

УДК 621.3.019.3(045)

Л. Н. Щербак, д-р техн. наук

**ОСНОВЫ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ КАК НАУКА**

Национальный авиационный университет, e-mail: prof\_Scherbak@ukr.net

*Приведено обоснование основ надежности технических систем как науки, отвечающей современным требованиям. Предложено расширение совокупности характеристик надежности на основе использования базовых, метрологических и функциональных характеристик надежности сложных технических систем как аппаратно-программных комплексов.*

**Ключевые слова:** надежность, характеристики надежности, теория надежности, технические системы, наука, аппаратно-программный комплекс.

**Введение.** В данной работе приведено обоснование положительного ответа на вопрос, являются ли основы надежности технических систем наукой, отвечающей современным требованиям. Согласно классификации различных наук такая наука относится к классу технических наряду с классами естественных и общественных наук. Актуальность темы работы обусловлена увеличением роли надежности при создании и использовании технических систем различной сложности. Значимость вклада основ надежности технических наук в развитие науки и техники можно сравнить со значимостью вклада метрологии как науки об измерениях. Однако, если метрология в документах, стандартах, публикациях определяется как наука, то в аналогичных публикациях о надежности нет четкого определения науки. Так, надежность определяется как свойство технических систем, а теория надежности – как инженерное направление применения математических методов. Если рассматривать данный вопрос вообще, то положительный ответ на него объективно можно подтвердить многочисленными результатами развития и использования технических систем во всех отраслях народного хозяйства, практически во всех странах мира. Целевая функция этой работы и состоит в обосновании основ надежности технических систем как современной науки, т.е. закрепить за ней фактический научный статус.

Остановимся на материалах публикаций, относящихся к теме работы.

**Анализ исследований и публикаций.** Начало становления научно-технической проблематики надежности для технических систем относят к 30-м годам двадцатого столетия. Развитие технических систем последующие годы в значительной мере способствовали повышению значимости надежности технических систем. В этот период опубликовано большое количество работ по надежности технических систем.

*Надежность.* Приведем следующие сведения о надежности технических систем, которые объективно можно назвать *базовыми*.

Согласно с государственным стандартом [1] *надежность* как понятие определено в следующей редакции.

*Надежность объекта (изделия) – свойство изделия сохранять значения установленных параметров функционирования в определенных пределах, соответствующих заданиям режимам и условиям использования, технического обслуживания, хранения и транспортировки.*

В работе [2] при анализе этого определения приведены следующие комментарии: «...Как следует из определения, *надежность* есть внутреннее свойство объекта, заложенное в него при изготовлении и проявляющееся во время эксплуатации. Для количественной оценки надежности, как и любого другого свойства объекта, необходима та или иная мера, являющаяся ее характеристикой. *Надежность* нельзя свести ни к одной из ее характеристик».

Аналогичные определения надежности приведены и в других работах. Так, например, в толковом словаре по метрологии [3] приведено следующее определение.

*Надежность – сложное свойство изделия, состоящее в общем случае из его безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости.*

Указанные в определениях свойства надежности технических систем носят комплексный характер, протекают во времени и в пространстве, проявляются на всех этапах жизненного цикла системы и зависят от действия большого количества факторов. Поэтому для определения количественных характеристик надежности в основном используются вероятностные модели, а их статистическое оценивание по данным испытаний базируются на методах математической статистики. Использование вероятностной меры (вероятности) при определении количественных характеристик надежности является одним из основных статистических методов исследования надежности.

К характеристикам надежности изделия, которые можно назвать *базовыми* и которые являются функциями времени, относят [2; 4; 9; 10]: вероятность безотказной работы в течении заданного времени; среднюю наработку во времени до первого отказа; интенсивность отказов; параметр потока отказов и др.

*Теория надежности.* Рассмотрим ряд определений теории надежности.

В неявном виде такое определение дано в работе [5]: «...Поскольку теория надежности в основном связана с нахождением вероятностей, средних значений, распределений вероятностей и т.д., то может создаться впечатление, что она является простым применением стандартных вероятностных методов и не нуждается в каком-либо специальном изучении. Несостоятельность такой точки зрения можно показать, продолжив подобные рассуждения: ведь, в свою очередь, теория вероятностей сама есть простое применение общих математических методов и, следовательно, также не нуждается в самостоятельном развитии. Проблемы надежности имеют свои собственные характерные черты и сами, в свою очередь, способствуют развитию новых разделов теории вероятностей».

В работе [4] приведено следующее определение.

*Теория надежности – это молодая, еще не сформировавшаяся наука, возникшая из потребностей практики в связи с бурным техническим прогрессом и, в первую очередь, в связи с появлением сложных автоматических систем с большим количеством элементов электроники и автоматики. Она изучает:*

- критерии и количественные характеристики надежности;
- методы анализа надежности;
- методы синтеза сложных систем по критериям надежности;
- методы повышения надежности;
- методы испытания аппаратуры на надежность;
- научные методы эксплуатации аппаратуры с учетом ее надежности (обоснование режимов профилактических работ, норм запасных элементов, методов отыскания неисправностей, методов сбора и анализа статистических данных об отказах аппаратуры).

*Теория надежности является самостоятельной наукой, а не отдельным разделом теории вероятностей. Она является технической, а не математической дисциплиной, а круг решаемых ею задач не ограничивается задачами теории вероятностей.*

Известные ученые в области надежности Ю. К. Беляев и Б. В. Гнеденко в математической энциклопедии [6] дали следующее определение.

*Теория надежности – инженерное направление применений математических методов, в котором разрабатываются: а) приемы расчета надежности технических систем; б) методы оценки надежности изготовленных изделий; в) способы оптимизации и повышения эффективности функционирования сложных технических систем и составляющих их элементов в процессе эксплуатации (включая в это понятие также хранение и перевозку).*

В той же работе [6, с. 854 – 862] приведены применения различных методов ряда наук для решения задач теории надежности.

Перейдем к рассмотрению постановки задачи и результатам этой работы.

**Постановка задачи.** На основании результатов опубликованных работ по надежности технических систем, анализа перспективных направлений решений научно-технических проблем надежности на всех этапах жизненного цикла систем привести аргументированные обоснования рассмотрения основ надежности технических систем как науки, отвечающей всем современным требованиям.

**Обоснование науки.** Если рассматривать основы надежности как науку, то согласно определению Большой советской энциклопедии [7] такая наука удовлетворяет всем требованиям, предъявленным к техническим наукам, так как, основы надежности:

- являются сферой человеческой деятельности, функцией которой является выработка и теоретическая систематизация объективных знаний о технических системах;
- превратились в производственную силу общества;
- тесно связаны с естественными науками, отраслями народного хозяйства и, через отрасли производства, которые обеспечивают материальную жизнь общества, с общественными науками.

Основы надежности как наука состоит из:

- законодательной базы, обеспечивающей единство решений научно-технических проблем надежности технических систем различной сложности на всех этапах их жизненного цикла [1; 2; 8; 11];
- теории надежности [2; 4 – 6; 9; 10];
- прикладных основ надежности с использованием методов ряда естественных, технических наук для решения задач надежности по безотказности, долговечности, ремонтоспособности и сохраняемости технических систем [2; 4 – 6; 9 – 11].

В большинстве случаев при постановке задач надежности первым этапом является классификация основных объектов исследования – технических систем. Известно, что любая классификация зависит от постановки задач. В задачах надежности классификация систем имеет свою специфику, которую и рассмотрим далее.

**Классификация систем.** При конкретизации видов технических систем (изделий, объектов) выделяют [2; 4; 9]: невозстанавливаемые и восстанавливаемые.

*Невосстанавливаемыми* называются системы, которые в процессе своего функционирования и выполнения своих функций не подлежат ремонту. Если происходит отказ такой системы, то на этом прекращается выполнение ее функций. К таким системам однократного действия относятся ракеты, управляемые снаряды, искусственные спутники Земли и другие. Примерами восстанавливаемых систем многократного действия относятся системы управления воздушным движением, системы противовоздушной обороны и др.

*Восстанавливаемыми* называются такие системы, которые в процессе выполнения своих функций могут ремонтироваться. Если возникает отказ системы, прекращается выполнение функций системой на временной интервал ремонта и возобновления работы.

В ряде работ, например [10], предложена следующая классификация систем.

*Элементом* называется изделие, которое не имеет самостоятельного применения и не поддается разборке и ремонту. К элементам относятся изделия электронной техники, например, интегральные микросхемы, резисторы, конденсаторы, реле и др.

*Устройство* состоит из совокупности элементов, которые объединены в единую конструкцию и выполняют самостоятельные эксплуатационные функции. Примером таких устройств являются видеомониторы, телевизоры, персональные компьютеры и др. Количество элементов в устройстве составляют десятки тысяч.

*Система* состоит из совокупности различных действующих устройств, предназначенных для выполнения определенной практической задачи. Количество элементов в системе составляет десятки и сотни тысяч.

*Комплекс* состоит из совокупности систем, объединенных для решения широкого круга практических задач. В ряде работ современные комплексы именуются *аппаратно-программными комплексами*.

В работе [13] предложена следующая классификация технических устройств и систем:

– продукция массового изготовления, к которой можно отнести различные элементы и устройства;

– информационные системы; их основным объектом исследования являются информационные сигналы различной физической природы и к которым можно отнести системы измерений, контроля, диагностики и управления;

– сложные технические системы как аппаратно-программные комплексы.

Предложенная в работе [13] классификация соответствует принятому в надежности правилу, все предыдущие совокупности элементов и устройств входят как компоненты последующих классов систем. Так, информационные системы являются подсистемами более сложных систем (аппаратно-программных комплексов).

Увеличение сложности технических систем и расширение круга решаемых ими задач обуславливает и расширение количества характеристик надежности систем, о чем свидетельствуют ряд научных публикаций, в том числе [2; 10; 12 – 14].

С этой целью в работе [13] предложена следующая классификация характеристик надежности, адаптированная до предложенной классификации технических устройств и систем:

– базовые характеристики надежности продукции массового изготовления, например, вероятность безотказной работы в течении определенного времени и другие, которые приведены в работах [2; 4; 9; 10];

– метрологические характеристики надежности информационных систем, которые в совокупности с базовыми характеристиками включают и новые характеристики, например, область доверительного интервала с заданной вероятностью метрологических характеристик измерительного канала системы измерений во времени, области доверительных интервалов характеристик качества электроэнергии для электростанций и др.;

– функциональные характеристики надежности систем как аппаратно-программных комплексов, которые в совокупности с базовыми и метрологическими включают и новые характеристики надежности, например, характеристики экологической безопасности, характеристики безопасности обслуживания и др.

Иллюстрационная схема предложенных выше видов характеристик надежности технических систем различной сложности графически изображена на рис. 1.

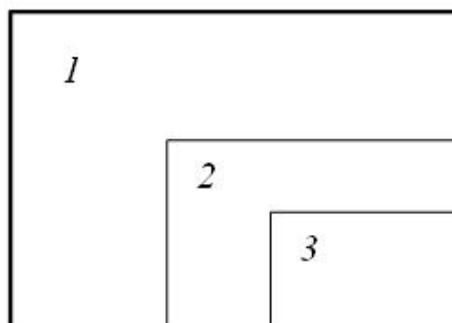


Рис. 1. Иллюстрационная схема характеристик надежности технических систем:  
1 – классических; 2 – метрологических; 3 – функциональных

Отметим, что выше приведены лишь примеры метрологических и функциональных характеристик надежности технических систем, а не их совокупности, которые для каждой конкретной технической системы требуют дополнительного обоснования.

**Математический аппарат теории надежности.** Это направление исследований теории надежности наиболее полно изложено в научных публикациях, включая [2; 4 – 6; 9; 10].

В данной работе, базируясь на основных этапах жизненного цикла технических систем, приведена совокупность наук, основы и методы которой формируют математический аппарат теории надежности технических систем. Условная схема взаимосвязи этапов жизненного цикла и математического аппарата теории надежности приведена на рис. 2.

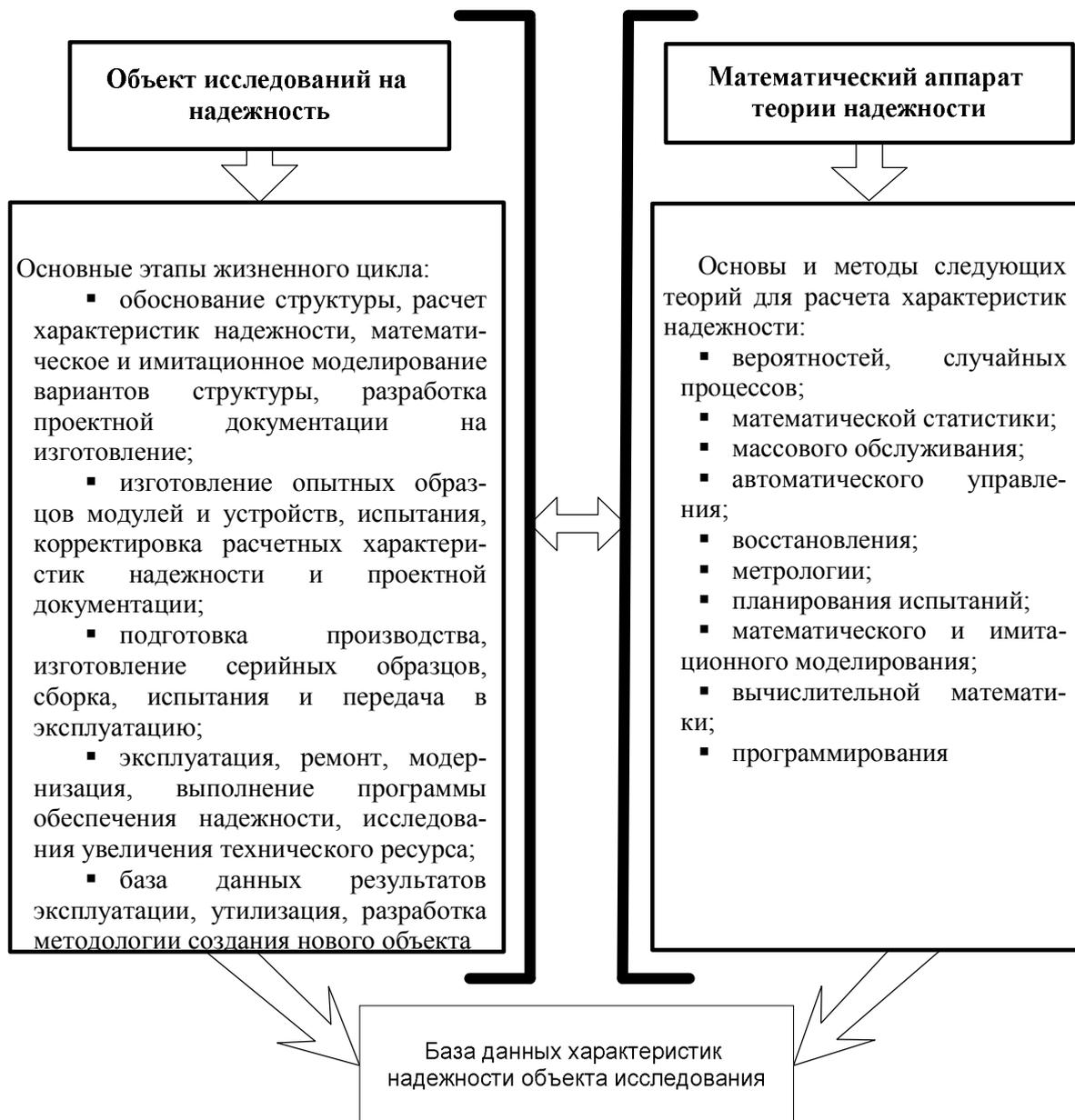


Рис. 2. Условная схема взаимосвязи этапов жизненного цикла и математического аппарата теории надежности объекта исследования

**Прямая и обратная задачи надежности.** В ряде работ, например [10], такие задачи надежности именуются соответственно *априорной* и *апостериорной*. Решениями указанных задач являются:

– расчетные характеристики надежности объекта исследований на основании использования априорной математической модели функционирования объекта при проведении теоретических и имитационных исследований (прямая задача);

– статистические оценки характеристик надежности, подтверждение адекватности математической модели функционирования объекта исследований по результатам статистической обработки данных натурных испытаний.

Постановка и решение прямой задачи надежности осуществляется при проведении:

- теоретических исследований характеристик надежности;
- математического и имитационного моделирования задач надежности.

Постановка и решение обратной задачи надежности осуществляется при статистической обработке и анализе результатов натурных испытаний на надежность объекта исследований.

Для постановки и решения задач надежности используются три вида обеспечения [2; 4; 9; 12]:

- информационное;
- математическое;
- программное.

Информационное обеспечение – совокупность баз натурных данных, результатов обработки систем измерений, контроля, диагностики и управления, файловых структур с каталогами и средствами управления, средств защиты от несанкционированного доступа.

Математическое обеспечение – совокупность математических моделей, методов и алгоритмов, на основании которых техническая система выполняет задачи, связанные с его целевым назначением.

Программное обеспечение реализуется через математическое обеспечение и имеет два основных компонента: системное и функциональное программные обеспечения.

Математическая модель объекта исследований является одним из основных составляющих, указанных выше видов обеспечений. Приведем определение [15].

*Математическая модель объекта исследований – это совокупность знаний, предположений, гипотез, условий, построенных в виде целостной, логически выдержанной и непротиворечивой структуры, которая гомоморфно отображает основные свойства и характеристики объекта, взаимосвязь, взаимодействие и отношение между его составными компонентами и модулями, записанная с использованием математических символов, терминов и предназначенная для решения определенного класса задач.*

Этапы создания и использования математической модели:

– изучение априорных данных про основные законы функционирования объекта исследования и запись модели с использованием математических символов и терминов с учетом класса решаемых задач;

– проведение теоретических и имитационных исследований с использованием математической модели (прямые задачи надежности);

– использование модели для решения прикладных задач, включая и проведение натурального эксперимента (прямые и обратные задачи надежности);

– согласование результатов теоретических, имитационных исследований и натурального эксперимента на базе предложенной модели, которое дает возможность принять решение относительно модели, выбрав один из вариантов:

- а) использование предложенной модели для последующих исследований;
- б) усовершенствование предложенной модели;
- в) разработка новой модели.

**Аппаратно-программная подсистема обеспечения надежности.** Эта подсистема является составной компонентой аппаратно-программного комплекса. Известно [2; 4; 10], что для технических систем разрабатывается и реализуется программа обеспечения

надежности для всех этапов жизненного цикла. Расширение количества характеристик надежности, которые предусматривают наряду с базовыми характеристиками использовать метрологические и функциональные, широкое применение средств вычислительной техники в аппаратной части системы, внедрение информационных технологий как в аппаратной, так и программных составляющих системы дает возможность создавать современные аппаратно-программные подсистемы обеспечения надежности.

Подводя итоги данной работы, следует отметить, что на сегодня актуальность и важность научно-технической проблематики надежности технических систем не снизилась, а несколько возросла. Этот факт обусловлен следующим:

- существенным усложнением технических систем;
- повышением требований к функционированию систем экономического и экологического характера, требований безопасности, обслуживания технических систем;
- уменьшением земных запасов энергоносителей, что обусловили необходимость решения энергосберегающих технологий в энергетике, транспорте, развитии атомной энергетики и возобновляемых источников энергии и в итоге – создание высоконадежных технических систем.

Таким образом, приведенные выше материалы дают возможность рассматривать основы надежности технических систем, как науку, отвечающую всем современным требованиям, и имеет место следующее [13]

**Определение.** *Основы надежности – наука об обеспечении безотказности, долговечности, ремонтнопригодности и сохраняемости технических систем различной сложности на всех этапах их жизненного цикла.*

**Выводы.** Изложены определения *надежности* и *теории надежности* для технических систем, которые содержатся в известных публикациях по научно-техническим проблемам надежности. Приведено обоснование основ надежности технических систем как науки, отвечающей современным требованиям. Такая наука относится к классу технических. Предложена новая классификация технических систем, которая включает: продукцию массового производства; информационные системы; сложные технические системы как аппаратно-программные комплексы. В соответствии с указанной классификацией технических систем предложено расширение характеристик надежности, а именно базовых, метрологических и функциональных характеристик надежности технических систем различной сложности. Приведено определение основ надежности технических систем как науки.

#### Список литературы

1. *ГОСТ 27.002–89.* Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. – М.: Изд-во стандартов. –1998. – 36 с.
2. *Черкесов Г. Н.* Надежность аппаратно-программных комплексов: учеб. пособие / Г. Н. Черкесов – СПб.: Питер. – 2005. – 479 с.
3. *Корнеева Т. В.* Толковый словарь по метрологии, измерительной технике и управлению качеством. Основные термины: около 7000 терминов / Т. В. Корнеева – М.: Рус. язык. – 1990. – 464 с.
4. *Половко А. М.* Основы теории надежности / А. М. Половко – М.: Наука. – 1964. – 448 с.
5. *Барлоу Р.* Математическая теория надежности / Р. Барлоу, Ф. Прошан // пер. с англ.: под ред. Б. В. Гнеденко. – М.: Сов. радио. –1969. – 488 с.
6. *Математическая энциклопедия:* Справ.: В 5 т. / Т. 3. – М.: Сов. энцикл. – 1982. – С. 854 – 862.

7. Большая советская энциклопедия: Справ.: в 36 т. / Т. 17. – М.: Сов. энцикл. – 1974. – С. 323 – 330.
8. ГОСТ 15467–79. Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения. – М.: Изд-во стандартов. – 1998. – 26 с.
9. Гнеденко Б. В. Математические методы в теории надежности. Основные характеристики надежности и их статистический анализ / Б. В. Гнеденко, Ю. К. Беляев, А. Д. Соловьев. – М.: Наука. – 1965. – 526 с.
10. Азарсков В. Н. Надежность систем управления и автоматики: учеб. пособие. / В. Н. Азарсков, В. П. Стрельников. – К.: НАУ. – 2004. – 164 с.
11. Надежность и эффективность в технике: Справ.: в 10 т. / Т. 1. Методология. Организация. Терминология // под ред. А. И. Рембезы. – М.: Машиностроение. – 1986. – 224 с.
12. Ліпаєв В. В. Качество программного обеспечения / В. В. Ліпаєв – М.: Финансы и статистика – 1993. – 262 с.
13. Щербак Л. Н. Научные основы надежности технических систем / Л. Н. Щербак // Четверта міжнар. наук.-практ. конф. «Інтегровані інтелектуальні робото технічні комплекси» (ІПРТК): збірка тез. – К.: НАУ. – 2011.
14. Нечипорук В. В. Методи і технології забезпечення надійності апаратно-програмних комплексів / В. В. Нечипорук, Є. А. Реуцький, Л. М. Щербак // Четверта міжнар. наук.-практ. конф. «Інтегровані інтелектуальні робото технічні комплекси» (ІПРТК): Збірка тез. – К.: НАУ. – 2011.
15. Марченко Б. Г. Теорія вимірювань. Вибрані праці / Б. Г. Марченко, Л. М. Щербак – Тернопіль: ТДГУ. – 2008. – 24 с.

Л. М. Щербак

#### **Основи надійності технічних систем як наука**

Наведено обґрунтування основ надійності технічних систем як науки, що відповідає сучасним вимогам. Запропоновано розширення сукупності характеристик надійності на основі використання базових, метрологічних та функціональних характеристик надійності складних технічних систем як апаратно-програмних комплексів.

L. M. Scherbak

#### **Basics of reliability engineering systems as science**

Will summarize the rationale basis of reliability of technical systems, like science, to meet modern requirements. Proposed expansion of aggregate reliability characteristics based on the use of classical, metrological and functional characteristics of the reliability of complex technical systems such as software and hardware.