

УДК 621.01-192: [531.3]

В. Б. АЛЬГИН, заместитель генерального директора по научной работе государственного научного учреждения «Объединенный институт машиностроения Национальной академии наук Беларуси», доктор технических наук, профессор, председатель Белорусского национального комитета в Международной федерации по теории механизмов и машин IFToMM, председатель технического комитета по стандартизации Республики Беларусь ТК ВУ 33 «Надежность в технике», эксперт национального комитета МЭК Беларуси

Е. Н. БОКОВЕЦ, начальник отдела охраны интеллектуальной собственности государственного научного учреждения «Объединенный институт машиностроения Национальной академии наук Беларуси», патентный поверенный Республики Беларусь

С. В. ШАВЕЛЬ, начальник отдела технического нормирования и стандартизации в машиностроении и ресурсосбережении БелГИСС

НАДЕЖНОСТЬ В ТЕХНИКЕ. СИСТЕМА МЕЖДУНАРОДНЫХ, МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫХ И ГОСУДАРСТВЕННЫХ СТАНДАРТОВ

Продолжение. Начало в журнале «Стандартизация». – 2017, № 6

ИНДУСТРИЯ 4.0 И НАДЕЖНОСТЬ

Показатели надежности, в отличие от других, не определяются непосредственно в процессе функционирования изделия. Процесс их установления требует больших промежутков времени наблюдения за объектами и обработки статистических данных. Нередко изделие уже снимается с эксплуатации, а данных о его надежности нет. Поэтому прогнозирование надежности, в том числе индивидуальной надежности изделия в процессе эксплуатации, приобретает дополнительную актуальность и новые возможности за счет использования сенсоров, облачных технологий и аналитических оценок, основанных на виртуальном моделировании, в рамках Индустрии 4.0. При этом важное значение для производителя и потребителя имеет однозначная трактовка понятий в области надежности, методов оценки надежности на всех стадиях жизненного цикла изделия, что

во многом основывается на представлении этих понятий и методов в стандартах.

Индустрия 4.0 (Industry 4.0, i4.0) – Четвертая промышленная революция – получила свое название от инициативы 2011 г., возглавляемой бизнесменами, политиками и учеными, которые определили ее как средство повышения конкурентоспособности обрабатывающей промышленности Германии через усиленную интеграцию киберфизических систем в производственные процессы [15].

Важными для понимания i4.0 являются такие ее составляющие, как киберфизическая система (cyber-physical system, CPS) и Интернет вещей (IoT).

CPS характеризуется физическим объектом, таким как машина, и его цифровым двойником, как правило, в виде модели, реализованной в программном обеспечении, имитирующем поведение физического объекта (рисунок 4 [16]).

➔ НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ

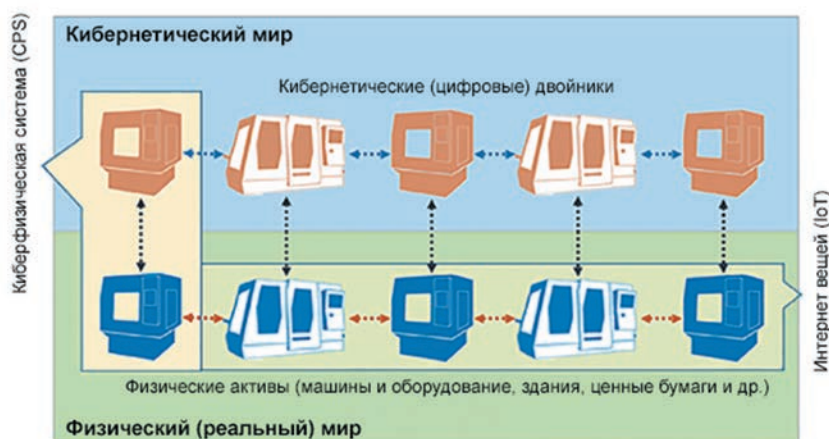


Рисунок 4 – Киберфизическая система (CPS) и Интернет вещей (IoT) [16]

IoT, в отличие от CPS, как правило, ограничивается физическими активами, а не их цифровыми моделями. Парадигма IoT сама по себе не содержит идею информационных систем (цифровых двойников) или аналитики. В целом IoT можно рассматривать как инфраструктуру, которая делает возможным CPS.

Следует отметить повышение актуальности вопросов надежности в свете концепции i4.0, одним из положений которой является создание электронных двойников изделий и наблюдение за ними в киберпространстве с целью прогнозирования отказов/предельных состояний их компонентов.

Наиболее близкими к тематике, связанной с надежностью, в i4.0 можно полагать следующие ее составляющие: модельный подход, цифровой двойник изделия, развитые сенсорные базы и технологии беспроводной передачи данных, диагностика, аналитика [17].

Наличие информационной модели в виде цифрового двойника изделия дает возможность перейти от планово-предупредительного обслуживания машин к прогнозируемому обслуживанию по фактическому состоянию. Это позволяет

оптимизировать сроки проведения ремонтов с продлением во многих случаях межремонтных периодов эксплуатации машины, снизить за счет этого их общую трудоемкость, предупредить аварийные ситуации и катастрофические последствия отказов, использовать более полно ресурсный потенциал изделий.

Развитие и применение информационных технологий для передачи данных и их анали-

за ведет к повышению значимости четких признаков и формулировок, касающихся основных понятий в области надежности изделий, в том числе в стандартах по данной тематике. Можно прогнозировать появление стандартов, относящихся к надежности киберфизических систем, правилам построения их информационных моделей (цифровых двойников), оценке их соответствия реальным прототипам.

НАДЕЖНОСТЬ: РАЗЛИЧИЯ В ТРАКТОВКАХ

Принципиальным вопросом при проектировании и эксплуатации технических изделий, развитии системы стандартов является понимание надежности, ее сущности и особенностей трактовки применительно к различным техническим областям.

Различные трактовки понятия надежности представлены в таблице 2. Так, IEC¹ сводит надежность к готовности, что имеет определенный смысл в области электротехники, при этом долговечность не фигурирует в числе основных свойств изделия [18]. Это неприемлемо для ТСИ и принципиальным образом отличается от ГОСТ 27.002-89 [12], который трактует

¹ В описании области деятельности технического комитета по стандартизации IEC/TC 56 Dependability («Надежность») отмечается, что «надежность» охватывает свойство готовности и влияющие факторы: характеристики безотказности, ремонтпригодности и технического обслуживания (включая менеджмент устаревания) [8].

Таблица 2 – Понятия «надежность» в международных, межгосударственных и государственных стандартах Республики Беларусь

Источник	Определение термина «надежность»	Примечание
Терминологическая база данных в области электроники и электротехники (Electropedia: The World's Online Electrotechnical Vocabulary) [18], термин 192-01-22	Надежность, <изделия> – способность функционировать, когда и как это требуется (dependability, <of an item> ability to perform as and when required)	1. Надежность включает в себя готовность, безотказность, ремонтпригодность, обеспеченность техническим обслуживанием и в некоторых случаях другие характеристики, такие как долговечность, сохраняемость и безопасность. 2. Надежность используется как собирательный термин для связанных со временем характеристик качества объекта
ГОСТ 27.002-89 [12]	Свойство объекта сохранять во времени и в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования	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
СТБ 2465-2016 [19]	Свойство изделия сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в предусмотренных техническими условиями режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования	Надежность является комплексным свойством, которое в зависимости от назначения изделия и условий его применения может включать безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость или определенные сочетания этих свойств
ГОСТ 27.002-2015 ² [10]	Свойство объекта сохранять во времени способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования	Надежность является комплексным свойством, которое в зависимости от назначения объекта и условий его применения может включать в себя безотказность, ремонтпригодность, восстанавливаемость, долговечность, сохраняемость, готовность или определенные сочетания этих свойств

надежность как комплексное свойство, включающее безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость. Такая же трактовка содержится в СТБ 2465-2016 «Надежность в технике. Менеджмент надежности технически сложных изделий» [19], с небольшой корректировкой: вместо «в заданных режимах» используется термин «в предусмотренных техническими условиями режимах», поскольку неясно, как понимать «заданные режимы», кто их задает и как они могут применяться, например, к автомобилям, тракторам и другим подобным объектам, каждый из которых имеет индивидуальные режимы и условия эксплуатации.

Как показано в [20], разработанный и введенный в действие в Российской Федерации с 1 марта 2017 г. ГОСТ 27.002-2015 [10] содержит определенные недостатки. При этом в нем с введением свойства «готовность» делается попытка механически объединить отечественные [12] и международные (IEC) трактовки надежности (Республика Беларусь к стандарту [10] не присоединилась). Вводимые свойства «готовность», а также «восстанавливаемость» не подкрепляются показателями. Это нарушает цельность построения, присущую [12], где все свойства надежности характеризуются единичными показателями.

² Республика Беларусь к данному стандарту не присоединилась.

➔ НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ

Применительно к ТСИ необходимо провести раздел между электротехникой и сложной машиностроительной техникой в рассматриваемой надежности тематике. Важность свойства долговечность в машиностроении обусловлена тем, что машиностроительные изделия обладают большим и сложным комплексом предельных состояний, прогнозирование и распознавание близости к которым имеет для ТСИ принципиальное значение.

Кроме того, в свете i4.0 прогнозирование предельных состояний является основной тематикой, обеспечивающей существенные экономические выгоды.

СТАНДАРТЫ В ОБЛАСТИ НАДЕЖНОСТИ В ТЕХНИКЕ В БЕЛАРУСИ

Характеризуя действующую в республике систему базовых стандартов в области надежности,

можно выделить в ней две подсистемы. Первая охватывает серию ГОСТ 27. и СТБ (таблица 3), вторая – СТБ ИЕС (таблица 4). Следует отметить, что система несбалансированна, постепенно устаревает. Некоторые стандарты попали в систему государственных стандартов по принципу межгосударственной стандартизации, однако на практике они не применяются [21].

Некоторое оживление сферы отечественной стандартизации в области надежности в технике произошло в связи с деятельностью национального технического комитета по стандартизации ТК ВУ 33 «Надежность в технике», который совместно с Объединенным институтом машиностроения НАН Беларуси подготовил два системообразующих государственных стандарта: [19] и СТБ 2466-2016 «Надежность в технике. Расчет надежности технически сложных изделий» [22], введенных с 1 июня 2017 г.

Таблица 3 – Подсистема базовых стандартов «Надежность в технике» в Республике Беларусь (серия ГОСТ 27. и СТБ) (источники: <http://tnpa.by>, <http://oim.by/ru/tekhkomitety/tk-by-33-nadezhnost-v-tekhnike.html>).

Обозначение	Наименование	Дата введения	Примечание
ГОСТ 27.001-95	Система стандартов «Надежность в технике». Основные положения	01.10.1997	В Российской Федерации действует ГОСТ Р 27.001-2009 «Надежность в технике. Система управления надежностью. Основные положения»
ГОСТ 27.002-89 [12]	Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения	01.07.1990	В Российской Федерации действует ГОСТ 27.002-2015. Дата введения 01.03.2017
ГОСТ 27.003-90 ³	Надежность в технике. Состав и общие правила задания требований по надежности	01.01.1992	В Российской Федерации действует ГОСТ 27.003-2016. Дата введения 01.09.2017
ГОСТ 27.004-85	Надежность в технике. Системы технологические. Термины и определения	01.07.1986	
ГОСТ 27.005-97 [25]	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	

³ Республика Беларусь присоединилась, но пока не ввела данный стандарт в действие на территории страны.

НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ

Обозначение	Наименование	Дата введения	Примечание
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 [14]	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	В данной области на международном уровне принят IEC 60812:2006 «Методы анализа надежности систем. Процедура анализа вида и последствий отказа (FMEA)»
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	В Российской Федерации заменен на: ГОСТ 27.301-95 «Надежность в технике. Расчет надежности. Основные положения» (в части п. 2) и ГОСТ Р 27.403-2009 «Надежность в технике. Планы испытаний для контроля вероятности безотказной работы» (кроме п. 2)
ГОСТ 27.506-2000	Надежность в технике. Планы испытаний для контроля средней наработки до отказа (на отказ). Часть 2. Диффузионное распределение	01.10.2005	
СТБ 2465-2016 [19]	Надежность в технике. Менеджмент надежности технически сложных изделий	01.06.2017	
СТБ 2466-2016 [22]	Надежность в технике. Расчет надежности технически сложных изделий	01.06.2017	

Таблица 4 — Подсистема базовых стандартов «Надежность в технике» в Республике Беларусь на основе международных стандартов (источники: <http://tnpa.by>, <http://oim.by/ru/tekhkomitety/tk-by-33-nadezhnost-v-tekhnikе.html>)

Стандарт	Название	Дата введения
СТБ IEC 60300-2-2008	Управление надежностью. Часть 2. Рекомендации по управлению надежностью	01.07.2009
СТБ IEC 61014-2008	Программы повышения надежности	01.07.2009
СТБ IEC 61078-2008	Управление надежностью. Методы анализа. Блок-схема надежности и булевы методы	01.03.2009
СТБ IEC 61165-2008	Управление надежностью. Методы анализа. Применение методов Маркова	01.03.2009
СТБ IEC 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

➔ НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ

МЕНЕДЖМЕНТ НАДЕЖНОСТИ ТСИ [19]

В системе отечественных стандартов (таблица 4) присутствует СТБ ИЕС 60300-2-2008 «Управление надежностью. Часть 2. Рекомендации по управлению надежностью», разработанный Белорусским государственным институтом стандартизации и сертификации. При этом первой базовой части нет, хотя среди международных стандартов по менеджменту надежности имеется стандарт ИЕС 60300-1:2014 «Менеджмент надежности. Часть 1. Руководство по менеджменту и применению» [23]. Россия имеет действующий ГОСТ Р 27.001-2009 «Надежность в технике. Система управления надежностью. Основные положения» [9]. В Республике Беларусь при разработке государственного стандарта по менеджменту надежности ТСИ [19] рассматривались положения [23] и [9].

Стандарт [23] основан на электромеханической идеологии в понимании надежности и построен исходя из этого. Кроме того, он изобилует общими рассуждениями и рекомендациями, сложно применимыми на практике.

Более приемлемым для использования является [9]. Поэтому в [19] учитываются некоторые положения [9].

Дополнительно в [19] в части взаимодействия предприятия с потребителями, исполнителями, поставщиками наряду с требованиями по вопросам надежности [9] были введены требования к исполнителям и поставщикам комплектующих изделий по обеспечению ими надлежащего технического уровня и качества, патентоспособности и патентной чистоты компонентов ТСИ.

Специфика, относящаяся к ТСИ в рамках концепции i4.0, в [19] отражена путем описания места менеджмента надежности в проблеме обеспечения конкурентоспособности и качества ТСИ.

В стандарте описаны физические и надежные свойства ТСИ, роль патентно-информационных исследований от начала разработки

ТСИ до окончания его производства, указана обязательность проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ при разработке ТСИ, проверки их на патентную чистоту с учетом сложности объекта, разнообразия конструкции узлов, деталей, применяемых материалов, важность расчетов надежности на различных стадиях жизненного цикла ТСИ и особенно ранних стадиях его разработки, необходимость учета интересов всех заинтересованных сторон (исполнителей, поставщиков, потребителей) при определении оптимального уровня надежности ТСИ.

Также в [19] сформулированы основные задачи менеджмента ТСИ, к которым относятся:

- обоснование необходимого уровня надежности с учетом требований рынков по реализации ТСИ и возможностей предприятия;
- обеспечение необходимого уровня надежности;
- подтверждение достигнутой надежности;
- выявление и использование возможностей повышения надежности ТСИ;
- мониторинг надежности на всех стадиях жизненного цикла ТСИ;
- выявление и предупреждение отказов и факторов, влияющих на надежность;
- накопление информации о надежности производимых ТСИ и их аналогов.

При этом отмечается, что для реализации основных задач, связанных с надежностью ТСИ и его компонентов, на предприятии необходимо создать систему менеджмента надежности, которая будет являться частью системы менеджмента предприятия.

В части мониторинга надежности ТСИ в эксплуатации в [19] представлены факторы, определяющие надежность ТСИ в условиях эксплуатации; техническое обслуживание по фактическому техническому состоянию; требования к системе мониторинга надежности ТСИ в эксплуатации; использование компьютерных технологий, в том числе

применение методологии FRACAS⁴, электронных сервисных книжек, индивидуального мониторинга режимов работы ТСИ для оценки надежности, бортовых систем диагностики технического состояния.

В приложении А [19] описана FRACAS, которая представляет собой систему закрытого цикла для идентификации, оценки и своевременного устранения последствий отказа. Данная система используется для прослеживания, анализа, последующей идентификации проблем в части ошибок в проекте, недостаточной квалификации персонала и неточностей процесса, требующих корректирующих действий.

Приложение Б «Управление надежностью на основе мониторинга режимов работы технически сложных изделий» содержит описание системы интерактивного управления надежностью с использованием мониторинга режимов работы ТСИ, которая предусматривает управление не только по фактам отказов, а главным образом по процессам, которые обуславливают отказы. При этом система обеспечивает постоянное информирование оператора о процессах, связанных с исчерпанием ресурса ТСИ. В приложении приведена структура системы (рисунок 5), а в разделе Б.3 – схема передачи данных в интерактивной системе управления надежностью и ресурсом автомобиля (рисунок 6).

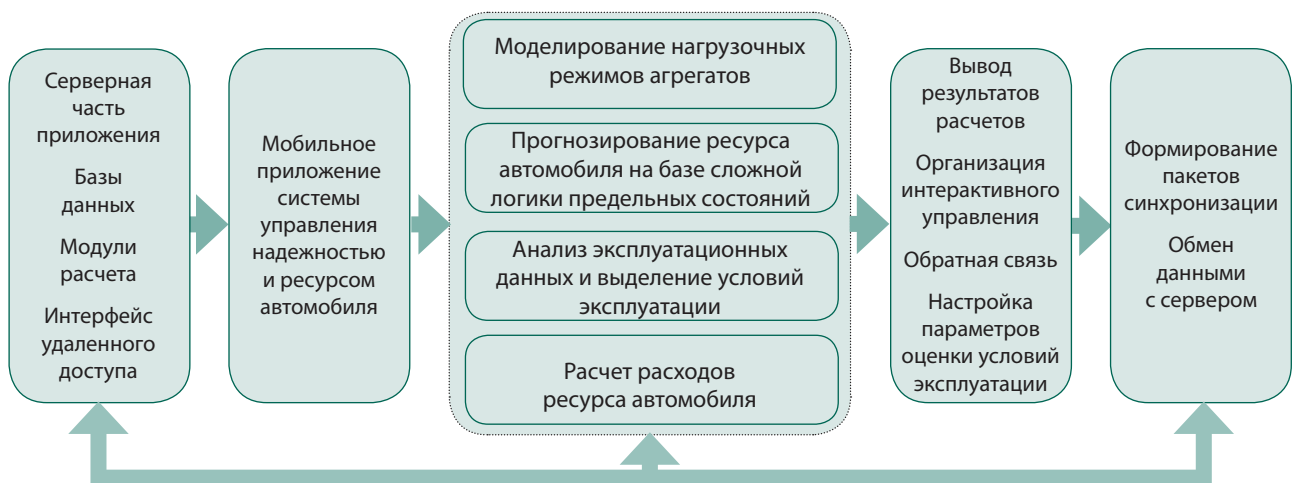


Рисунок 5 – Структура интерактивной системы управления надежностью



Рисунок 6 – Схема передачи данных в интерактивной системе управления надежностью и ресурсом автомобиля

⁴ Failure Reporting Analysis and Corrective Actions System – система оповещения об отказах, анализа и корректирующих действий.

➔ НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ

В приложении В «Бортовые системы диагностики технического состояния редукторов большегрузного самосвала» в качестве примера бортовой системы диагностики приведено описание системы диагностики технического состояния редукторов большегрузного самосвала. Приведены назначение данной системы, ее структурная схема, а также принцип работы, который базируется на методе вибрационно-импульсного диагностирования зубчатых передач. Структурная схема системы представлена применительно к процессу вибродиагностики редуктора мотор-колеса большегрузного самосвала.

Таким образом, в [19] применительно к ТСИ объединены современный подход к определению надежности изделий в процессе жизненного цикла изделий в контексте современного развития промышленного производства с учетом концепции i4.0 и отдельные универсальные положения международных стандартов по менеджменту надежности в части электротехнических изделий.

РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИ СЛОЖНЫХ ИЗДЕЛИЙ [22]

В системе стандартов (таблица 3) присутствует ГОСТ 27.301-95 [14], действующий с 1 октября 1997 г. Разработанный государственный стандарт [22] по структуре близок к нему. Особенности расчета надежности связаны с объектом рассмотрения – ТСИ, которое имеет многоуровневую структуру, эксплуатируется в варьируемой среде. Расчет проводится с учетом моделей механики, отражающих процессы повреждения компонентов на механических уровнях, и структурных моделей теории надежности на высших уровнях представления ТСИ.

В основных положениях раздела 4 [22] присутствуют следующие подразделы:

- 4.1 Порядок расчета надежности технически сложных изделий;
- 4.2 Цели расчета надежности;
- 4.3 Общая схема расчета надежности;
- 4.4 Идентификация изделия;

- 4.5 Методы расчета;
- 4.6 Исходные данные;
- 4.7 Адекватность методов расчета;
- 4.8 Требования к методикам расчета;
- 4.9 Представление результатов расчета.

Исходные данные (подраздел 4.6) помимо общепринятых характеристик (априорные данные о надежности составных частей и комплектующих изделий рассматриваемого ТСИ по опыту их применения в аналогичных или близких условиях; параметры законов распределения характеристик надежности составных частей изделия и расчетные и (или) экспериментальные оценки параметров нагруженности составных частей ТСИ) включают также оценки параметров несущей способности примененных в ТСИ материалов, несущей способности конструктивных элементов, деталей и комплектующих изделий и данные об условиях и режимах эксплуатации ТСИ, позволяющие определить параметры нагруженности его составных частей.

Методика расчета надежности ТСИ при выборе моделей и методов расчета (в подразделе 4.8) учитывает представленные ниже следующие его особенности.

Нестандартность компонентов. Механические сборочные единицы, составляющие основу ТСИ, содержат компоненты, большинство из которых проектируют именно для этого ТСИ, причем характеристики надежности компонентов заранее неизвестны.

Отличие показателей надежности у стандартных компонентов. Один и тот же типовой механический компонент (например, подшипник) имеет различные условия работы в различных машинах и механизмах. Из-за этого его надежность существенно варьируется.

Вариация условий эксплуатации. Для мобильных ТСИ характерна существенная вариация условий эксплуатации из-за того, что каждое ТСИ имеет уникальное поведение во времени и пространстве, а также в условиях

разнообразных действий операторов. Поэтому при расчете надежности необходимо воспроизводить вероятностный спектр условий эксплуатации ТСИ. Кроме того, свойства компонентов также имеют вероятностную природу в силу разброса свойств материалов и технологий производства.

Зависимое поведение механических компонентов. Элементы механических систем ТСИ подвержены воздействию нагрузок. Во многих случаях источник нагружения один и тот же (например, крутящий момент двигателя, передаваемый на входной вал редуктора, является источником нагружения зубчатых колес и подшипников редуктора).

Общий источник нагружения – фактор, обуславливающий зависимое поведение этих компонентов. Источники нагружения могут быть разными, но все они обусловлены условиями и режимами, в которых эксплуатируется ТСИ (например, движение автомобиля по шоссе существенно меньше нагружает подвеску по сравнению с движением по проселочной дороге. Таким образом, действие источников нагружения в конечном счете определяется наиболее общим фактором – условиями и режимами эксплуатации ТСИ).

Многоуровневая схема для расчета надежности ТСИ. Типовая схема общего вида имеет иерархическую структуру и воспроизводит отказы или предельные состояния на следующих уровнях:

- уровень 1 – машина, оборудование (например, автомобиль);
- уровень 2 – агрегаты и системы (например, трансмиссия, несущая система);
- уровень 3 – узлы и подсистемы (например, коробка передач, ведущий мост);
- уровень 4 – детали (например, зубчатые колеса), типовые комплектующие изделия (например, подшипники качения), сопряжения (например, шлицевые соединения);
- уровень 5 – конструктивные элементы (например, зубья зубчатых колес);

– уровень 6 – простейшие компоненты (например, локальные области поверхностного слоя зубьев).

В зависимости от целей расчета и наличия исходных данных типовая схема может быть по числу уровней сокращена, например, до двух высших уровней. Для расчетов на уровнях 6 и 5 используются физические методы, а на уровнях от 4 до 1 – структурные методы. При наличии разнородных исходных данных, относящихся к описанию компонентов на физических и структурных уровнях, целесообразно проведение расчетов части компонентов, начиная с физических уровней (6–5), а другой части компонентов со структурных (4–1).

Модели отказов компонентов ТСИ. При проведении расчетов компонентов со структурных уровней следует руководствоваться следующими рекомендациями по выбору моделей их отказов:

- при расчете надежности механических компонентов, отказы которых обусловлены накоплением усталостных, износных и иных повреждений, наиболее широко используются нормальный и логарифмически нормальный законы и распределение Вейбулла с переменной интенсивностью отказов (см. [24]);
- экспоненциальное распределение характеризуется постоянной интенсивностью отказов. Это означает, что вероятность отказа ТСИ не зависит от того, сколько времени оно проработало до рассматриваемого момента времени. Таким образом, экспоненциальное распределение для описания отказов механических компонентов не применимо (см. [24, 25]). В отдельных случаях оно может использоваться для описания отказов электронных и электрических компонентов, входящих в состав ТСИ.

Условия (критерии) отказов и предельных состояний. Отказы и предельные состояния ТСИ в целом и его составных частей описываются на основе условий (критериев), отражающих состояния составных частей вышестоящего

➤ НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ

уровня в многоуровневой схеме расчета надежности на основе состояний относящихся к ним компонентов нижестоящего уровня. Примеры критериев предельных состояний основных и дополнительных составных частей тракторов приведены в ТКП 282-2010 «Сельскохозяйственная техника. Надежность. Порядок определения показателей».

Метод расчета. Основным универсальным методом расчета надежности ТСИ является метод статистического моделирования Монте-Карло. Используя этот метод, воспроизводятся случайным образом в каждом цикле вычислений относительная продолжительность каждого из условий эксплуатации изделия, несущая способность рассчитываемых компонентов, а при расчете со структурных уровней – наработка до отказа или предельного состояния компонентов. В этом же цикле вычислений на основе условий (критериев) отказов или предельных состояний определяются наработки до отказов или предельных состояний составных частей вышестоящих уровней.

Общая схема расчета надежности ТСИ представлена в приложении А [22]. При формировании методики расчета надежности целесообразно ориентироваться на общую схему, показанную на рисунке 7.

Пример расчета показателей долговечности машины приведен в приложении Б. Пример демонстрирует применение метода Монте-Карло при определении долговечности машины, представленной двухуровневой схемой предельных состояний (СПС). На нижнем уровне находятся пять ресурсопределяющих составных частей машины с заданными распределениями ресурса и типами, входящими в СПС машины. Это двигатель (тип 1), коробка передач, передний ведущий и задний ведущий мосты (все относятся к типу 2) и кабина (тип 3). Пример демонстрирует применение метода Монте-Карло со встроенной логикой предельных состояний машины. По результатам статистических испытаний



строится распределение ресурса машины и определяются показатели ее долговечности (гамма-процентный и средний ресурсы) [26].

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Из таблиц 3 и 4 следует, что отечественную систему стандартов в области надежности в технике составляют в основном ГОСТ и гармонизированные стандарты на основе стандартов IEC. Все эти стандарты находятся «в зрелом возрасте».

Исходя из этого предлагается следующее.

Во-первых, необходимо последовать примеру России, которая постепенно заменяет устаревшие стандарты, имеющие статус ГОСТ, российскими стандартами (ГОСТ Р). В этой связи необходимо актуализировать действующие в республике государственные и межгосударственные стандарты с учетом современных тенденций развития техники, а также с учетом международных требований, адаптировав их в том числе к ТСИ. Например, вместо ГОСТ 27.001-95 целесообразно разработать соответствующий СТБ, в котором будет сохранена принятая в республике терминология и отражены современные тенденции в сфере стандартизации в надежности.

Второе направление — разработка стандартов для ТСИ, учитывающих i4.0. Примерами таких перспективных стандартов в области надежности в технике могут быть:

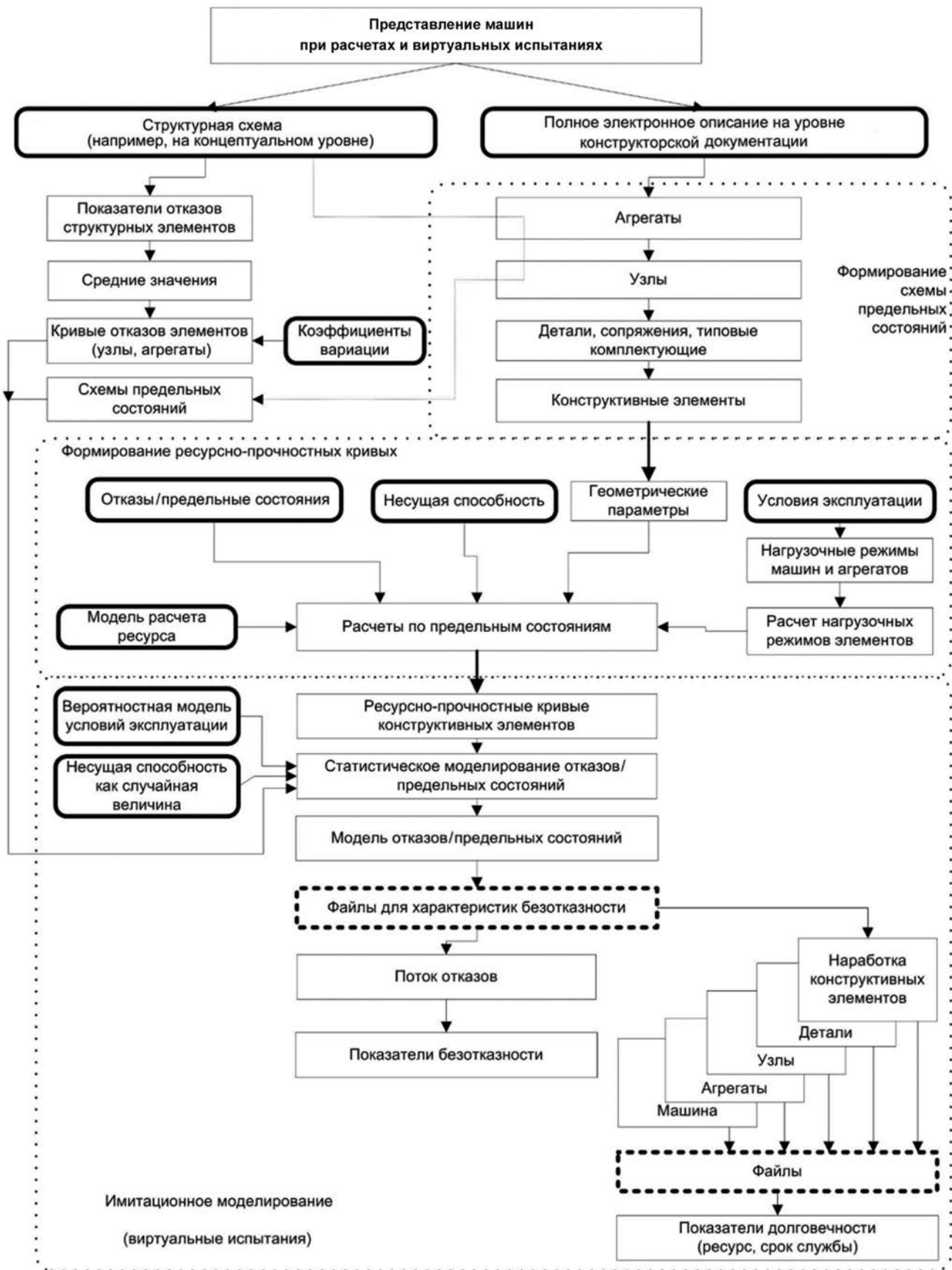


Рисунок 7 – Основные этапы расчета надежности [26]

➔ НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ

– стандарт общего направления – СТБ «Оценка расхода ресурса технически сложных изделий»;

– стандарт специальной направленности – СТБ «Вибрационный контроль состояния зубчатых приводов технически сложных изделий», актуальность которого обусловлена необходимостью мониторинга надежности в процессе эксплуатации (по i4.0), а выбор объекта связан с широким использованием зубчатых передач в приводах высокомоощных отечественных машин, к которым все чаще на мировых рынках предъявляются требования по наличию систем диагностики;

– СТБ «Информационная модель (цифровой близнец) привода технически сложных изделий». Этот стандарт не имеет аналогов и непосредственно касается процессов, впервые заявленных в i4.0.

Третье направление – разработка стандартов по оценке надежности перспективных инновационных технических объектов. Деятельность ТК BY 33 включает отслеживание мировых трендов и выработку предложений по подготовке современных стандартов по актуальным направлениям. Примером такой тематики является беспилотная летательная техника, которую все шире используют в военной и гражданской сферах во всем мире, в том числе и в нашей стране, и, соответственно, разработка СТБ «Оценка надежности беспилотных летательных аппаратов».

Перечисленные выше предложения по разработке стандартов в числе других направлены в Госстандарт. Разрабатывая отечественные стандарты, целесообразно использовать наработки ИЕС, но не автоматически копируя, а точно адаптируя их к конкретным ТСИ. При этом обязателен учет различий в трактовках надежности изделий в электротехнической и машиностроительной сферах на всех стадиях жизненного цикла в свете i4.0, что особенно важно для ТСИ.



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применительно к ТСИ показана связь, в том числе на уровне стандартов, понятий конкурентоспособности, качества, надежности и безопасности, включая оценку риска. Надежность является наиболее наукоемкой составляющей, на которой основываются вероятностные оценки риска, приобретающие все большее значение.

Особенности трактовок надежности в нормативных документах дают основания провести раздел между электротехникой и сложной машиностроительной техникой в рассматриваемой надежности тематике. Важность долговечности как неотъемлемой составляющей надежности в машиностроительной технике обусловлена тем, что машиностроительные изделия обладают большим и сложным комплексом предельных состояний, прогнозирование и распознавание близости к которым имеет для ТСИ принципиальное значение. Это также формирует основу для обсуждения со специалистами СНГ платформы, включая создание межгосударственного ТК, на которой целесообразно выстраивать межгосударственные стандарты в области «Надежность в технике».

Разработанные и введенные в действие в 2017 г. государственные стандарты [19], [22] отражают тенденции, заложенные в i4.0, создают предпосылки для развития современной отечественной системы стандартов «Надежность в технике».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [8] IEC/TC 56. – Mode of access: <http://tc56.iec.ch/index-tc56.html>. – Date of acces: 20.10.2017.
- [9] ГОСТ Р 27.001-2009 «Надежность в технике. Система управления надежностью. Основные положения».
- [10] ГОСТ 27.002-2015 «Надежность в технике. Термины и определения».
- [11] ГОСТ Р 27.002-2009 «Надежность в технике. Термины и определения».
- [12] ГОСТ 27002-89 «Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения».
- [13] ГОСТ 18322-2016 «Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения».
- [14] ГОСТ 27.301-95 «Надежность в технике. Расчет надежности. Основные положения».
- [15] Индустрия 4.0: что такое четвертая промышленная революция? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://hi-news.ru/business-analytics/industriya-4-0-cto-takoe-chetvertaya-promyshlennaya-revolyuciya.html>. – Дата доступа: 23.10.2017.
- [16] Big future for cyber-physical manufacturing systems [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.designworldonline.com/big-future-for-cyber-physical-manufacturing-systems/>. — Date of access: 20.10.2017.
- [17] Альгин, В. Б. Надежность технически сложных изделий в свете «Индустрии 4.0» // В. Б. Альгин, Н. Н. Ишин // Актуальные вопросы машиноведения: сб. науч. тр. / Объедин. ин-т машиностроения НАН Беларуси; ред. кол.: С. Н. Поддубко и др. — Минск, 2017. – Вып. 7. – С. 43-54.
- [18] Терминологическая база данных в области электроники и электротехники (Electropedia: The World's Online Electrotechnical Vocabulary), Area: 192: Dependability. – Mode of access: <http://www.electropedia.org/iev/iev.nsf/index?openform&part=192>. — Date of access: 20.10.2017.
- [19] СТБ 2465-2016 «Надежность в технике. Менеджмент надежности технически сложных изделий». – Введ. 01.06.17.
- [20] Альгин, В. Б. Надежность в технике. Система международных, межгосударственных и государственных стандартов / В. Б. Альгин, Е. Н. Боковец, С. В. Шавель // Стандартизация. – 2017. – № 6. – С. 51–60.
- [21] Альгин, В. Б. Надежность – ключ к качеству / В. Б. Альгин, А. А. Александров // Механика машин, механизмов и материалов. – 2015. – № 1(30). – С. 78–89.
- [22] СТБ 2466-2016 «Надежность в технике. Расчет надежности технически сложных изделий».
- [23] IEC 60300-1-2014 «Dependability management – Part 1: Guidance for management and application» («Менеджмент надежности. Часть 1. Руководство по менеджменту и применению»).
- [24] Кугель, Р. В. Надежность машин массового производства. – М.: Машиностроение, 1981.
- [25] ГОСТ 27.005-97 «Надежность в технике. Модели отказов. Основные положения».
- [26] Альгин, В. Б. Расчет мобильной техники: кинематика, динамика, ресурс / В. Б. Альгин. – Минск: Беларус. навука, 2014. – 271 с.

SUMMARY

Algin V. B., Bokovets E. N., Shavel S. V.

The article discusses the role of standardization in ensuring the innovative and competitive production, the relationship between the concepts of "risk", "security", "reliability" and their reflection in the standards. The basic features of the system of international, interstate and state standards in the area of "Dependability in techniques" of Belarus and Russia are presented, as well as various interpretations of the concept "dependability" in the standards.

The growing relevance of reliability issues in the light of the concept of "Industry 4.0", including the standardization area, and as well as consideration of the operative national system of standardization including new standards for dependability management and dependability calculation of technically complicated items, introduced in 2017, is planned to present in the next issue.

Поступила в редакцию 04.11.2017.

