

УДК 621.01-192:[531.1+531.3]

В.Б. АЛЬГИН, д-р техн. наук, профессорзаместитель директора по научной работе¹

E-mail: vladimir.algin@gmail.com

А.А. АЛЕКСАНДРОВ

научный сотрудник лаборатории проблем надежности и металлоемкости карьерных автосамосвалов

большой и особо большой грузоподъемности¹

E-mail: alexandr.alexandrov1988@gmail.ru

¹Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, г. Минск, Республика Беларусь

Статья поступила 24.02.2015.

НАДЕЖНОСТЬ — КЛЮЧ К КАЧЕСТВУ

Представлена структура системы обеспечения надежности отечественной техники. Система включает информационное и научное обеспечение, подготовку кадров, разработку типовых программ обеспечения надежности товаров, подготовку стандартов и является одним из ключевых элементов эффективной системы качества. Описаны основные направления деятельности созданного в Республике Беларусь технического комитета ТК ВУ 33 «Надежность в технике». Предложены объекты для первоочередной стандартизации. Приведены различные трактовки основных понятий в области надежности, представленные в отечественных, российских и международных стандартах. Показаны особенности расчета надежности технически сложных товаров.

Ключевые слова: качество, надежность, ресурсная механика, система обеспечения надежности, государственные стандарты

Введение. Обсуждение проблемы качества во многих случаях принимает характер заклинаний («Надо повышать качество!», «Надо улучшать качество!» и т. д.), либо сводится к усилению мер контроля уже произведенной продукции. При этом пропадает конкретика. Говорить просто о качестве (в общем плане) не имеет смысла. Качество — это совокупность характеристик объекта, относящихся к его способности удовлетворять установленные и предполагаемые потребности (ISO 9000).

Структура понятия качества представлена на рисунке 1. Каждое из свойств характеризуется определенными показателями. К главным свойствам относятся «безопасность» и «надежность». Безопасность закрепляется в технических регламентах и обеспечивается на государственном уровне. Объекты, не удовлетворяющие нормативным требованиям безопасности, не допускаются к эксплуатации.

Требования надежности на сегодняшний день не являются обязательными. Однако безопасность во многом определяется надежностью. ненадежные системы могут быть безопасными, если их отказы не приводят к опасным событиям. Вместе с тем безопасность предусматривает анализ отказов и их последствий. Для количественных оценок опасности используется понятие риска.

В ГОСТе Р 51901.2-2005 отмечается: «Поскольку менеджмент риска является частью менеджмента надежности, то настоящий стандарт поможет разработчикам требований управления риском, оценки и анализа риска выделить этапы системы менеджмента надежности, к которым эти требова-

ния относятся, и более четко сформулировать цели, задачи и программу менеджмента риска».

ГОСТ Р 51897-2002 определяет риск следующим образом: «риск (risk): сочетание вероятности события и его последствий. Примечание: термин риск обычно используется тогда, когда существует хотя бы возможность негативных последствий», «количественная оценка риска (risk estimation): присвоение значений вероятности и последствий риска».

В большинстве стран принята концепция «*приемлемого риска*» (ALARA — as low as risk acceptable), позволяющая использовать принцип «предвидеть и предупредить» (экономический аспект).

КАЧЕСТВО

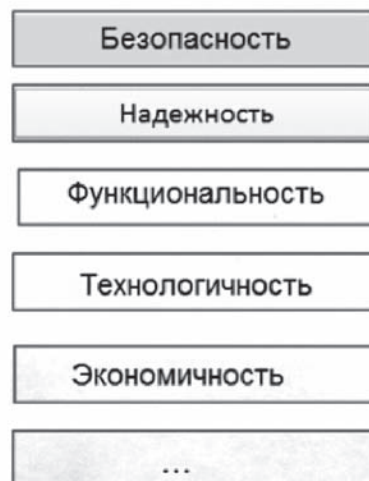


Рисунок 1 — Структура понятия качества

Таким образом, налицо взаимопроникающий характер рассмотренных понятий: надежность, безопасность (риск), экономичность.

В настоящее время Правительством Республики Беларусь инициирована работа по повышению качества отечественных технических изделий, что необходимо для обеспечения их конкурентоспособности на мировых рынках. Особое внимание уделяется надежности. Приняты Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 16 июня 2014 г. № 578 «О качестве технически сложных товаров» [1] и решение совместной коллегии Минпрома, Минсельхозпрода и Госстандарта от 17 декабря 2014 г. № 12/4/50/59 по вопросу: «Качество разработки, постановки на производство и изготовления сельскохозяйственной техники». В пункте 19 указанного Постановления поручено Госстандарту с Минпромом и НАН Беларуси в 2015 г. сформировать национальный технический комитет ТК ВУ «Надежность в технике».

В результате в целях совершенствования работ по стандартизации в области оценки и обеспечения надежности изделий приказом Председателя Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь В.В. Назаренко (приказ от 15 января 2015 г. № 3) создан национальный технический комитет по стандартизации «Надежность в технике».

Функции по ведению секретариата возложены на Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси.

Председателем технического комитета назначен Альгин В.Б., доктор технических наук, профессор, заместитель директора по научной работе Объединенного института машиностроения НАН Беларуси; ответственным секретарем — Александров А.А., научный сотрудник Объединенного института машиностроения НАН Беларуси.

В состав национального технического комитета по стандартизации ТК ВУ 33 «Надежность в технике» вошли следующие организации:

- ОАО «МАЗ» — управляющая компания холдинга «БЕЛАВТОМАЗ»;
- ОАО «БЕЛАЗ» — управляющая компания холдинга «БЕЛАЗ-ХОЛДИНГ»;
- ОАО «Белорусский металлургический завод» — управляющая компания холдинга «Белорусская металлургическая компания»;
- ОАО «МЗОР» — управляющая компания холдинга «Белстанкоинструмент»;
- ОАО «Гомсельмаш»;
- ГУ «Белорусская МИС»;
- РУП «Межотраслевая хозрасчетная лаборатория по нормированию и экономии драгоценных металлов и драгоценных камней»;
- ГНУ «Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого Национальной академии наук Беларуси»;
- Белорусский государственный университет;
- Белорусский государственный институт стандартизации и сертификации (БелГИСС);

ГНУ «Объединенный институт машиностроения Национальной академии наук Беларуси».

Деятельность комитета направлена на стандартизацию в области оценки и обеспечения надежности технических изделий на всех стадиях их жизненного цикла.

Методическое руководство работой и координацию деятельности ТК ВУ 33 осуществляет Госстандарт. При проведении работ в рамках ТК используется модуль «е-ТК».

Стать членом ТК ВУ 33 может любая организация, если она имеет заинтересованность в проведении работ по техническому нормированию и стандартизации в области, закрепленной за техническим комитетом.

Справочно. Международные стандарты в области надежности по всем соответствующим технологическим направлениям разрабатывает технический комитет МЭК/ТК 56 «Надежность» (IEC/TC 56 «Dependability»). Аналогичные национальные комитеты имеются в ряде стран. Так, в России действует ТК 119 «Надежность в технике».

В статье рассматриваются основные направления деятельности ТК ВУ 33 «Надежность в технике» и проблемные вопросы.

Система обеспечения надежности технических изделий. Необходимым элементом системы обеспечения качества является эффективная система обеспечения надежности изделий отечественных производителей, включающая организационно-управленческие решения, научные достижения, поддержку в сфере стандартизации, наличие соответствующих кадров. Структура предлагаемой системы представлена на рисунке 2.

Одним из «продуктов» системы должны стать типовые программы обеспечения надежности (ПОН) отечественных изделий, включающие расчеты их показателей надежности на всех стадиях жизненного цикла изделий, начиная с концептуального уровня. Важен также современный процесс учета отказов системы в эксплуатации с использованием Интернет технологий.



Рисунок 2 — Структура системы обеспечения надежности

Неотъемлемым элементом системы является процесс подготовки стандартов при координации со стороны технического комитета «Надежность в технике». На рисунке 3 обозначены основные направления деятельности комитета.

Программа стандартизации ТК ВУ 33 включает реализацию следующих мероприятий:

- разработка стандартов «первой необходимости». Жизненный цикл современных технических изделий, в частности, технически сложных товаров, охватывает следующие этапы: проведение НИР — проектирование — изготовление — испытания — эксплуатация — сервис — утилизация. Первоочередными для разработки представляются стандарты по следующим направлениям: программы обеспечения надежности машин; расчет надежности машин при проектировании; оценка расхода ресурса машин в эксплуатации; диагностирование трансмиссионных узлов машин в эксплуатации и ряд других;
- анализ и ревизия действующей совокупности стандартов в области надежности для их реальной оценки и использования в современном производстве технических изделий;
- выработка позиции в отношении «западной» и «советской» школы стандартизации в области надежности. Предполагается взаимодействие по данной проблеме с российским комитетом «Надежность в технике» и развитие отечественной системы стандартов в области надежности с учетом наличия указанных школ и соответствующих им подходов;
- изучение связей стандартов в областях качества, надежности и безопасности (риска). Выработка подходов и методических рекомендаций по их эффективному совместному применению.

Информационное обеспечение деятельности ТК ВУ 33 «Надежность в технике». При разработках и использовании стандартов необходимо ознакомиться с уже существующими и действующими в Республике Беларусь техническими нормативными правовыми актами. С целью предоставления полной, достоверной и своевременной информации о технических нормативных правовых актах юриди-

ческим и физическим лицам был принят указ Президента Республики Беларусь от 16.07.2007 г. № 318 «О порядке доведения до всеобщего сведения технических нормативных правовых актов» [2].

В соответствии с данным Указом создан Национальный фонд технических нормативных правовых актов (Национальный фонд ТНПА) на основе Национального фонда технических нормативных правовых актов в области технического нормирования и стандартизации. Национальный фонд ТНПА формируется и ведется Госстандартом. Техническое обслуживание этого процесса осуществляет научно-производственное республиканское унитарное предприятие «Белорусский государственный институт стандартизации и сертификации» (БелГИСС). В регионах республики Национальный фонд представлен разветвленной сетью информационных фондов технических нормативных правовых актов в территориальных центрах стандартизации, метрологии и сертификации Госстандарта (<http://tnpa.by/ZakonOsnov.php>).

На интернет-сайте ТНПА (<http://tnpa.by>) можно ознакомиться с полным перечнем действующих в Республике Беларусь технических нормативных правовых актов. При выборе тем для разработки стандартов и оформлении заявок техническим комитетом ТК ВУ 33 «Надежность в технике» был проведен поиск действующих стандартов по ключевому слову «надежность» (рисунок 4).

Для проведения поиска на главной странице сайта нужно выбрать выпадающий список «Каталог ТНПА государственных стандартов», затем ссылку «Расширенный поиск». В поле наименований вводится наименование или его часть (в рамках проведенного поиска вводилось усеченное ключевое слово «надежность»). Для того, чтобы



Рисунок 3 — Деятельность ТК ВУ 33 «Надежность в технике»

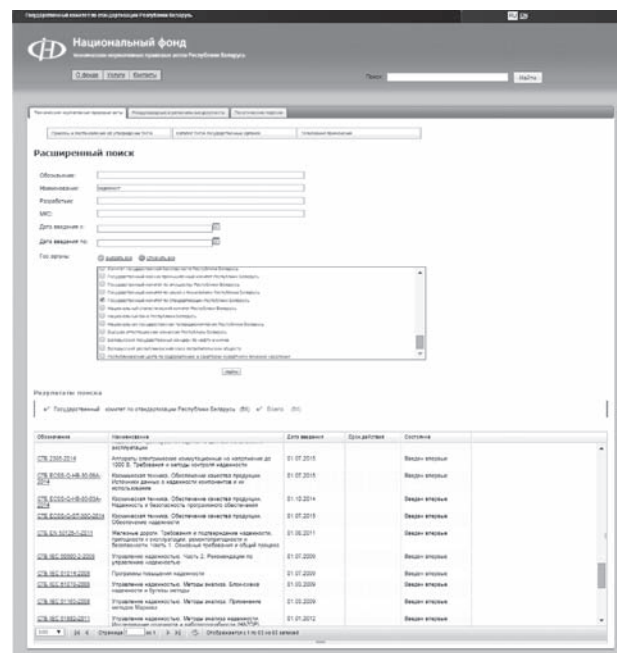


Рисунок 4 — Расширенный поиск ТНПА в области «надежность»

просмотреть ТНПА, утвержденные только Госстандартом, необходимо снять выбор всех флажков «Гос. органы» (кнопкой «Отменить все»), оставив только флажок «Государственный комитет по стандартизации Республики Беларусь», затем выбрать кнопку «найти» (см. рисунок 1).

В результате поиска отобразилось 61 ТНПА (из которых 11 отменены и 1 заменен), связанные с тематикой «надежность». Для выявления наиболее общих ТНПА по рассматриваемой проблеме были отфильтрованы узкоспециальные стандарты по надежности сельскохозяйственной техники, строительных конструкций, космической техники и т.д. Выделенные стандарты были условно разделены на две группы: ГОСТы, относящиеся к классу 27 (таблица 1), и принятые в качестве СТБ международные стандарты ИЕС (МЭК) (таблица 2).

Поддержку работы технических комитетов осуществляет БелГИСС. Для этого используется программный модуль «Технические комитеты» (е-ТК)

(доступен по адресу <https://ips3.belgiss.by/ЕТК>). Модуль е-ТК включает информацию о реквизитах всех действующих международных и национальных ТК и их областях деятельности, планах работ и т. д.

При регистрации ТК ВУ 33 «Надежность в технике» в модуле е-ТК создана учетная запись с информацией о нем. В карточке ТК (рисунок 5) представлена информация о полноправных членах и наблюдателях ТК, организации, ведущей секретариат, и области деятельности ТК. Доступ к карточке ТК предоставляется всем членам ТК. В модуле реализована функциональность оперативной коммуникации между членами ТК, что повышает эффективность работы технических комитетов и оперативного обмена информацией.

На странице ТК предусмотрены вкладки «Документы ТК ВУ 33», «Рассмотрение», «Фонд закрепленных документов», «Оценка эффективности».

Особый интерес представляет функция «Запросы на тексты документов», с помощью которой

Таблица 1 — Выборка из системы стандартов «Надежность в технике» (класс 27, источник: <http://tnpa.by>)

Стандарт	Название	Дата введения
ГОСТ 27.001-95	Система стандартов «Надежность в технике». Основные положения	01.10.1997
ГОСТ 27.002-89	Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения	01.07.1990
ГОСТ 27.003-90	Надежность в технике. Состав и общие правила задания требований по надежности	01.01.1992
ГОСТ 27.004-85	Надежность в технике. Системы технологические. Термины и определения	01.07.1986
ГОСТ 27.005-97	Надежность в технике. Модели отказов. Основные положения	01.10.2005
ГОСТ 27.202-83	Надежность в технике. Технологические системы. Методы оценки надежности по параметрам качества изготавливаемой продукции	01.07.1984
ГОСТ 27.203-83	Надежность в технике. Технологические системы. Общие требования к методам оценки надежности	01.07.1984
ГОСТ 27.204-83	Надежность в технике. Технологические системы. Технические требования к методам оценки надежности по параметрам производительности	01.01.1985
ГОСТ 27.205-97	Надежность в технике. Проектная оценка надежности сложных систем с учетом технического и программного обеспечения и оперативного персонала. Основные положения	01.10.2005
ГОСТ 27.301-95	Надежность в технике. Расчет надежности. Основные положения	01.10.1997
ГОСТ 27.310-95	Надежность в технике. Анализ видов, последствий и критичности отказов. Основные положения	01.10.1997
ГОСТ 27.402-95	Надежность в технике. Планы испытаний для контроля средней наработки до отказа (на отказ). Часть 1. Экспоненциальное распределение	01.10.1997
ГОСТ 27.410-87	Надежность в технике. Методы контроля показателей надежности и планы контрольных испытаний на надежность	01.01.1989
ГОСТ 27.506-2000	Надежность в технике. Планы испытаний для контроля средней наработки до отказа (на отказ). Часть 2. Диффузионное распределение	01.10.2005

Таблица 2 — Выборка стандартов СТБ ИЕС (СТБ МЭК) по надежности (источник: <http://tnpa.by>)

Стандарт	Название	Дата введения
СТБ ИЕС 60300-2-2008	Управление надежностью. Часть 2. Рекомендации по управлению надежностью	01.07.2009
СТБ ИЕС 61014-2008	Программы повышения надежности	01.07.2009
СТБ ИЕС 61078-2008	Управление надежностью. Методы анализа. Блок-схема надежности и булевы методы	01.03.2009
СТБ ИЕС 61165-2008	Управление надежностью. Методы анализа. Применение методов Маркова	01.03.2009
СТБ ИЕС 61882-2011	Управление надежностью. Методы анализа надежности. Исследование опасности и работоспособности (HAZOP)	01.01.2012
СТБ МЭК 60300-3-9-2005	Управление надежностью. Анализ риска технологических систем	01.01.2006

можно получить доступ к электронной версии ТНПА по интересующей тематике (рисунок 6).

О разработке системообразующих стандартов. Действующая в Республике Беларусь система базовых стандартов в области надежности является незавершенной (см. таблицы 1 и 2), ряд ее элементов постепенно устаревает, некоторые попали в систему отечественных стандартов по принципу межгосударственной стандартизации, на практике они не применяются. Этим во многом объясняется обострение проблемы обеспечения надежности отечественных технически сложных товаров.

Поэтому целесообразно в первоочередном порядке разработать СТБ «Менеджмент надежности. Часть 1. Руководство по менеджменту и применению». В существенной степени он будет коррелироваться с международным стандартом ИЕС 60300-1:2014, имеющим аналогичное название. Основное требование к данному государственному стандарту — описать общий процесс обеспечения надежности. Он станет базой для разработки комплекса стандартов, детализирующих общий процесс.

В стандарте заинтересованы отечественные производители технических изделий, а также их потребители.

Стандарт определяет облик (характерные особенности) системы менеджмента надежности. Он представляет собой руководство по планированию и осуществлению деятельности в сфере обеспечения надежности на протяжении всего жизненного цикла изделия с учетом ряда требований, которые касаются безопасности и окружающей среды.

Основные части стандарта описывают: понимание надежности и ее менеджмента; систему менеджмента надежности; применение системы менеджмента надежности, включая программу обеспечения надежности и деятельность в сфере надежности на протяжении жизненного цикла изделия.

Стандарт ориентирован на руководство и технический персонал, которые занимаются вопросами надежности. При этом он имеет мировоззренческий характер, поскольку в нем отражены системные вопросы обеспечения надежности.

Стандарт не предназначен для целей сертификации.

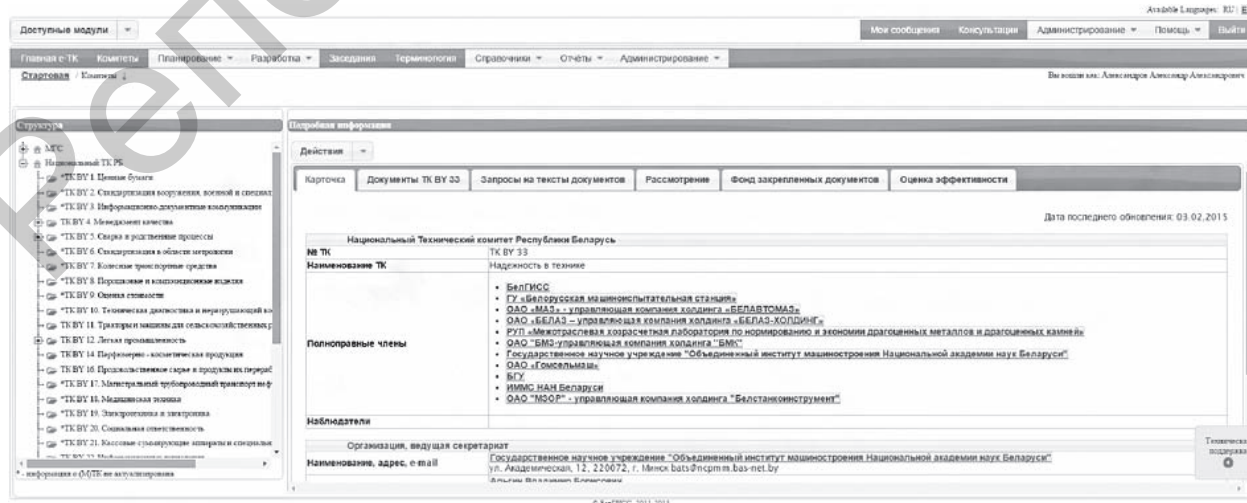


Рисунок 5 — Общий вид программного модуля е-ТК, карточка ТК ВУ 33 «Надежность в технике»

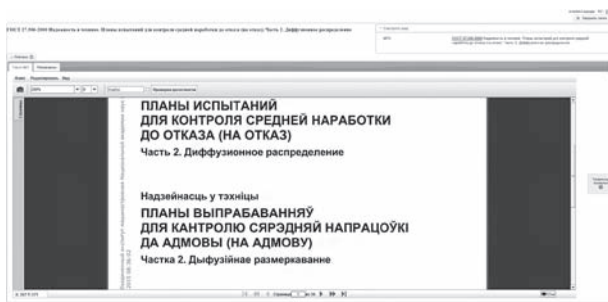


Рисунок 6 — Доступ к ТНПА по тематике ТК в модуле е-ТК

Научная основа для разработки стандарта. В последние годы выполнен комплекс НИР, охватывающий вопросы оценки и обеспечения надежности. К ним относятся:

- работы по гранту Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований выполнен совместный проект Объединенного института машиностроения НАН Беларуси с Институтом машиноведения им. А.А. Благодравова РАН, № 12-08-90026-Бел_а (РФ)/Т12Р-004 (РБ), (2012–2014 годы) «Фундаментальные исследования динамических процессов эксплуатационных воздействий, накопления повреждений и разрушений в объектах машиностроения, прогнозирование ресурса на стадии проектирования и оценка их надежности», научный руководитель с белорусской стороны доктор технических наук Альгин В.Б.;

- работы в рамках ГПНИ «Механика, техническая диагностика, металлургия» (2011–2015 годы); Объединенным институтом машиностроения НАН Беларуси выполняется задание 1.06 «Развитие теории мобильных машин, методов расчета функциональных свойств, оценки и обеспечения надежности узлов, агрегатов и машин в целом при проектировании и эксплуатации. Разработка новых методов расчета прочности и износостойкости силовых систем», этап 1.06.1: «Развитие мультидисциплинарной теории мобильной техники, методов расчета, оценки, включая имитационное моделирование, полигонные испытания, оптимизацию конструктивных параметров, и обеспечения на этой основе ее основных ресурсно-функциональных свойств: экономичности, экологичности, безопасности и ресурса», научный руководитель доктор технических наук Альгин В.Б.

В результате разработано научное направление «Ресурсная механика машин», базой которых является механика, теория надежности и системный анализ. Это позволило преодолеть разрыв между механикой и традиционной теорией надежности (в основном ориентированной на электротехнические изделия) и довести до практического использования подходы по управлению надежностью объектов машиностроительной техники [6–16].

О соответствии требованиям международных, региональных и национальных стандартов других государств. Как показано выше, часть отечественных стандартов в области надежности соответствуют рос-

сийским (советским) документам (см. таблицу 1), а часть международным (см. таблицу 2). При этом возникает проблемная ситуация: это различная трактовка основных понятий в области надежности в российских стандартах (они основываются на советской школе надежности) и международных стандартах ИЕС. Точнее говорить о подходах к оценке надежности 1) в машиностроении (ГОСТы) и 2) электротехнической отрасли (стандарты ИЕС), которые не гармонизированы.

1) ГОСТ 27.002–89 «Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения» определяет надежность следующим образом:

«Надежность (Reliability, dependability) — Свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования. Примечание. Надежность является комплексным свойством, которое в зависимости от назначения объекта и условий его применения может включать безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохранность или определенные сочетания этих свойств».

2) В международном стандарте ИЕС 60300-1:2014 «Dependability management - Part 1: Guidance for management and application» («Менеджмент надежности. Часть 1: Руководство по менеджменту и применению») во Введении о надежности говорится следующим образом:

«This part of IEC 60300 describes the processes involved in managing dependability within an organization and establishes a framework for managing dependability activities for the purpose of achieving dependability performance.

Dependability is the ability of an item to perform as and when required. Dependability is a term used to describe the time-dependent characteristics associated with the performance of an item. Dependability includes characteristics such as **availability**, **reliability**, **maintainability** and **supportability** under given conditions of use and **maintenance** support requirements» (http://webstore.iec.ch/preview/info_iec60300-1%7Bed3.0%7Db.pdf) (жирным выделено нами).

Перевод (наш): «Настоящая часть ИЕС 60300 описывает процессы, связанные с менеджментом надежности в организации, и устанавливает систему для управления деятельностью в сфере надежности с целью достижения характеристик надежности.

Надежность — это способность объекта функционировать, так как требуется и когда требуется. Надежность — это термин, используемый для описания зависящих от времени характеристик, связанных с функционированием объекта. Надежность включает такие свойства, как **готовность**, **безотказность**, **ремонтпригодность** и **обслуживаемость** при заданных условиях эксплуатации, а также **обеспеченность ремонтом**».

Известный стандарт ISO 9000 (International standard ISO 9000 Third edition. Quality management

systems — Fundamentals and vocabulary; 3.5.3) определяет надежность следующим образом:

«Dependability: collective term used to describe the availability performance and its influencing factors: reliability performance, maintainability performance and maintenance support performance.

NOTE Dependability is used only for general descriptions in non-quantitative terms». [IEC 60050-191:1990].

Перевод (наш): «Надежность — собирательный термин, используемый для описания характеристики готовности и влияющих на него показателей: безотказности, ремонтпригодности и обеспеченности обслуживанием.

Примечание: надежность (dependability) используется только для общих описаний для не количественных терминов».

Справочно. Определение терминов 191-02-03 dependability; 191-02-05 availability (performance) и 191-02-06 reliability (performance) в документах МЭК [International Electrotechnical Vocabulary. Chapter 191: Dependability and Quality of Service / International Electrotechnical Commission. Publication 50 (191)]:

191-02-03 dependability: the collective term used to describe the availability performance and its influencing factors: reliability performance, maintainability performance and maintenance support performance.

Note — Dependability is used only for general descriptions in non-quantitative terms.

191-02-05 availability (performance): the ability of an item to be in a state to perform a required function

under given conditions at a given instant of time or over a given time interval, assuming that the required external resources are provided.

Note 1 — This ability depends on the combined aspects of the reliability performance, the maintainability performance and the maintenance support performance.

Note 2 — Required external resources, other than maintenance resources do not affect the availability performance of the item.

Note 3 — In French the term «disponibilite» is also used in the sense of «instantaneous availability».

191-02-06 reliability (performance): the ability of an item to perform a required function under given conditions for a given time interval.

Note 1 — It is generally assumed that the item is in a state to perform this required function at the beginning of the time interval.

Note 2 — Generally, reliability performance is quantified using appropriate measures. In some applications, these measures include an expression of reliability performance as a probability, which is also called reliability (see 191-12-01).

Отображение свойств «качество сервиса» и «готовность» в документах ИЕС представлено на рисунке 7.

Основные отличия подходов 1) и 2) состоят в следующем.

Центральное место в концепции надежности в международных электротехнических стандартах отводится готовности.

«Готовность» (availability) определяется следующим образом: Готовность — свойство объекта

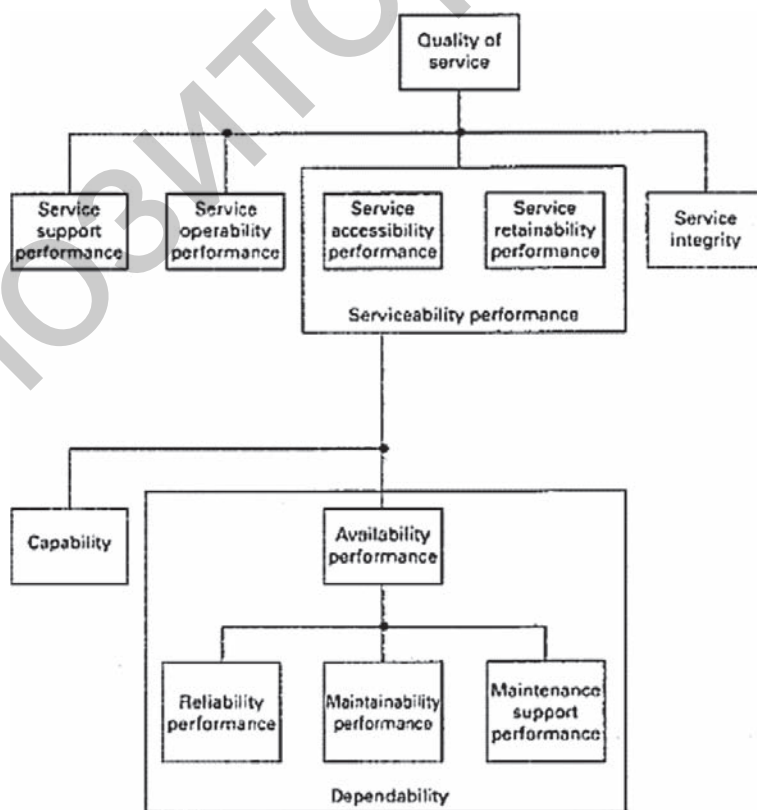


Рисунок 7 — Отображение свойств «качество сервиса» и «готовность» в документах ИЕС (МЭК) (<http://www.electropedia.org/iev/iev.nsf/display?openform&ievref=191-02-03>)

быть в состоянии выполнять требуемую функцию при заданных условиях в данный момент времени или в течение заданного интервала времени при условии обеспечения необходимыми внешними ресурсами (International Electrotechnical Vocabulary. Chapter 191: Dependability and Quality of Service / International Electrotechnical Commission. Publication 50 (191); ОСТ 45.153-99. Надежность средств электросвязи. Термины и определения).

ГОСТ 27.002-89 «Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения» не выделяет готовность в отдельное свойство. Вместе с тем показатели, описывающие это свойство в стандарте присутствуют. Так, в разделе «Комплексные показатели надежности» даны определения ряда комплексных показателей, среди которых: «Коэффициент готовности» [(Instantaneous) availability function] — Вероятность того, что объект окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение которых применение объекта по назначению не предусматривается.

Второе существенное отличие — отсутствие в международных стандартах по электротехнике в числе основных свойств «долговечности». Оно присутствует, но не входит в круг свойств, имеющих отношение к готовности.

Об анализе ТНПА или технических документов, относящихся к данному объекту стандартизации. Прототипом служит IEC 60300-1:2014 «Dependability management — Part 1: Guidance for management and application» («Менеджмент надежности. Часть 1: Руководство по менеджменту и применению»). Publication date 2014-05-23.

В части понимания надежности и терминов придется делать выбор между машиностроительной и электротехнической трактовками, либо дать две трактовки с указанием областей применения.

Разрабатываемый ТНПА взаимодействует с:

- ГОСТ 27.001-95 Система стандартов «Надежность в технике». Основные положения;
- ГОСТ 27.002-89 «Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения».

Справочно. С 1 января 2011 г. в России был введен в действие национальный стандарт ГОСТ Р 27.002-2009 «Надежность в технике. Термины и определения», который фактически являлся переводом 1 издания МЭК 60050 (191) и отменил для применения на территории Российской Федерации ГОСТ 27.002-89. Но с началом применения во многих отраслях стали появляться критические замечания в адрес нового стандарта, т. к. он не в полной мере соответствовал сложившейся отечественной практике в области надежности, основанной на ГОСТ 27.002-89. После ряда обсуждений в конце 2012 г. было принято решение приостановить действие ГОСТ Р 27.002-2009 и восстановить действие старого ГОСТ.

В настоящее время МЭК перерабатывает международный стандарт и готовит его второе издание.

Также начата актуализация ГОСТ 27.002-89, чем и занимается рабочая группа российского ТК 119 «Надежность в технике».

О разработке стандарта по расчету надежности технически сложных товаров (ТСТ). Как отмечалось выше, надежность является составляющей, во многом определяющей качество изделий. Кроме того, надежность связана с безопасностью, требования к которой определяются техническими регламентами Таможенного Союза, например, относящимся к технически сложным товарам: ТР ТС 010/2011, 018/2011, 031/2012 [3–5].

Справочно. Так, ТР ТС 010/2011 «О безопасности машин и оборудования» содержит достаточно развитый набор определений, относящихся к безопасности и надежности. Ниже приводятся некоторые из них:

- «критический отказ» — отказ машины и (или) оборудования, возможными последствиями которого является причинение вреда жизни или здоровью человека, имуществу, окружающей среде, жизни и здоровью животных и растений;
- «обоснование безопасности» — документ, содержащий анализ риска, а также сведения из конструкторской, эксплуатационной, технологической документации о минимально необходимых мерах по обеспечению безопасности, сопровождающий машину и (или) оборудование на всех стадиях жизненного цикла и дополняемый сведениями о результатах оценки рисков на стадии эксплуатации после проведения капитального ремонта;
- «предельное состояние» — состояние машины и (или) оборудования, при котором их дальнейшая эксплуатация недопустима или нецелесообразна либо восстановление их работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно;
- «риск» — сочетание вероятности причинения вреда и последствий этого вреда для жизни или здоровья человека, имущества, окружающей среды, жизни или здоровья животных и растений.

Рассматриваемый ТР формулирует этапы деятельности по обеспечению безопасности и надежности в Статье 4 «Обеспечение безопасности машин и (или) оборудования при разработке (проектировании)», которая включает следующие положения:

1. При разработке (проектировании) машины и (или) оборудования должны быть идентифицированы возможные виды опасности на всех стадиях жизненного цикла.

2. Для идентифицированных видов опасности должна проводиться оценка риска расчетным, экспериментальным, экспертным путем или по данным эксплуатации аналогичных машин и (или) оборудования. Методы оценки риска могут устанавливаться в стандартах, указанных в пункте 1 статьи 6 настоящего технического регламента.

3. При разработке (проектировании) должен определяться и устанавливаться допустимый риск для машины и (или) оборудования. При этом уровень безопасности, соответствующий установленному риску, обеспечивается:

- полнотой научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ;
- проведением комплекса необходимых расчетов и испытаний, основанных на верифицированных в установленном порядке методиках;
- выбором материалов и веществ, применяемых в отдельных видах машин и (или) оборудования, в зависимости от параметров и условий эксплуатации;
- установлением разработчиком (проектировщиком) критериев предельных состояний...

Кроме того, ТР содержит Приложение № 1 «Основные требования безопасности машин и (или) оборудования», в котором приводится ряд требований к конструкции машины и ее составных частей, например:

«28. Детали машин и (или) оборудования и их соединения должны выдерживать усилия и напряжения, которым они подвергаются при эксплуатации. Долговечность применяемых материалов должна соответствовать предусматриваемой эксплуатации, учитывать появление опасности, связанной с явлениями усталости, старения, коррозии и износа».

Одним из проблемных вопросов является оценка и обеспечение надежности на ранних стадиях жизненного цикла, когда основным инструментом является расчет. На сегодняшний день на предприятиях-производителях технически сложных товаров (ТСТ) расчеты надежности не проводятся. Во многом это обусловлено отсутствием соответствующих нормативных документов, достаточно конкретными и на современном уровне устанавливающих принципы и правила расчета таких изделий.

Справочно. Действующий ГОСТ 27.301-95 «Надежность в технике. Расчет надежности. Основные положения» разработан около 20 лет назад. Он устанавливает общие правила расчета надежности технических объектов, требования к методикам и порядок представления результатов расчета надежности. Основные положения данного ГОСТА состоят в следующем.

По основным принципам расчета свойств, составляющих надежность, или комплексных показателей надежности объектов различают: методы прогнозирования, структурные методы расчета, физические методы расчета.

Методы прогнозирования применяют:

- для обоснования требуемого уровня надежности объектов при разработке технических задания и/или оценки вероятности достижения заданных показателей надежности (ПН) при проработке технических предложений и анализе требований ТЗ (контракта);
- для ориентировочной оценки ожидаемого уровня надежности объектов на ранних стадиях их проектирования, когда отсутствует необходимая информация для применения других методов расчета надежности;
- для расчета интенсивностей отказов серийно выпускаемых и новых электронных и электротехни-

ческих элементов разных типов с учетом уровня их нагруженности, качества изготовления, областей применения аппаратуры, в которой используются элементы;

- для расчета параметров типовых задач и операций технического обслуживания и ремонта объектов с учетом конструктивных характеристик объекта, определяющих его ремонтпригодность.

Структурные методы являются основными методами расчета показателей безотказности, ремонтпригодности и комплексных ПН в процессе проектирования объектов, поддающихся разукрупнению на элементы, характеристики надежности которых в момент проведения расчетов известны или могут быть определены другими методами (прогнозирования, физическими, по статистическим данным, собранным в процессе их применения в аналогичных условиях). Эти методы применяют также для расчета долговечности и сохраняемости объектов, критерии предельного состояния которых выражаются через параметры долговечности (сохраняемости) их элементов.

Расчет ПН структурными методами в общем случае включает:

- представление объекта в виде структурной схемы, описывающей логические соотношения между состояниями элементов и объекта в целом с учетом структурно-функциональных связей и взаимодействия элементов, принятой стратегии обслуживания, видов и способов резервирования и других факторов;
- описание построенной структурной схемы надежности (ССН) объекта адекватной математической моделью, позволяющей в рамках введенных предположений и допущений вычислить ПН объекта по данным о надежности его элементов в рассматриваемых условиях их применения.

Физические методы применяют для расчета безотказности, долговечности и сохраняемости объектов, для которых известны механизмы их деградации под влиянием различных внешних и внутренних факторов, приводящие к отказам (предельным состояниям) в процессе эксплуатации (хранения).

Методы основаны на описании соответствующих процессов деградации с помощью адекватных математических моделей, позволяющих вычислять ПН с учетом конструкции, технологии изготовления, режимов и условий работы объекта по справочным или определенным экспериментально физическим и иным свойствам веществ и материалов, используемых в объекте.

В общем случае указанные модели при одном ведущем процессе деградации могут быть представлены моделью выбросов некоторого случайного процесса за пределы границ допустимой области его существования, причем границы этой области могут быть также случайными и коррелированными с указанным процессом (моделью непревышения).

При наличии нескольких независимых процессов деградации, каждый из которых порождает свое распределение ресурса (наработки до отказа), результирующее распределение ресурса (наработки объекта до отказа) находят с использованием модели «слабейшего звена» (распределение минимума независимых случайных величин).

Очевидно, что для расчета надежности технически сложных товаров (автомобилей, тракторов и т. д.) наличие и применение рассмотренного ГОСТа не решает проблему. Необходим государственный стандарт, устанавливающий принципы, правила и методы, учитывающие особенности ТСТ. Основные особенности состоят в следующем:

1. *Многоуровневая структура объекта*, которую необходимо учитывать и воспроизводить в расчетах: подверженные разрушительным процессам локальные области деталей, конструктивные элементы деталей, детали, составные части машины, машина в целом. Переход к более высокому структурному уровню происходит с учетом сложной логики отказов (предельных состояний) рассматриваемых по иерархии элементов.

2. *Разнородность и нестандартность компонентов*. В отличие от электронных и электрических систем ТСТ, содержат большое число механических компонентов, которые состоят из элементов нестандартного вида и поведения. Большинство из них проектируют именно для этой системы, причем характеристики надежности элементов заранее не известны. Для вновь проектируемых механических систем почти каждый элемент (вал, зубчатое колесо, диск трения и т. д.) изготавливают по индивидуальному конструктивному оформлению; при этом каждый из них отличается множеством признаков (конфигурацией, размерами, прочностными характеристиками). Каждая деталь механической конструкции не является элементом конечной сложности, так как отказы даже достаточно простых деталей происходят из-за отказов их элементов; для вновь проектируемой механической системы нельзя с достаточной определенностью рассчитать количественные показатели надежности, пока не будет известно конструктивное оформление элементов.

3. *Вариация условий эксплуатации*. Для ТСТ, представляющих собой мобильные технические объекты, характерна существенная вариация условий эксплуатации, и как следствие нагруженности механических систем, из-за того, что каждый объект ведет себя уникально во времени и пространстве, а также в условиях разнообразных действий операторов. Поэтому при расчете надежности необходимо воспроизводить вероятностный спектр условий его эксплуатации. Кроме того, свойства компонентов также имеют вероятностную природу в силу разброса свойств материалов и производственных технологий.

4. *Зависимое поведение компонентов*. Важная особенность расчета ТСТ, их механических систем —

учет зависимостей между компонентами. В традиционных подходах, закрепленных в стандартах, данная особенность не учитывается.

Основное требование к предлагаемому государственному стандарту — представить методическую основу для проведения расчетов надежности с учетом особенностей ТСТ на стадиях их проектирования и других, охватывающих жизненный цикл изделия.

Сведения об объекте стандартизации. Под технически сложными товарами понимаются: 1) автотранспортные средства и номерные агрегаты к ним; 2) тракторы, номерные агрегаты к ним, мотоблоки и мотокультиваторы, комбайны и другие сельскохозяйственные машины и оборудование; 3) станки, агрегаты, механизмы и иное основное технологическое (промышленное) оборудование (О некоторых мерах по повышению ответственности за качество отечественных товаров: Указ Президента Республики Беларусь от 27 марта 2008 г. № 186. Приложение).

Основные части стандарта включают: *понимание* ТСТ как многоуровневых и многокомпонентных технических систем с нагруженными элементами, разнообразными процессами повреждения и отказов/предельных состояний элементов системы на разных уровнях, *описание* условий эксплуатации и различных управляющих действий операторов; *подготовку* данных для расчета надежности в зависимости от представления ТСТ; *основные процедуры* расчета надежности: расчет надежности систем с сильными связями между элементами и общий случай расчета, *операции*, предшествующие общей процедуре расчета (построение ресурсно-прочностных кривых); *иерархические схемы отказов/предельных состояний* и их использование в общей процедуре расчета методом статистических испытаний иерархических схем отказов.

Стандарт ориентирован на руководство и технический персонал, которые занимаются вопросами надежности.

Стандарт не предназначен для целей сертификации.

Научная основа для разработки стандарта. В последние годы выполнен описанный выше комплекс НИР, охватывающий вопросы оценки и обеспечения надежности. Это позволило довести до практического использования методы расчета и обеспечения надежности машин и других сложных объектов, элементы которых не имеют заранее заданных или известных характеристик надежности.

Стандарт детализирует положения по расчету надежности, которые представлены в ГОСТ 27.301-95 «Надежность в технике. Расчет надежности. Основные положения».

По предварительной оценке пересмотра ТНПА, устанавливающих требования к данному стандарту, не потребуется. Окончательно этот вопрос решится в процессе разработки стандарта.

Об анализе ТНПА или технических документов, относящихся к данному объекту стандартизации. Имеющиеся отечественные стандарты, в том числе аналоги международных стандартов ИЕС, имеющие отношение к моделям и методам расчета надежности, относятся к изделиям электротехнической отрасли, хотя в заглавиях этих стандартов об этом не указано. Поэтому данный стандарт имеет собственную нишу: расчет надежности машиностроительных изделий, в частности технических сложных товаров.

Разрабатываемый ТНПА взаимодействует с:

- ГОСТ 27.001-95 Система стандартов «Надежность в технике». Основные положения;
- ГОСТ 27.002—89 «Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения»;
- ГОСТ 27.301-95 «Надежность в технике. Расчет надежности. Основные положения».

Заключение. Обеспечение требуемого качества — необходимое условие создания конкурентоспособной продукции. Главными составляющими качества для отечественных технически сложных товаров являются безопасность и надежность. Требования безопасности продукции обязательны для выполнения и обеспечиваются на государственном уровне, например, за счет технических регламентов.

Требования надежности формулируются в государственных стандартах. Стандартизация — это инструмент применения передовых знаний на всех стадиях жизненного цикла продукции. Однако государственные стандарты, в отличие от технических регламентов, на сегодняшний день не являются обязательными для применения разработчиками продукции. Подобная ситуация ведет к ослаблению внимания к проблеме надежности изделий, утрате квалифицированных кадров в этой области.

Разработка современных стандартов с участием созданного технического комитета «Надежность в технике» создает предпосылки для активизации работы в области оценки и обеспечения надежности отечественных технических изделий и повышения на этой основе их качества.

Одним из проблемных вопросов является различная трактовка основных понятий надежности. Эти трактовки можно условно назвать «машиностроительными» и «электротехническими».

Машиностроительный подход полагает, что надежность является комплексным свойством, которое в зависимости от назначения объекта и условий его применения может включать безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость или определенные сочетания этих свойств.

Согласно электротехнической подходу надежность — собирательный термин, используемый для описания характеристики готовности и влияющих на него показателей: безотказности, ремонтпригодности и обеспеченности обслуживанием.

Подобное различие ведет также к различным подходам и методам расчета надежности объектов техники. Поэтому первоочередными являются задачи разработки государственных стандартов, снимающих указанную двойственность подходов.

Список литературы

1. О качестве технически сложных товаров: Пост. Совета Министров Республики Беларусь от 16 июня 2014 г. № 578. — Режим доступа: <http://government.by/ru/solutions/2181>.
2. О порядке доведения до всеобщего сведения технических нормативных правовых актов: Указ Президента Республики Беларусь от 16 июля 2007 г. № 318. — Режим доступа: [http://www.pravo.by/pdf/2007-172/2007-172\(005-024\).pdf](http://www.pravo.by/pdf/2007-172/2007-172(005-024).pdf).
3. О безопасности машин и оборудования: техн. регламент Таможенного союза ТР ТС 010/2011; утв. Решением Комиссии Таможенного союза от 18 окт. 2011 г. № 823. — Режим доступа: <http://www.gosstandart.gov.by/ru-RU/ts-pr-reg.php>.
4. О безопасности колесных транспортных средств: техн. регламент Таможенного союза ТР ТС 018/2011; утв. Решением Комиссии Таможенного союза от 9 дек. 2011 г. № 877. — Режим доступа: <http://www.gosstandart.gov.by/ru-RU/ts-pr-reg.php>.
5. О безопасности сельскохозяйственных и лесохозяйственных тракторов и прицепов к ним: техн. регламент Таможенного союза ТР ТС 031/2012; принят Решением Совета Евразийской экономической комиссии от 20 июля 2012 г. № 60. — Режим доступа: <http://www.gosstandart.gov.by/ru-RU/ts-pr-reg.php>.
6. Техногенный риск, надежность и диагностика технических систем: подходы, модели, методы / Н.А. Махутов [и др.] // Механика машин, механизмов и материалов. — 2012. — № 3(20)—4(21). — С. 67—85.
7. Альгин, В.Б. Расчет мобильной техники: кинематика, динамика, ресурс / В.Б. Альгин. — Минск: Беларус. навука, 2014. — 271 с.
8. Algin, V. Approaches and Techniques for Calculating Real Reliability of Machine as a System of Different Dependent Components and Complicated Logic of Limiting States / Vladimir Algin // Proc. of 13th World Congress in Mechanism and Machine Science, Guanajuato, Mexico, 19-25 June, 2011. — 6 p.
9. Альгин, В.Б. Расчет реальной надежности машин. Подходы ресурсной механики / В.Б. Альгин // Механика машин, механизмов и материалов. — 2011. — № 1(14). — С. 10—20.
10. Algin, Vladimir V. Reliability and Lifetime of Mechanical Units in Operation and Test / Vladimir V. Algin, Hyoung-Eui Kim // Key Engineering Materials. — Vol. 326—328. — Pp. 549—552.
11. Альгин, В.Б. Ресурсная механика машин: становление и перспективы // Современные методы проектирования машин. Расчет, конструирование и технология изготовления: сб. науч. тр. — Вып. 1: в 3-х т. — Т. 2 / под общей ред. П.А. Витязя. — Минск: Технопринт, 2002. — С. 321—325.
12. Альгин, В.Б. Необходимый этап перехода. От расчетов деталей — к ресурсной механике машин / В.Б. Альгин // Инженер-механик. — 2000. — № 3. — С. 21—23.
13. Альгин, В.Б. Динамика, надежность и ресурсное проектирование трансмиссий мобильных машин / В.Б. Альгин. — Минск: Навука і тэхніка, 1995. — 256 с.
14. Альгин, В.Б. Схематизация и расчет мобильной машины как многомассовой системы. Регулярные механические системы / В.Б. Альгин // Механика машин, механизмов и материалов. — 2012. — № 1(18). — С. 6—16.
15. Альгин, В.Б. Схематизация и расчет мобильной машины как многомассовой системы. Динамика машинного агрегата / В.Б. Альгин // Механика машин, механизмов и материалов, 2013. — № 2(23). — С. 5—18.
16. Альгин, В.Б. Динамика многомассовых систем машин при изменении состояний фрикционных компонентов и направлений силовых потоков / В.Б. Альгин // Механика машин, механизмов и материалов. — 2014. — № 4(29). — С. 21—32.

ALGIN Vladimir B., Dr. Techn. Sc., Professor

Deputy director in science¹

E-mail: vladimir.algin@gmail.com

ALEKSANDROV Alecsander A.

Researcher¹

¹Joint Institute of Mechanical Engineering of the National Academy of Sciences, Minsk, Republic of Belarus

Received 24 February 2015.

RELIABILITY IS A KEY TO QUALITY

The structure of a system for providing the dependability of domestic technics is offered. The system contains informational and scientific assurance, a professional training, working out of typical programs for reliability assurance of the goods, preparation of standards. This system is one of key elements in effective system of quality. The basic directions of activity of technical committee TK BY 33 "Dependability in technics" created in Belarus are described. Objects for prime standardization are offered. Various treatments of the basic concepts in the field of reliability, presented in domestic, Russian and international standards are resulted. It is possible to name these treatments conditionally "Engineering" and "Electrotechnical". The Engineering approach believes that dependability is complex property which depending on purpose of object and its operational conditions. This one can include reliability, durability, maintainability and storability or certain combinations of these properties. According to electrotechnical approach, dependability is a collective term used to describe the availability performance and its influencing factors: reliability performance, maintainability performance and maintenance support performance. Similar distinction leads also to various approaches and methods of calculation of reliability of objects of technics. Therefore top priority is development of the state standards removing the specified duality of approaches.

Keywords: : quality, dependability, life mechanics, system for providing dependability, state standards

References

1. *O kachestve tehniceskij slozhnyh tovarov: Post. Soveta Ministrov Respubliki Belarus' ot 16 ijunja 2014 g. № 578* [The quality of technically sophisticated products: Decision of the Council of Ministers dated from June 16, 2014, № 578]. Available at: <http://government.by/ru/solutions/2181>.
2. *O porjadke dovedenija do vseobshhego svedenija tehniceskikh normativnyh pravovyh aktov: Ukaz Prezidenta Respubliki Belarus ot 16 ijulja 2007 g. № 318* [About the order of dissemination to the general public of technical legal acts: the Presidential Decree dated from July 16, 2007 № 318]. Available at: [http://www.pravo.by/pdf/2007-172/2007-172\(005-024\).pdf](http://www.pravo.by/pdf/2007-172/2007-172(005-024).pdf).
3. *O bezopasnosti mashin i oborudovanija: tehn. reglament Tamozhennogo sojuza TR TS 010/2011: utv. Resheniem Komissii Tamozhennogo sojuza ot 18 okt. 2011 g. № 823* [Machinery and Equipment Safety: Technical Regulations of the Customs Union TR CU 010/2011: approved by Commission Decision of the Customs Union dated from October 18, 2011]. Available at: <http://www.gosstandart.gov.by/ru-RU/ts-pr-reg.php>.
4. *O bezopasnosti kolesnyh transportnyh sredstv: tehn. reglament Tamozhennogo sojuza TR TS 018/2011: utv. Resheniem Komissii Tamozhennogo sojuza ot 9 dek. 2011 g. № 877* [The safety of wheeled vehicles: Technical Regulations of the Customs Union TR CU 018/2011: approved by the Decision of the Customs Union Commission on December 9, 2011 № 877]. Available at: <http://www.gosstandart.gov.by/ru-RU/ts-pr-reg.php>.
5. *O bezopasnosti sel'skohozjajstvennyh i lesohozjajstvennyh traktorov i pricepov k nim: tehn. reglament Tamozhennogo sojuza TR TS 031/2012: prinjat Resheniem Soveta Evrazijskoj jekonomicheskoj komissii ot 20 ijulja 2012 g. № 60* [On the safety of agricultural and forestry tractors and trailers for them: Technical Regulations of the Customs Union TR CU 031/2012: adopted by the Council Decision of Eurasian Economic Commission dated from July 20, 2012, № 60]. Available at: <http://www.gosstandart.gov.by/ru-RU/ts-pr-reg.php>.
6. Mahutov N.A. [et al.]. Tehnogennyj risk, nadezhnost' i diagnostika tehniceskijh sistem: podhody, modeli, metody [Technogenic risk, reliability and diagnostics of technical systems: approaches, models, methods]. *Mehanika mashin, mehanizmov i materialov* [Mechanics of Machines, Mechanisms and Materials], 2012, no. 3(20)–4(21), pp. 67–85.
7. Algin V.B. *Raschet mobil'noj tehniki: kinematika, dinamika, resurs* [Calculation of mobile technics: kinematics, dynamics, life]. Minsk, Belarus. Navuka, 2014. 271 p.
8. Algin V. Approaches and Techniques for Calculating Real Reliability of Machine as a System of Different Dependent Components and Complicated Logic of Limiting States. *Proc. of 13th World Congress in Mechanism and Machine Science*. Guanajuato, Mexico, 19–25 June, 2011. 6 p.
9. Algin V.B. Raschet real'noj nadezhnosti mashin. Podhody resurnoj mehaniki [Calculation of real reliability for machine. approaches of lifetime mechanics]. *Mehanika mashin, mehanizmov i materialov* [Mechanics of Machines, Mechanisms and Materials], 2011, no. 1(14), pp. 10–20.
10. Algin V.B., Kim Hyoung-Eui. Reliability and Lifetime of Mechanical Units in Operation and Test. *Key Engineering Materials*, vol. 326–328, pp. 549–552.
11. Algin V.B. Resurnaja mehanika mashin: stanovlenie i perspektivy [Resource mechanics of machines: formation and prospects]. *Sb. nauch. tr. Sovremennye metody proektirovanija mashin. Raschet, konstruirovanie i tehnologija izgotovlenija* [Proc. Sci. Conf. "Modern methods of machine design. Calculation, design and manufacturing technology"], no. 1, vol. 2, Minsk, Tehnprint, 2002, pp. 321–325.
12. Algin V.B. Neobhodimyj jetap perehoda. Ot raschetov detalej — k resurnoj mehanike mashin [Necessary stage of transition. From the calculation of details - to resource mechanics of machines]. *Inzhener-mehanik* [Machine engineer], 2000, no. 3, pp. 21–23.
13. Algin V.B. *Dinamika, nadezhnost' i resurnoe proektirovanie transmisiij mobil'nyh mashin* [Dynamics, reliability and resource designing of mobile machines transmissions]. Minsk, Navuka i tjehnika, 1995. 256 p.
14. Algin V.B. Shematizacija i raschet mobil'noj mashiny kak mnogomassovoj sistemy. Reguljarnye mehanicheskie sistemy [Schematization and calculation of mobile machine presented as multibody system. regular mechanical systems]. *Mehanika mashin, mehanizmov i materialov* [Mechanics of Machines, Mechanisms and Materials], 2012, no. 1(18), pp. 6–16.
15. Algin V.B. Shematizacija i raschet mobil'noj mashiny kak mnogomassovoj sistemy. Dinamika mashinnogo agregata [Schematization and calculation of mobile machine presented as multibody system. dynamics of machine unit]. *Mehanika mashin, mehanizmov i materialov* [Mechanics of Machines, Mechanisms and Materials], 2013, no. 2(23), pp. 5–18.
16. Algin V.B. Dinamika mnogomassovyh sistem mashin pri izmenenii sostojanij frikcionnyh komponentov i napravlenij silovyh potokov [Dynamics of multibody systems of machines under changing states of frictional components and directions of power flows]. *Mehanika mashin, mehanizmov i materialov* [Mechanics of Machines, Mechanisms and Materials], 2014, no. 4(29), pp. 21–32.