

УДК 629.113.001

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА, ОХРАНЫ ТРУДА
И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В ПРОЦЕССАХ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МАШИН****канд. техн. наук А.Н. ПАНОВ****(Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси);****И.И. ОСМОЛА, И.В. ШКАДРЕЦОВ****(Белорусский институт стандартизации и сертификации, Минск)**

Рассмотрены проблемы обеспечения надежности процессов изготовления по параметрам качества выпускаемой продукции, экологическим последствиям и показателям охраны труда. Предложены модели, методы, обеспечивающие конкурентоспособный уровень машин. Предложенный комплекс моделей и методов позволяет в зависимости от степени важности параметров продукции на этапах жизненного цикла на основе метода последовательных приближений и стохастического детерминизма достигать приемлемой с позиции «затраты – риск» вероятности несоответствия продукции и процессам изготовления требованиям.

Введение и постановка задач. Создание современных машин, технических и технологических систем (ТС) осуществляется в условиях жесткой конкуренции. Ограничиваются цена, ресурсы, сроки выхода продукции на рынок. Требуется создавать как качественно новый тип продукции, так и при ее тиражировании обеспечивать у потребителя допустимую вероятность несоответствия, например показателей надежности. В то же время усложнение конструкции, технологии производства и эксплуатации приводит к росту техногенных аварий и катастроф. В настоящее время, например, при эксплуатации наиболее массового вида машин – автомобилей – в дорожно-транспортных происшествиях отдельных стран Европы ежегодно гибнет порядка 0,01...0,02 %, травмируется свыше 0,04 % численности населения страны. Так, например, в России гибнет около 30 тыс. чел. в год, в Беларуси – 2 тыс. При этом доля происшествий по причине несоответствия параметров надежности и безопасности мобильных машин может достигать 8...30 %.

Неадекватные технические ограничения на ТС недопустимы в конкурентной экономике. Решение о нормировании показателей надежности и безопасности машин (показатели функционирования, безопасности, экологических последствий) следует базировать на экономических критериях оптимизации затрат на машиностроительную продукцию. Принимать во внимание следует: конструктивное и технологическое резервирование; ущерб от потенциальной аварии; компенсацию травмирования и гибели людей; экологические последствия; страхование и т.п. В связи с этим требует развития терминологический аппарат надежности ТС в части учета серьезности последствий потенциальных отказов, критичности несоответствий, величины риска и его приемлемости как критерия принятия решения о соответствии конструкции и технологии установленным требованиям, возможности активного управления надежностью, рисками и т.п. Актуальна и задача оптимизации надежности ТС по экономическому критерию. Требуют совершенствования экономико-математические методы нормирования надежности и безопасности в единстве со стадиями жизненного цикла машины: проектирование, подготовка производства, процесс изготовления, диагностика в эксплуатации и ремонт.

Машины создаются и используются в социотехнических системах. 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 ТС в современных условиях при прогнозировании и оценке требуемых показателей надежности и безопасности в процессе проектирования, производства и эксплуатации необходимо учитывать несколько уровней организации материи. В первую очередь неживую, в которой действуют законы сохранения энергии (например, процессы повреждения детали, узла машины при циклическом нагружении; влияние элементов процесса изготовления на надежность технологического процесса, таких как система СПИД – «станок, приспособление, инструмент, деталь»), т.е. физический уровень организации материи. Анализ, моделирование, управление надежностью и безопасностью ТС следует распространять до самой высокой организации материи – социальной (человек-оператор, производство, предприятие). Для последнего уровня необходимо учитывать обратные связи нерефлекторного типа, использовать информацию с неопределенностями – целей, знаний об исследуемых объектах, действий партнеров-поставщиков и т.д. Традиционный механистический подход для обеспечения надежности и безопасности ТС в настоящее время является явно не достаточным.

Поскольку рассматриваемые ТС и процессы их создания относятся к сложным, динамическим и существенно нелинейным системам, в них не может быть реализован принцип суперпозиции (объекты, определяющие надежность и безопасность ТС, являются зависимыми). В указанных условиях применение традиционного моделирования, например, методом анализа структурной схемы надежности, имеет вспомогательное значение и ограниченное применение. Исследуемые системы асимптотически устойчивы лишь при малых возмущениях и способны их гасить внутренними флуктуациями. Мерой интенсивности флуктуаций является дисперсия. В случае внесения малейших неопределенностей в начальные условия (производство, контроль и испытания, поставщики, эксплуатация, персонал и т.п.) происходит переход ТС в критическое состояние и внутренние флуктуации, и внешние возмущения уже не гасятся и приводят к бифуркации, а значит, к существенным изменениям и катастрофическим последствиям для функционирования ТС. Рассматриваемые сложные системы консервативны, в то же время динамически неустойчивы, обладают адаптационными возможностями, свойством переноса знаний (в том числе определяемым актуальным уровнем развития науки и техники). Учитывая сказанное необходимо с позиции приемлемого риска, во-первых, предупреждать возникновение в системе несоответствий, во-вторых, осуществлять управление и контроль ее функционирования.

В настоящее время в теории надежности и безопасности ТС используются новые модели и методы исследования сложных систем: системы менеджмента надежности и риска; системы менеджмента качества; 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; анализ надежности персонала; интегрированный процесс разработки надежности в жизненном цикле ТС и др. Указанные методы получили развитие и уже отчасти стандартизованы, в том числе на международном уровне. Системы менеджмента надежности и рисков нормируют, в том числе роль высшего руководства организации-производителя. Руководство должно декларировать обязательства-политику предприятия в области надежности (ИСО/МЭК 60300-1, МЭК 300-1 и др.), которая и определяет дальнейшие процессы управления надежностью и безопасностью в организации, во взаимоотношении с поставщиками и т.д.

Повысилась и роль стандартов для решения проблем надежности и безопасности ТС поскольку экономический эффект от стандартизации существенен. Так, по данным Госстандарта России, эффект от внедрения одного государственного стандарта превышает 1,5 млн. долл. (снижение затрат на НИР, проектирование, испытания, доводку продукции и технологических процессов изготовления, а также сокращение сроков выхода на рынок и ошибок, допущенных при постановке продукции на производство и эксплуатации). Результаты макроэкономического анализа показывают, что экономические выгоды от стандартизации составляют приблизительно 1 % валового национального продукта (по данным Госстандарта России). При этом макроэкономические выгоды от стандартизации превышают сумму индивидуальных преимуществ организаций. Внедрение положений теории в нормативно-технические документы для научного обеспечения прогнозирования и оценки надежности технических и технологических систем (ИСО/МЭК 60300-3-9 и др.), а также для реализации на практике методов благоприятной технологической наследственности позволяет существенно повышать долговечность и безопасность машин.

На этапах жизненного цикла продукции при проектировании и постановке продукции на производство как инструмент обеспечения надежности ТС применяют методы сетевого планирования, менеджмента рисков. Таким образом, достигается экономическая эффективность технических мероприятий по обеспечению надежности, конкурентоспособности изделий на этапах жизненного цикла – при проектировании, изготовлении, эксплуатации, в том числе и при выборе оптимальных планов испытаний и контроля. Практика свидетельствует о том, что попытки повышения надежности и безопасности, например, мобильных машин не в гармоничной взаимосвязи с этапами жизненного цикла ТС, как правило, не результативны.

Сокращение сроков проектирования, подготовки производства требует оптимального распределения временных ресурсов и точности проводимых оценок соответствия «выходных проектных данных» – спроектированной продукции и процессов изготовления – первоначально установленным в техническом задании требованиям – «входным проектным данным». В связи с этим возрастает потребность в гармонизации расчетных и экспериментальных исследований для существенного (в 2...3 и более раз) сокращения сроков разработки и выхода на рынок. При этом следует достигать требуемую достоверность оценок, что особенно важно для анализа сложных процессов накопления повреждений машин при циклическом, случайном нагружении, многокомпонентном и многофакторном воздействии, а также с учетом влияния возможных инновационных конструкторско-технологических решений.

Соответствие надежности и безопасности машины не менее чем на 80 % определяется ее комплектующими. Таким образом, наиболее эффективным с точки зрения последствий является первоочередное планирование и обеспечение показателей надежности и безопасности элементов машины. Например, для транспортных средств такими комплектующими являются, например, несущие конструкции, тормозная система, рулевое управление, подвеска.

Усталость, изнашивание обуславливают до 90 % эксплуатационных отказов машин. Ресурс, например, мобильных машин определяется в первую очередь надежностью, безопасностью их несущих конструкций. Указанное вызывает особое внимание как к данному виду конструкций, потенциально имеющих одновременно множество зон повреждений и подверженных в эксплуатации случайному многовекторному нагружению, так и к адекватному пониманию степени риска механизмов, процессов накопления повреждений – усталости, фреттинг-усталости, износа, ослабления соединений и др.

Развитие теории и инженерных методик эффективного планирования, управления технологической наследственностью и вероятностью возникновения несоответствия при изготовлении (тиражировании продукции) весьма актуальная проблема, особенно при сокращении ресурсного потенциала и усложнении технологии. При этом в особый класс следует выделить задачу моделирования технологической наследственности в сборных конструкциях. Их особенностью является возникновение в конструкции при сборке предварительного напряженного состояния в дополнении к локальному (местное упрочнение, сварка и т.п.). Сборочные напряжения пространственных конструкций создают условия для взаимного влияния процессов повреждения во множестве потенциальных зон разрушений.

Обеспечение надежности технологических систем по показателям качества выпускаемой продукции (ГОСТ 27.202 и т.д.) требует проведение анализа различных уровней рассмотрения технологических систем: «операция», «технологический процесс», «производственное подразделение» и «предприятие в целом», т.е. во внимание принимает не только физический, но и социальный уровень организации материки. Для этого используют единичные и комплексные показатели надежности (дефектность, возвраты, технологическая дисциплина, авторский надзор и т.п.). Следует отметить, что для научного обеспечения эффективной практики методы анализа надежности технологических систем на уровне подразделения, предприятия в настоящее время не достаточно разработаны. Традиционно критерием соответствия технологического процесса установленным требованиям по качеству является попадание в границы поля допуска, при этом следует отметить, что в действительности на указанных границах не происходит физико-химических явлений, не линейно изменяющихся нормируемые конструкторско-технологические свойства. Таким образом, требуется развитие имеющихся и разработка новых критериев соответствия технологических процессов по параметрам качества выпускаемой продукции.

Указанные причины определяют потребность в разработке и развитии основ комплекса методов и средств проектирования и изготовления ТС, а также процессов управления в машиностроительном производстве в рамках жизненного цикла ТС. Создание конкурентоспособных ТС нового уровня, соответствующих требованиям по надежности и безопасности, цене и срокам выхода на рынок и позволяющим достигать максимума экономической эффективности заинтересованным сторонам (потребители, производители, общество, природа и т.д.), возможно при развитии научных основ системного планирования и обеспечения надежности и безопасности ТС путем комплексного развития методов проектирования и изготовления.

Результаты и их обсуждение. Предложен и внедрен комплекс моделей для обеспечения надежности процессов изготовления машин по *параметрам качества выпускаемой продукции, экологическим последствиям и показателям охраны труда* различных уровней организации материки от физической до социальной.

Иерархия анализа проблемы:

1. *Надежность и безопасность машин – макроуровень.*

1.1 *Разработка и внедрение моделей нормирования* планирования и обеспечения надежности и безопасности конструкции машины и процессов изготовления.

1.2 *Разработка и внедрение в производство моделей управления в машиностроительном производстве* для обеспечения надежности и безопасности конструкции машины и процессов изготовления.

1.3 *Разработка и внедрение в производство моделей планирования и обеспечения надежности и безопасности машин в жизненном цикле* при проектировании и изготовлении.

2. *Надежность и безопасность машин – конструкция.*

Разработка и внедрение методов и средств оценки нагруженности и моделирования повреждений конструкций машин с учетом конструкторско-технологических факторов.

3. *Надежность и безопасность машин – процессы изготовления.*

Разработка и внедрение моделей, методов и средств планирования и обеспечения надежности процесса изготовления по параметрам качества выпускаемой продукции *и управления технологической наследственностью.*

4. *Надежность и безопасность мобильных машин – эффективность для заинтересованных сторон при приемлемом риске.*

Разработка и внедрение методов моделирования нагруженности, прогнозирования ресурса и оценки рисков конструкций машин с учетом технологической наследственности при проектировании и изготовлении.

В основе комплекса моделей – научная концепция о возможности достижения максимума эффективности при приемлемом риске для заинтересованных сторон при создании объектов второй природы [10, 11]. Модель планирования качества процесса изготовления предлагается рассматривать на основе двух гипотез [11]: о необходимости и достаточности условий для достижения результативности и эффективности процессов изготовления машин при выполнении ограничений; о возможности оптимального управления вероятностью появления несоответствия процесса изготовления в зависимости от серьезности последствий.

Комплекс разработанных и внедренных моделей и методов включает:

1. *Модель нормирования технических требований, параметров надежности, безопасности (критерии: прочность, циклическая долговечность, износостойкость), методов расчетной и экспериментальной оценки конструкции и мониторинга надежности технологических процессов изготовления, направленную на обеспечение надежности и безопасности мобильных машин.* В результате разработан комплекс государственных и межгосударственных стандартов. В настоящее время свыше 40 % комплектующих колесных машин, подлежащих обязательной сертификации в Беларуси проектируются, испытываются в соответствии с требованиями стандартов, разработанных на основе предложенной модели, например, элементы тормозного механизма автотранспортных средств [1].

2. *Модели анализа, оптимизации технико-экономических показателей и процессов системы управления в производстве, направленные на обеспечение надежности и безопасности машин и технологических процессов их изготовления* [9 – 11].

Указанное *обеспечивает*: соответствие процессов управления в машиностроительном производстве требованиям международных стандартов, устанавливающих требования к менеджменту надежности и качества; результативную реализацию процессов подготовки производства и изготовления; сокращение затрат и сроков, необходимых для оптимизации системы управления в машиностроительном производстве на 30...50 %; проведение анализа приемлемости процессов производства для эффективного достижения требуемых показателей надежности и безопасности мобильных машин во взаимосвязи с технико-экономическими, экологическими показателями, целями по ресурсосбережению предприятия для условий конкурентной экономики. В результате впервые в СНГ создано и сертифицировано конкурентоспособное производство комплектующих автотранспортных средств для лидеров мирового автомобилестроения [9], разработан проект государственного стандарта, устанавливающего требования к системе менеджмента качества для наукоемкого производства продукции специального назначения, включающего, например, требования и положения по менеджменту знаний, перспективному планированию качества, управлению конфигурацией, разработке программного обеспечения.

3. *Модели анализа, оптимизации процесса планирования и управления на этапах жизненного цикла (проектирование, постановка на производство и изготовление) надежностью и безопасностью машин и процессов изготовления в машиностроительном производстве, обеспечивающие приемлемые риски несоответствий для заинтересованных сторон (потребитель, производитель и т.д.).*

Указанное *позволило* при разработке, проектировании продукции и реализации стадий технологической подготовки производства: системно, комплексно, эффективным образом моделировать, прогнозировать, оценивать, *обеспечивать* надежность, безопасность продукции и надежность технологических процессов по параметрам качества изготавливаемой продукции управлять вероятностью отказов машины *в зависимости от серьезности последствий несоответствий*; *достигать* установленных потребителем требований *по вероятности наступления несоответствий* (до ppm 50 и менее); *соответствовать требованиям* международных стандартов по менеджменту качества, надежности и рисков; сокращать затраты и сроки на оптимизацию надежности и безопасности машин на 25...50 % [10, 11].

4. Для достижения требуемых показателей надежности и безопасности мобильных машин *комплекс методов нормирования, расчетно-экспериментального исследования, локального моделирования, оценки эксплуатационной нагруженности зон повреждений и характеристик циклической долговечности несущих конструкций, учитывающих наличие массивов зон разрушений, механизмов повреждений (усталость, фреттинг-усталость, ослабление и разрушение соединений) и влияние конструкторско-технологических факторов* и обеспечивающих адекватную рискам точность, оптимизацию затрат, сроков на проведение расчетных и экспериментальных исследований.

Указанное *позволяет*: использовать разработанные средства, полученные закономерности и данные для адекватного анализа, прогнозирования, оценки, отработки и выбора оптимальных конструкторско-технологических вариантов сборных несущих конструкций машин по критериям прочности, усталости, износостойкости и повышения их достоверности; сокращать затраты и сроки на проведение расчетов, исследований конструкторско-технологических решений, испытаний и доводку несущих конструкций в 2...3 раза; повысить на 10...30 % точность и достоверность оценки нагруженности, характеристик сопротивления повреждению. Полученные характеристики повреждений, базы данных, учитывающие конструкторско-технологические факторы производства, позволяют повысить точность прогнозирования и оценки ресурса несущей конструкции на 20...60 % [11].

5. *Модель планирования, оценки и управления надежностью технологического процесса изготовления по параметрам качества выпускаемой продукции на основе идентификации серьезности последствий несоответствий, обеспечивающую приемлемую вероятность возникновения несоответствий и оптимизацию затрат на изготовление.*

Модель обеспечивает: оптимизацию затрат на достижение надежности и безопасности продукции на основе анализа рисков возникновения несоответствий; выбор оптимального варианта разрабатываемого технологического процесса; достижение требуемой надежности технологического процесса по параметрам качества; многократное уменьшение вероятности появления несоответствий, в первую очередь для параметров конструкции с высокой серьезностью последствий несоответствия (число несоответствий на миллион) - с ppm 3000 до ppm 50 и менее; снижение себестоимости от 5 до 30 % (за счет сокращения брака, возвратов продукции, контроля, испытаний и т.п.) и сроков постановки продукции на производство в 1,5...2 раза [9, 11].

6. Для выбора оптимальных процессов изготовления, обеспечивающих требуемые показатели циклической долговечности сборных несущих конструкций мобильных машин, разработаны *методы экспериментального и расчетного моделирования, управления технологической наследственностью – возникающим в процессе сборки напряженно-деформированным состоянием, с учетом для данного вида конструкций взаимного влияния множества потенциальных зон повреждений, различных механизмов повреждений (усталость, фреттинг-усталость, ослабление и разрушение соединений) и конструкторско-технологических факторов изготовления.*

Предложенные методы позволяют: повысить точность оценки напряженно-деформированного состояния в 1,1...1,7 раза; сократить затраты и сроки в 1,5...2 раза на экспериментальную и расчетную оценку остаточных сборочных напряжений для обоснованного выбора технологических вариантов; оптимальным образом повышать эксплуатационные свойства за счет создания предварительных сжимающих напряжений, не допуская превращения ранее не лимитирующих долговечность зон конструкции в новые опасные; стабилизировать параметры технологической наследственности за счет принудительной релаксации остаточных напряжений; увеличивать ресурс сборных несущих конструкций на 21...58 % за счет снижения вариации параметров технологической наследственности, а также повышения предела выносливости путем создания в потенциальных зонах повреждений несущих конструкций, подверженных циклическому нагружению, предварительных сжимающих напряжений приемлемой величины; обоснованно назначать для элементов сборной конструкции предельные величины отклонений от заданной геометрии; разрабатывать типовые технологические процессы сборки несущих конструкций; осуществлять технико-экономический анализ эффективности процессов сборки для производства и эксплуатации [11].

7. Для сборных несущих конструкций, определяющих ресурс мобильных машин, разработан комплекс методов исследования нагруженности, прогнозирования, оценки, анализа, достижения показателей надежности и приемлемых рисков несоответствий, учитывающий наличие массивов зон разрушений и механизмов повреждений конструкции (усталость, фреттинг-усталость, ослабление и разрушение соединений), влияние технологической наследственности процессов изготовления, предотвращающий появление неблагоприятных событий в зависимости от серьезности последствий несоответствий и позволяющий осуществлять оптимизацию затрат и требуемых ресурсов в машиностроительном производстве. Указанное обеспечивает: осуществление прогнозирования, оценки и достижение вероятного количества соответствующей продукции, с учетом серьезности возможных последствий, как для конечного потребителя, так и производителя; проведение выбора оптимального конструкторско-технологического варианта исполнения с учетом технологической наследственности; проведение исследования различных механизмов накопления повреждений (усталость, фреттинг-усталость, ослабление и разрушение соединений).

Предложенный комплекс методов и средств позволяет: сократить длительность и затраты на процесс разработки конструкторско-технологической документации, прогнозирования, оценки циклической долговечности на 30...50 %; повысить обоснованность и достоверность оценок на 15...65 %.

Полученные результаты прогнозирования надежности, оценки рисков несоответствий несущих конструкций обеспечивают обоснованное принятие решений об экономической эффективности конструкции мобильных машин и процессов изготовления.

Предложенные концептуальные подходы, модели, зависимости, формуляры апробированы и реализованы на практике при проектировании производства элементов колесных машин (тормозной системы, привода сцепления, рулевого привода и направляющего аппарата подвески), позволили создать экспортно-ориентированные производства и обеспечило поставки на конвейеры лидерам мирового автопрома, обеспечило существенный экономический эффект от внедрения шести государственных и межгосударственных стандартов на продукцию [9 – 11] и систему менеджмента.

Выводы

1. Предложен и внедрен комплекс моделей и методов для обеспечения надежности процессов изготовления машин по *параметрам качества выпускаемой продукции, экологическим последствиям и показателям охраны труда* различных уровней организации материи от физической до социальной. В основе которых – достижение вероятности выполнения номинальной величины параметра продукции (или процесса) в зависимости от серьезности последствий несоответствия. Указанное реализуется путем опережающего планирования качества и вероятности появления несоответствий от всех идентифицированных причин на всех уровнях рассмотрения от физического до социального.

2. Развита практическая методика обеспечения надежности процессов изготовления колесных машин, с одной стороны, дополняющие традиционные, с другой – позволяющие повысить показатель ppm с 3000 до 50 и менее.

3. Предложенный комплекс моделей и методов позволяет в зависимости от степени важности параметров продукции на этапах жизненного цикла на основе метода последовательных приближений и стохастического детерминизма достигать приемлемой с позиции «затраты – риск» вероятности несоответствия продукции и процессам изготовления требованиям.

4. Предложенные подходы и модели апробированы на практике при подготовке и производстве элементов колесных машин, продемонстрировали свою адекватность [9 – 11] и имеют дальнейшие перспективы как развития, так и широкого внедрения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Колодки, диски и барабаны тормозные транспортных средств. Общие технические требования, правила приемки и методы испытаний: ГОСТ 31341-2007. – Введен с 01.04.2008.
2. Справочник технолога-машиностроителя / под ред. А.Г. Косиловой. – М.: Машиностроение, 1985. – Т. 1. – 656 с.
3. Надежность в технике. Технологические системы. Методы оценки надежности по параметрам качества изготавливаемой продукции: ГОСТ 27. 202-83. – Введен с 01.07.84.
4. Надежность в технике. Технологические системы. Общие требования к методам оценки надежности: ГОСТ 27.203-83. – Введен с 01.07.84.
5. Надежность в технике. Технологические системы. Технические требования к методам оценки надежности по параметрам производительности: ГОСТ 27.204-83. – Введен с 01.01.85.
6. Методические указания. Надежность в технике. Методы контроля надежности изделий по параметрам технологического процесса их изготовления: РД 50-706-91. – Введен с 01.01.92.
7. Технологические основы управления качеством машин / А.С. Васильев [и др.]. – Минск: ФТИ; Полоцк: ПГУ, 2001. – 216 с.
8. Ящерицин, П.И. Основы проектирования технологических процессов машиностроения: моногр. / П.И. Ящерицин, Л.М. Акулович, М.Л. Хейфец. – Минск: Технопринт, 2006. – 248 с.
9. Основы системы менеджмента качества машиностроительного предприятия / В.И. Арбузов [и др.]. – Минск: Технопринт, 2000. – 280 с.
10. Панов, А.Н. Как победить в конкурентной борьбе. Гармоничная система качества – основа эффективного менеджмента организации / А.Н. Панов; РИА «Стандарты и качество». – М., 2003. – 272 с.
11. Горбачевич, М.И. Проектирование транспортных средств: нагруженность, повреждение, ресурс: моногр. / М.И. Горбачевич, А.Н. Панов, С.М. Минюкович; под общ. ред. А.Н. Панова. – Минск: Технопринт, 2005. – 264 с.
12. Системы менеджмента качества. Особые требования по применению ISO 9001 для организаций-производителей серийных и запасных частей для автомобильной промышленности: ISO/TS 16949-2002.
13. Менеджмент риска. Повышение надежности. Статистические критерии и методы оценки: ГОСТ Р 51901.16-2005.
14. Менеджмент риска. Применение марковских методов: ГОСТ Р 51901.15-2005.
15. Менеджмент риска. Программа повышения надежности: ГОСТ Р 51901.6-2005.
16. Менеджмент риска. Руководство по применению методов анализа надежности: ГОСТ Р 51901.5-2005.
17. Менеджмент риска. Руководство по применению при проектировании: ГОСТ Р 51901.4-2005.
18. Менеджмент риска. Метод структурной схемы надежности: ГОСТ Р 51901.14-2005.
19. Менеджмент риска. Анализ дерева неисправностей: ГОСТ Р 51901.13-2005.
20. Менеджмент риска. Анализ риска технологических систем: ГОСТ Р 51901.1-2002.
21. Менеджмент риска. Системы менеджмента надежности: ГОСТ Р 51901.2-2005.
22. Анализ причин и последствий отказов (FMEA): QS 9000-96.

Поступила 17.11.2008