженного состояния/ Панов А.Н. // Актуальные проблемы прочности. XLIII международная конференция в г. Витебске 27 сентября-1 октября 2004 г. – Витебск. Витебский гос. технологический университет. 2004.- С.242-251.

58. Панов, А.Н. Сборные несущие конструкции машин. Прогнозирование по комплексным критериям/ Панов А.Н. // Актуальные проблемы прочности. XLIII международная конференция в г. Витебске 27 сентября-1 октября 2004 г. – Витебск. Витебский гос. технологический университет. 2004.- С.251-258.

59. Панов, А.Н. Циклическая долговечность, пассивная безопасность пространственных несущих конструкций транспортных средств. Проблемы и перспективы анализа и проверки выходных проектных данных и эффективности/ Панов А.Н., Минюкович С.М., Мышко А.П., Сидоренко Д.Н., Махнач В.Г., Башеев Г.А., Губаревич А.Н., Сокол Н.А. // Современные методы проектирования машин. Республ. межведомственный сборник научных трудов. Вып.2. В 7 томах.-Т.4. Надежность и ресурсное проектирование/ Под общ. ред. П.А. Витязя. - Мн.: УП «Технопринт», 2004.- С.175-180.

60. Панов, А.Н. Экономический аспект качества, надежности и безопасности технических систем/ Панов А.Н., Минюкович С.М. // Современные методы проектирования машин. Республиканский межведомственный сборник научных трудов. Вып.2. В 7 томах.-Т.7. Экономические аспекты проектирования машин. Теория и практика технического образования/ Под общ. ред. П.А. Витязя. - Мн.: УП «Технопринт», 2004.- С.54-59.

61. Панов, А.Н. Модель планирования качества технологического процесса/ Панов А.Н. Минюкович С.М. // Современные методы проектирования машин. Республиканский межведомственный сборник научных трудов. Вып.2. В 7 томах.-Т.5. Технология изготовления машин/ Под общ. ред. П.А. Витязя. - Мн.: УП «Технопринт», 2004.- С.80-84.

62. Панов, А.Н. Оптимальное нормирование. Развитие теории и практика/ Панов А.Н. // Сборник докл. республиканского научно-практического семинара «Обеспечение устойчивого развития организации с позиции менеджмента качества» 14-15.11.2007г.– Мн.: БелГИСС, 2007-С.90-98.

63. Панов, А.Н. К вопросу о нормировании моделей системы менеджмента организации и менеджмента знаний/ Панов А.Н.// Качество в XXI веке: системный подход и инновации. Сборник материалов международной научно-технической конференции./ Под общей ред. Корешкова В.Н. – Мн.: БелГИСС, 2008 – С. 144-146.

64. Панов, А.Н. Системное планирование качества/ Панов А.Н.// Качество в XXI веке: системный подход и инновации. Сборник материалов международной научно-технической конференции./ Под общей ред. Корешкова В.Н. – Мн.: БелГИСС, 2008 – С.146-149.

65. Панов, А.Н. Инновации в менеджменте/ Панов А.Н. // Управление инновациями 2007: Материалы международной научно-практической конференции/Под. Ред. Нижегородцева Р.М. –М.:Доброе слово, ИПУ РАН, 2007.- 455-461.

66. Панов, А.Н. Планирование качества в жизненном цикле продукции/ Панов А.Н. // Управление инновациями 2007: Материалы международной научно-практической конференции/Под. Ред. Нижегородцева Р.М. –М.:Доброе слово, ИПУ РАН, 2007- 471-478.

Тезисы докладов

67. Панов, А.Н. Исследование остаточных напряжений, возникающих при сборке рамных конструкций автомобилей/ Панов А.Н., Апанович Ю.Н. // Актуальные проблемы машиноведения: Тез. докл. 12-той науч.-техн. конф. молодых ученых / Акад. наук СССР. Ин-т машиноведения.– М.,1989. – С. 85.

68. Панов, А.Н.Создание локальных моделей опасных зон рамных конструкций автомобилей для испытания на усталость/ Панов А.Н.// Актуальные проблемы машиноведения: Тез. докл. 12-той науч.-техн. конф. молодых ученых / Акад. наук СССР. Ин-т машиноведения.– М.,1989– С. 85.

69. Панов, А.Н. Исследование напряжений в элементах, сил и изгибающих моментов в заклепках, возникающих при сборке рамы автомобиля/ Панов А.Н., Петушок Н.М.// Повышение технического уровня, надежности и долговечности машин: Тез. докл. научн.-техн. конф. /Акад. наук БССР. – Минск, 1990. – С. 41-42.

70. Панов, А.Н. Характеристики сопротивления усталости и предельное состояние заклепочных соединений рам транспортных средств / Панов А.Н. //Динамика и прочность автомобиля: Тез. докл. 5-го науч.-техн. совещ. /Акад. наук СССР. Ин-т машиноведения. – М., 1992. – С. 63-65.

71. Панов, А.Н. Прогнозирование ресурса несущих элементов рамы автомобиля/ Панов А.Н. // Динамика и прочность автомобиля: Тез. докл. 5-го науч.-техн. совещ. /Акад. наук СССР. Ин-т машиноведения. – М., 1992– С.66-67.

72. Панов, А.Н. Проблемы и перспективы технологии разработки несущих конструкций. Вопросы обеспечения ресурса/ Панов А.Н., Горбацевич М.И. // Повышение технического уровня, надежности и долговечности машин: Тез. докл. науч.-техн. конф. / Нац. акад. наук Беларуси. Ин-т надежности машин. – Минск, 1993. – С. 13-14.

73. Панов, А.Н. К вопросу об обосновании МКЭ многовекторного нагружения несущей конструкции транспортного средства при стендовых испытаниях / Панов А.Н. // Повышение технического уровня, надежности и долговечности машин: Тез. докл. науч.-техн. конф. / Нац. акад. наук Беларуси. Ин-т надежности машин. – Минск, 1993 – С. 37-38.

74. Панов, А.Н. Система сертификации автомобильных запасных частей / Панов А.Н., Ракицкий А.А., Шуравко А.Н., Красичков С.А. // Повышение технического уровня, надежности и долговечности машин: Тез. докл. науч.-техн. конф. / Нац. акад. наук Беларуси. Ин-т надежности машин. – Минск, 1993.– С. 39-40.

75. Панов, А.Н. Оценка ресурса сборных рамных конструкций транспортных средств по комплексным критериям усталости и ослабления соединений/ Панов А.Н., Горбацевич М.И. // Трение, изнашивание, усталость: Тез. докл. междуна. симпозиума по трибофатике. / М-во. образ. РБ. Бел. ин-т инженеров транспорта. – Гомель, 1993. – С. 67.

76. Панов, А.Н. Испытания и сертификация деталей машин и элементов конструкций по износоусталостным критериям/ Панов А.Н., Ракицкий А.А. // Трение, изнашивание, усталость: Тез. докл. междуна. симпозиума по трибофатике. / М-во. образ. РБ. Бел. ин-т инженеров транспорта. – Гомель, 1993 – С. 67-68.

77. Панов, А.Н. Методика расчета остаточных (сборочных) напряжений в несущих конструкциях транспортных средств на стадии разработки конструкции / Панов А.Н. // Проблемы качества и надежности машин: Тез. докл. науч.-техн. конф. Ч. 1 / М-во образ. РБ. Могилевск. машиностроит. ин-т. – Могилев, 1994. – С.181.

78. Панов, А.Н. Разработка требований пассивной безопасности конструкции багажника, предназначенного для установки на крыше кузова легкового автомобиля/ Панов А.Н., Ракицкий А.А., Терешко В.К. // Динамика и прочность автомобиля: Тез. докл. 6-го междунар. науч.-техн. совещ. / Рос. акад. наук. Ин-т машиноведения. – М., 1994. – С. 66-67.

79. Панов, А.Н. К вопросу о системном проектировании несущих конструкций транспортных средств/ Панов А.Н. // Динамика и прочность автомобиля: Тез. докл. 6-го междунар. науч.-техн. совещ. / Рос. акад. наук. Ин-т машиноведения. – М., 1994 – С.63-65.

80. Панов, А.Н. Расчетное обоснование многовекторного нагружения несущей конструкции транспортного средства при стендовых испытаниях / Панов А.Н. // Динамика и прочность автомобиля: Тез. докл. 6-го междунар. науч.-техн. совещ./ Рос. акад. наук. Ин-т машиноведения. – М., 1994– С.65-66.

81. Панов, А.Н. Исследование стабильности затяжки болтовых соединений/ Панов А.Н., Горбацевич М.И., Минюкович С.М., Терешко В.К. // Создание ресурсосберегающих машин и технологий: Тез. докл. науч.-техн. конф./ М-во образования РБ. Могилевск. машиностроит. ин-т. – Могилев, 1996. – С. 101.

82. Панов, А.Н. Методика расчета оптимального распределения остаточных напряжений в раме автомобиля на стадии проектирования / Панов А.Н., Горбацевич М.И., Махнач В.Л., Трулль М.Ю. // Создание ресурсосберегающих машин и технологий: Тез. докл. науч.-техн. конф./ М-во образования РБ. Могилевск. машиностроит. ин-т. – Могилев, 1996. – С. 72.

83. Панов, А.Н. Прогнозирование долговечности сборных несущих конструкций и методология построения интеллектуальных систем/ Панов А.Н. // Моделирование интеллектуальных процессов проектирования и производства: Тез. докл. междунар. науч.-техн. конф. / М-во пром-ти РБ. – Минск, 1996. – С. 24.

84. Панов, А.Н. К вопросу о применении метода прогнозирования проблемных ситуаций при проектировании и производстве изделий машиностроения/ Панов А.Н. // Моделирование интеллектуальных процессов проектирования и производства: Тез. докл. междунар. науч.-техн. конф. / М-во пром-ти РБ. – Минск, 1996. – С. 53.

85. Панов, А.Н. Моделирование предварительно-напряженного состояния в сборных конструкциях, подвергаемых циклическому нагружению/ Панов А.Н., Трулль М.Ю. // Моделирование интеллектуальных процессов проектирования и производства: Тез. докл. междунар. науч.-техн. конф. / М-во пром-ти РБ. – Минск, 1996. – С. 80.

86. Панов, А.Н. Комплексное прогнозирование ресурса рамы транспортного средства на стадии проектирования/ Панов А.Н. // Трибофатика: Тез. докл. междунар. симпозиум./ Рос. акад. наук. Ин-т машиноведения. – М., 1996. – С. 76.

87. Панов, А.Н. Методические основы прогнозирования и нормирования несущей способности сборных рамных конструкций транспортных средств/ Панов А.Н. // Динамика и прочность автомобиля: Тез. докл. 7-го междунауч.-техн. совещ./ Рос. акад. наук. Ин-т машиноведения. – М., 1997. – С. 37-38.

88. Панов, А.Н. Методика расчета для создания благоприятного распределения остаточных напряжений в несущих элементах автомобиля на стадии проектирования / Панов А.Н., Трулль М.Ю. // Динамика и прочность автомобиля: Тез. докл. 7-го междунауч.-техн. совещ./ Рос. акад. наук. Ин-т машиноведения. – М., 1997. – С. 39-40.

89. Панов, А.Н. Применение критериев правил ЕЭК ООН для сертификации по параметрам безопасности модернизированной крыши автомобиля с кузовом «Фатон»/ Панов А. Н., Терешко В. К. // Проблемы безопасности на транспорте: Тез. докл. междунауч.-практич. конф./ М-во образования РБ. Бел. ин-т инженеров транспорта. – Гомель, 1997. – С. 82.

90. Панов, А.Н. Опыт разработки стандартов/ Панов А.Н., Терешко В.К.// Проблемы безопасности на транспорте: Тез. докл. междунауч.-практич. конф./ М-во образования РБ. Бел. ин-т инженеров транспорта. – Гомель, 1997. – С. 84-85.

91. Панов, А.Н. Опыт и проблемы разработки основ создания системы обеспечения надежности сложных технических систем/ Панов А.Н. // Проблемы безопасности на транспорте: Тез. докл. междунауч.-практич. конф./ М-во образования РБ. Бел. ин-т инженеров транспорта. – Гомель, 1997. – С. 85.

92. Панов, А.Н. К вопросу о выборе параметров безопасности элементов топливной аппаратуры транспортных средств/ Панов А.Н. // Проблемы безопасности на транспорте: Тез. докл. междунауч.-практич. конф. / М-во образования РБ. Бел. ин-т инженеров транспорта. – Гомель, 1997. – С. 87.

93. Панов, А.Н. Параметры безопасности жгутов проводов для автотракторного электрооборудования/ Панов А.Н. // Проблемы безопасности на транспорте: Тез. докл. междунауч.-практич. конф./ М-во образования РБ. Бел. ин-т инженеров транспорта. – Гомель, 1997. – С. 89.

94. Панов, А.Н. Элементы трансмиссии транспортных средств. Параметры безопасности карданных передач/ Панов А.Н. // Проблемы безопасности на транспорте: Тез. докл. междунауч.-практич. конф./ М-во образования РБ. Бел. ин-т инженеров транспорта. – Гомель, 1997. – С. 89.

95. Панов, А.Н. Опыт сертификации крупногабаритных шин для строительных, дорожных и подъемно-транспортных машин/ Панов А.Н. // Проблемы безопасности на транспорте: Тез. докл. междунауч.-практич. конф. / М-во образования РБ. Бел. ин-т инженеров транспорта. – Гомель, 1997. – С. 94.

96. Панов, А.Н. Разработка технических требований и методов испытаний несущих элементов подъемных механизмов транспортных средств/ Панов А.Н., Терешко В.К. // Проблемы безопасности на транспорте: Тез. докл. междунауч.-практич. конф./ М-во образования РБ. Бел. ин-т инженеров транспорта. – Гомель, 1997. – С. 94-95.

97. Панов, А.Н. Анализ рисков несущих конструкций транспортных средств на стадии проектирования / Панов А.Н. // Вклад вузовской науки в развитие приоритетных направлений производственно-хозяйственной деятельности, разработку

экономичных и экологически чистых технологий и прогрессивных методов обучения: Тез. докл. науч.-технич. конф./ М-во образования РБ. Бел. гос. политехн. Академия. – Мн., 2000. – С. 77.

98. Панов, А.Н. Оптимизация затрат на качество/ Панов А.Н. // Вклад вузовской науки в развитие приоритетных направлений производственно-хозяйственной деятельности, разработку экономичных и экологически чистых технологий и прогрессивных методов обучения: Тез. докл. науч.-технич. конф./ М-во образования РБ. Бел. гос. политехн. Академия.– Мн.,2000.– С. 51.

99. Alexander N. Panov. Simulation of damages of supporting elements of vehicles (physical and mathematical aspects)// International Body Engineering Conference and Exhibition IBEC 2002 SAE. 9-11 July 2002, Paris, France.

100. Alexander N. Panov. Conception and practice of introduction of system of management of quality (ISO 9001, QS 9000, VDA 6.1, ISO/TS 16949) on plants of the CIS and a safety of production. Driving to TQM.// Там же.

101. Панов, А.Н. Прогнозирование циклической долговечности сборных несущих конструкций. Использование коэффициента чувствительности конечно-элементной модели и коэффициента перегрузки крепежа/ Панов А.Н. //Тез. докл. IX-й науч.-техн. конференции по динамике и прочности автомобиля. МГТУ «МАМИ». – М., 2005. – С.66-67.

102. Панов, А. Н. Результаты экспериментальных и расчетных исследований остаточных напряжений и сопротивления повреждению сборных несущих конструкций/ Панов А.Н. // Тез. докл. IX-й науч.-техн. конференции по динамике и прочности автомобиля. МГТУ «МАМИ». – М., 2005. – С.67-68.

103. Панов, А.Н. Метрологические аспекты разработки межгосударственных и государственных стандартов на продукцию машиностроения. Состояние и перспективы/ Сущенко Н.А., Осмола И.И., Панов А.Н. // Метрология и метрологическое обеспечение. Тез. докл. межд. науч.-технич. конф./ Под общ. ред. Корешкова В.Н. и др.-Мн.: БелГИМ, 2007 – С. 163-166.

104. Панов, А.Н. Гармоничное метрологическое обеспечение планирования качества/ Осмола И.И., Сущенко Н.А., Панов А.Н. // Метрология и метрологическое обеспечение. Тез. докл. межд. науч.-технич. конф./ Под общ. ред. Корешкова В.Н. и др.-Мн.: БелГИМ, 2007 – С. 163-166.

Авторские свидетельства и патенты на изобретения

105. А.с. 1523263 СССР, МКИ⁴ В 23 D 15/10. Способ изготовления образца для испытания на усталость / М.С. Бабицкий, А.Н. Панов, Н.М. Петушок, Г.А. Прохорчик (СССР). – № 4323314/31-27; Заявлено 02.11.87; Оpubл. 23.11.89, Бюл. № 43 // Открытия. Изобретения.–1989. – № 43. – С. 52.

106. А.с. 1601010 СССР, МКИ⁴ В 62 D 21/02. Способ изготовления рамы транспортного средства/ А.Н. Панов, В.А. Гурский, М.С. Бабицкий, М.И. Горбачевич, Н.М. Петушок (СССР). – № 4603381/27-11; Заявлено 09.11.88; Оpubл.23.10.90, Бюл. №39 // Открытия. Изобретения.–1990–№39.–С. 80

107. А.с. 1670202 СССР, МКИ⁴ F 16 B 5/04. Способ испытания образца клепочного соединения рамной конструкции на усталость / М.С. Бабицкий, А.Н. Панов, М.И. Горбачевич, Н.М. Петушок (СССР). – № 4445355/27; Заявлено 20.06.88; Оpubл. 15.08.91, Бюл. №30 // Открытия. Изобретения. – 1991. – № 30. – С. 122 .

108. А.с. 1781116 СССР, МКИ⁴ В 62 D 21/00. Способ сборки металлоконструкций, подвергаемых циклическому нагружению / А.Н. Панов, М.И. Горбацевич, Л.И. Кадолко, А.И. Шумский (СССР). - № 4917531/11; Заявлено 02.01.91; Оpubл. 15.12.92, Бюл. №46//Изобретения.-1992.-№46.-С. 84.

109. Пат. 72 ВУ, 1781116А1 SU, В 62 D 21/00. Способ сборки металлоконструкций, подвергаемых циклическому нагружению / Панов А. Н., Горбацевич М. И., Кадолко Л. И., Шумский А. И. - № 4917531/11; Заявл. 02.01.91; Оpubл. 15.12.92 // Афіцыйны бюлетэнь / Дзярж. пат. ведамства Рэсп. Беларусь. / 1994. - № 2. - С. 31.

110. Пат. 663 С1 ВУ, G 01В 7/16, G01L 5/24. Способ измерения силы и изгибающих моментов в болтовом соединении/Панов А.Н., Апанович Ю. А., Горбацевич М.И., Петушок М.Н. №38-4898883; Заявл. 02.01.1991; Оpubл. 30. 06. 1995//Афіцыйны бюлетэнь/Дзярж. пат. ведамства Рэсп. Беларусь./1995 №2. -С87

111. Пат. 664 С1 ВУ, G01N 3/32. Устройство для испытания образца заклепочного соединения двух деталей на усталость при изгибе / Панов А. Н., Горбацевич М. И., Петушок Н. М., Протасеня Э. М. - №39-4890305; Заявл. 13.12.1990; Оpubл. 30.06.1995 // Афіцыйны бюлетэнь / Дзярж. пат. ведамства Рэсп. Беларусь. / 1995. - № 2. - С. 89.

Государственные, межгосударственные стандарты и методические рекомендации

112. СТБ 1046-97. Колодки, диски и барабаны тормозные транспортных средств. Технические требования, правила приемки и методы испытаний. (Панов А. Н., Рыжков Е. П., Терешко В. К., Горбацевич М. И.) Введ. 30.04.97. - Минск: Госстандарт, 1997. - 16 с.

113. СТБ 1069-97. Цилиндры, трубки и рукава гидропривода тормозов и сцепления транспортных средств. Технические требования, правила приемки и методы испытаний. (Панов А. Н., Журавель А. И., Шашко В. С., Терешко В. К., Арбузов В. И., Хартон В. Л.) Введ. 01.08.97; с изменением № 1 - Минск: Госстандарт, 1997. - 23 с.

114. ГОСТ 30551-98. Багажники для установки на крышу кузова (кабины) транспортного средства и прицепного состава. Технические требования, правила приемки и методы испытаний. (Панов А. Н., Терешко В. К., Самолазов А. В.) Введ. 22.07.98. - Минск: Межгос. Совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1998. - 7 с.

115. ГОСТ 30729-2001 Пальцы шаровые, опоры (шарниры) шаровые, наконечники подвески и рулевого привода транспортных средств. Общие технические требования, правила приемки и методы испытаний. (Панов А.Н., Горбацевич М.И., Корсаков, В.В. Арбузов В.И., Шевченко О.А.). - 16 с.

116. ГОСТ 30731-2001 Цилиндры, трубки и рукава гидропривода тормозов и сцепления транспортных средств. Общие технические требования, правила приемки и методы испытаний. (Панов А.Н., Арбузов В.И., Комарова Н.В.) - 27 с.

117. ГОСТ 31341-2007 Колодки, диски, барабаны тормозные транспортных средств. Общие технические требования, правила приемки и методы испытаний. (Панов А.Н., Сущеня Н.А., Минюкович С.М., Осмола И.И.) - 16 с.

118. Панов, А.Н. Прогнозирование ресурса несущих элементов рам автомобилей/ Панов А.Н., Ракицкий А.А., Горбацевич М.И., Шумский А.И. – Мн., 1991. – 55 с. – (Препринт / Акад. наук Беларуси. Ин-т надежности машин).

119. ТК РБ 4.2-Р-06-2002 Рекомендации по организации работ по переходу от сертифицированной системы качества по стандартам ИСО серии 9000 версии 1994 года к системе менеджмента качества, соответствующей стандартам ИСО серии 9000 версии 2000 года. Национальный технический комитет по стандартизации «Управление качеством» – Минск: Госстандарт, 2002.–10 с. (Станкевич Л.А., Панов А.Н., Назаренко В.В.)

120. Временные требования пассивной безопасности конструкции багажника, предназначенного для установки на крышу кузова легкового автомобиля: рег. №112.01.1.0.0006.001 1994 г. Норм. требов./ Минск: Белстандарт, 1995. - 13 с. (Панов А. Н., Терешко В. К.).

121. Берестнев, О.В. Комплексный контроль и повышение качества зубчатых приводных механизмов для машиностроения/ О.В. Берестнев, В.Е. Антонюк, Н.Н. Ишин, А.М. Гоман, А.Н. Панов, А.С. Скороходов, Я.О. Берестнев, В.Н. Русецкий, В.С. Александрова, Е.П. Петина. - Мн., БелГИСС, 2009.-115 с.ил. [111109](#)

РЭЗЮМЕ

Паноў Аляксандр Мікалаевіч

НАВУКОВЫЯ АСНОВЫ СІСТЭМНАГА ПЛАНАВАННЯ І ЗАБЕСПЯЧЭННЯ НАДЗЕЙНАСЦІ І БЯСПЕКІ МАБІЛЬНЫХ МАШЫН

Тэхнічныя сістэмы (ТС), нясучыя канструкцыі, якасць, надзейнасць, бяспека, рызыка, упраўленне, планаванне, затраты, прагназаванне, назапашванне пашкодванняў, тэхналагічная спадчынасць, выпрабаванні, механізмы пашкодванняў, мадэліраванне тэхналагічных працэсаў.

Аб'ект, прадмет і метады даследавання. Аб'ект даследавання – нясучыя элементы транспартных сродкаў; элементы тармазнога механізма, гідрапрывад тармазоў і счаплення, падвескі і рулявога прываду і іншае. Прадмет даследавання: сістэма ідэнтыфікацыі параметраў, правілаў прыёмкі і метадаў выпрабаванняў, нарміраванне і пацвярджэнне па параметрах надзейнасці, бяспекі ТС; працэсы вытворчасці і сістэма кіравання ў машынабудаўнічай вытворчасці; узаемасувязь паміж паказчыкамі якасці і працэсамі планавання пры распрацоўцы, пастаноўцы прадукцыі на вытворчасць, улічваючы эканамічныя параметры; заканамернасці назапашвання пашкодванняў у зборных канструкцыях з улікам тэхналагічнай спадчынасці, крытэрыі гранічнага стану, прагназаванне рэсурсу, рызыкі, метады цыклічных выпрабаванняў пры мностве механізмаў пашкодванняў, мадэліраванне тэхналагічных працэсаў. *Мэта работы* – распрацоўка навуковы асноў сістэмнага планавання надзейнасці і бяспекі машын для забеспячэння зададзенных параметраў якасці, надзейнасці і бяспекі, скарачэнне тэрмінаў і затрат на стварэнне ТС і іх элементаў, зніжэнне імавернасці ўзнікнення неадпаведнасцей. *Распрацаваны:* асновы сістэмнага планавання якасці, надзейнасці і бяспекі ТС; канцэпцыя, метадалогія і мадэль нарміравання бяспекі вырабаў машынабудавання для распрацоўкі дзяржаўных і міждзяржаўных стандартаў; мадэлі сістэмы кіравання ў машынабудаўнічай вытворчасці і яе адаптацыя; мадэлі сістэмнага планавання якасці пры распрацоўцы, вытворчасці прадукцыі і затрат на якасць; мадэліраванне неадпаведнасцей ТС пры мнагавектарнаму нагружэнні і мностве механізмаў пашкодванняў; методзых даследаванняў, разлік, мадэліраванне і кіраванне тэхналагічнай спадчынасцю пры вытворчасці зборных канструкцый; комплекс методзых прагназавання рэсурсу, рызыкаў неадпаведнасцей ТС устаноўленым патрабаванням пры выпадковым нагружэнні і ўлікам тэхналагічнай спадчынасці; мадэль планавання якасці тэхналагічнага працэса. *Рэзультаты рэалізаваны:* у нарматыўна-прававых актах – ДАСТ, СТБ, метадычных рэкамендацыях; пры ўдасканаленні сістэмы кіравання машынабудаўнічай вытворчасцю, у стандартах арганізацый; пры мадэліраванні, прагназаванні і ацэнках рэсурсу, рызык неадпаведнасцей транспартных сродкаў і распрацоўкі тэхналогіі ў ВА «БелаўтаМАЗ» і іншых. У выніку павысілася эфектыўнасць вытворчасці, якасць і канкурэнтаздольнасць прадукцыі.

РЕЗЮМЕ

Панов Александр Николаевич

НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ СИСТЕМНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ И ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ МОБИЛЬНЫХ МАШИН

Технические системы (ТС), несущие конструкции, качество, надежность, безопасность, риски, управление, планирование, затраты, прогнозирование, накопление повреждений, технологическая наследственность, испытания, механизмы повреждения, моделирование технологических процессов.

Объект, предмет, методы исследования. Объект исследования – несущие элементы транспортных средств; элементы тормозного механизма, гидропривода, подвески и рулевого привода, технологии изготовления. Предмет исследования: система идентификации параметров, правил приемки и методов испытаний, нормирование и подтверждение по параметрам надежности, безопасности ТС; процессы изготовления и система управления в машиностроительном производстве; взаимосвязи между показателями надежности и процессом планирования при разработке, постановке продукции на производство с учетом экономических критериев; закономерности накопления повреждений с учетом технологической наследственности, критерии предельных состояний, прогнозирование ресурса, рисков, методы циклических испытаний при множестве механизмов повреждений, моделирование технологических процессов. *Цель работы* - разработка научных основ системного планирования надежности и безопасности машин для обеспечения заданных параметров качества, надежности и безопасности, сокращения сроков и затрат на создание ТС и их элементов, снижения вероятности возникновения несоответствий. *Разработаны:* основы системного планирования надежности и безопасности ТС; модель и методология нормирования безопасности изделий машиностроения для разработки государственных и межгосударственных стандартов; модели системы управления производством машиностроительного предприятия и ее адаптации; модели системного планирования надежности и безопасности при разработке, производстве продукции и затрат на качество; моделирование несоответствий ТС при многовекторном нагружении и множестве механизмов повреждения; методики исследования, расчета, моделирования и управления технологической наследственностью при производстве сборных конструкций; комплекс методик прогнозирования ресурса, рисков несоответствий ТС установленным требованиям при случайном нагружении и учетом технологической наследственности; модель планирования надежности технологического процесса. *Результаты реализованы:* в ГОСТ, СТБ, методических рекомендациях; при совершенствовании системы управления машиностроительным производством, в стандартах организаций; при моделировании, прогнозировании и оценках ресурса, рисков несоответствий транспортных средств и разработки технологии в ПО «БелавтоМАЗ» и др. В результате повысилась эффективность производства, надежность, безопасность и конкурентоспособность продукции.

SUMMARY

Panov Alexander Nikolayevich
SCIENTIFIC FUNDAMENTALS OF SYSTEM PLANNING
AND MAINTENANCE OF MOBILE MACHINE
RELIABILITY AND SAFETY

Technical systems (TS), bearing constructions, quality, reliability, safety, risks, management, planning, expense, forecasting, accumulation of damages, technological heredity, tests, damage mechanisms, modeling of technological processes.

Investigation object, subject and methods. Investigation object – bearing elements of vehicle; elements of brake assembly, of braking and clutch hydraulic actuator, of mounting and helm and others. Investigation subject: identification system of features, guidance of acceptance and testing methods, normalization and validation under reliability, safety, parameters of TS; production processes and management system in machine-building manufacture; relations between quality factors and process of planning for output designing, raising on manufacture accounting economic criteria; mechanisms of damage accumulation in fabricated structures accounting technological heredity, criteria of extreme states, forecasting of resource, of risks, cyclic testing methods for ensemble of damage mechanisms, modeling of technological processes. **Work target** - designing of scientific fundamentals of system planning of machine reliability and safety for support of given quality, reliability and safety parameters, reduction of terms and expenses for creation TS and their elements, probability decrease of disagreement occurrence. **It has been developed:** fundamentals of system planning of TS quality, reliability and safety; conception, methodology and model of normalization of safety of machine-building goods for state and intergovernmental standard designing; management system models of machine-building manufacture and its adaptation; system planning quality models for designing, manufacture products and expenses for quality; modeling of TS under many vectorial weighting and for damage mechanism ensembles; methods of investigation, calculation, modeling and technological heredity management for production of fabricated structure; complex of forecasting methods of resource, TS disagreement risks to fixed demands for chance weighting and accounting technological heredity; planning quality model for technological processes. **Results have been realized:** in normative legal acts – GOST, STB, methodical guidelines; for management system perfection of machine-building manufacture, in organization standards, for modeling, forecasting and estimation of resource, disagreement risks of vehicle and technology designing in PO «BelautoMAZ» and others. In result manufacture effectiveness, quality and product competitiveness has been raised.