

## АСПЕКТЫ НАДЕЖНОСТИ КАК СОСТАВЛЯЮЩИЕ ЦИФРОВОГО ПРОИЗВОДСТВА

*Богачева С.Ю.*

*Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина  
(Технологии. Дизайн. Искусство), Москва*

**Ключевые слова:** цифровое производство, теория надежности, 4-я промышленная революция, отказы, надежность систем, надежность продукции, анализ надежности.

**Аннотация.** В настоящее время стремительно развиваются цифровые технологии, включая цифровые двойники изделий, искусственный интеллект и машинное обучение, интернет вещей и большие данные. В связи с этим становится актуальным внедрение этих технологий в производство. Остро стоит вопрос надежности программного обеспечения, телекоммуникационных сетей, надежности высокоответственных изделий, и внедрения систем управления надежностью.

## ASPECTS OF RELIABILITY AS COMPONENTS OF DIGITAL PRODUCTION

*Bogacheva S.Yu.*

*Kosygin Russian State University (Technologies. Design. Art), Moscow*

**Keywords:** digital manufacturing, reliability theory, Industry 4.0, failures, system reliability, product reliability, reliability analysis.

**Abstract.** Currently, digital technologies are rapidly developing, including digital product twins, artificial intelligence and machine learning, the Internet of Things and big data. In this regard, the introduction of these technologies into production becomes relevant. The issue of reliability of software, telecommunication networks, reliability of highly responsible products, and the implementation of reliability management systems is acute.

Надежность является свойством технических устройств и конструкций. Надежность (объекта) – свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность объекта выполнять требуемые функции в заданных режимах, условиях применения, стратегиях технического обслуживания, хранения и транспортирования [1]. В СССР в 60-е гг. прошлого века проводится работа в области теории надежности, которую возглавляет Б.В. Гнеденко. Математическими вопросами и прикладными задачами надежности занимались Ю.К. Беляев, Н.Г. Бруевич, А.И. Берг, А. Пирс и др. Проблемы применения теории надежности к решению практических задач были озвучены и на II международной конференции «Математические методы в надежности» [2].

В связи с начавшейся четвертой индустриальной революцией получили развитие новые направления в инженерной деятельности (искусственный интеллект и машинное обучение, интернет вещей, робототехника и квантовые технологии, цифровые двойники изделий и др.) к проблемам теории надежности добавились новые задачи, разработка которых актуальна, в особенности, для цифрового производства. Это проблемы надежности программного обеспечения

и цифровых устройств, телекоммуникационной сети производства, использования статистического моделирования, сбор данных о надежности объекта и технологии, надежности уникальных объектов, и внедрения систем управления надежностью.

*Надежность программного обеспечения и цифровых устройств.* В теории надежности известны такие характеристики, как зависимость отказов от времени и случайная природа отказов. Но отказы программного обеспечения зависят от вида выполняемых операций, от характера входных данных, даже от человеческого фактора, но не зависят от времени. Следовательно, разработка теории качества программного обеспечения – важная задача, особенно в рамках цифрового управления. Цифровые устройства используются в управлении сложными технологическими процессами. На надежность цифровых устройств, также играющая важную роль в работе предприятий, влияют субъективные факторы на этапах проектирования и производства и объективные факторы, например, воздействия окружающей среды.

*Надежность телекоммуникационной сети производства.* При цифровом производстве требуется защищенный обмен данными между компьютерами и оборудованием. На практике телекоммуникационная сеть имеет каналы с различной пропускной способностью, критерии передачи данных зависят от протоколов передачи, сами критерии успешности функционирования телекоммуникационных сетей часто нуждаются в четком определении. Использование новейших видов технологий передачи и оптимальных мер по защите информации обеспечивает безопасность сети и, следовательно, способствует успешному функционированию производства. Например, оптоволоконная передача импульсов генерированного лазером света сокращает размеры оборудования, облегчает его установку, ускоряет поток данных и защищает от электрических помех.

*Применение статистического моделирования (метод Монте-Карло).* Это название объединяет несколько разных статистических методов. Эффективное средство анализа различных сложных систем, овладение которым под силу только узким специалистам. Создание простых и доступных средств будет способствовать внедрению этих методов моделирования в цифровое производство.

*Сбор данных о надежности.* Данные испытаний и реальной эксплуатации являются обязательной основой расчетов надежности. Но зачастую данные собирают в разных условиях, по разным планам испытаний или с не совсем идентичными образцами. Необходимо корректно агрегировать данные о показателях надежности образцов производства. С одной стороны, отказы при наработке должны стать прогнозируемыми, программируемыми, а цифровые технологии в производстве должны моделировать неблагоприятные исходы и способствовать выбору оптимальных результатов. Но в условиях применения только цифровых технологий накопление и обработка статистической информации об отказах достаточно трудная задачей.

*Анализ надежности развивающихся систем.* Важно понять, как учесть в текущем проектировании возможные изменения в структуре и в самой

комплектации системы, и спроектировать систему, учтя, что текущее оптимальное решение не вступило бы в противоречие с требуемым оптимальным решением на следующем этапе развития системы, использовать информацию о надежности функционирования системы для управления.

В цифровом производстве в случае достижения заданных целевых показателей работоспособности и ресурсных ограничений (временных, финансовых, технологических, производственных и т.д.) надежность должна обеспечиваться по умолчанию [3, 4]. Но на данном этапе рассчитать надежность продукции или процесса с помощью компьютерных вычислений напрямую невозможно из-за многофакторности причин отказов.

*Анализ надежности уникальных или высокоответственных изделий.* При создании уникальных или высокоответственных систем (космические аппараты, ядерные реакторы и т.д.), надо учитывать их предельную надежность. Надежность уникальных изделий, выполняющих предельно ответственные функции напрямую зависит от системы управления надежностью [5]. Новые изделия часто не имеют прототипов, нет статистики отказов, как у крупносерийных изделий. Для высокоответственных систем отказы недопустимы. Можно получить данные по надежности элементов из статистических испытаний, но для уникальных систем сделать это практически невозможно с экономической точки зрения [6].

*Системы управления надежностью.*

Технический объект можно представить набором параметров с допустимыми ограничениями значений, его надежность – это показатель, характеризующий выполнение требуемого назначения при моделировании возможных событий. Возможно подсчитать благоприятные или неблагоприятные исходы таких событий на современных компьютерах, если будет задан соответствующий алгоритм.

Предлагаемый в работе [6] конструкторско-технологический анализ надежности – это методика, основанная как на инженерных дисциплинах, так и на математических основах теории надежности, позволяющая проводить анализ и учет конструктивных особенностей изделий. Этот дает возможность прогнозировать надежность при проектировании и конструировании технических объектов без прототипов. Что включает и создание комплекса организационно-технологических мероприятий, обуславливающих сокращение брака до минимума, и использование технологических процессов и оборудования с повышенными показателями точности, стабильности, удобства обслуживания и т.д. (обычно – это новые способы, внедряемые в производство).

Повышение запаса надежности технологического процесса возможно за счет введения специальных видов обработки, повышающих износостойкость, усталостную прочность, коррозионную стойкость изделий. Для этих целей применяются химико-термическая обработка, упрочняющая технология, основанная на пластическом деформировании поверхностей, различные специальные методы.

Для систем управления существуют методы повышения надежности еще на этапе проектирования. Это выбор стабильных схем, учитывающих возможности

повышения надежности системы при эксплуатации, применение качественных и перспективных элементов, разработка конструкции системы и приборов, обеспечивающей минимальные нагрузки на систему и элементы, например, [7], а также удобство обслуживания системы. Методы повышения надежности на этапе эксплуатации – это обратные связи, резервирование, а также резервирование систем.

В российской системе для сбора и обработки данных TRACE MODE использованы специальные методы повышения надежности АСУ: горячее резервирование серверов реального времени и промышленных контроллеров, специальные технологии обеспечения работы в условиях помех связи, ведение дампа данных при перезагрузке программ, резервирование сетевых адаптеров, восстановление данных на резервированных серверах и пр. [8].

Внедрение системы управления надежностью помимо повышения именно надежности продукции, позволит существенно сократить затраты предприятия, в частности: на проведение расчётов надёжности, на проведение испытаний на надёжность, на устранение отказов в эксплуатации, на расходы на эксплуатацию.

Цифровизация инструментов управления надежностью – это одно из основополагающих требований для перехода к 4-й Промышленной Революции, которое обязательно на всех этапах жизненного цикла продукции.

При применении цифровых инструментов по управлению надежностью, как показал анализ источников, надо придерживаться следующих принципов.

1. Оцифровка данных.
2. Управление цифровыми данными. Нужен доступ и актуализация этих данных.
3. Цифровизация инструментов.
4. Интеграция с единым цифровым пространством, т.е. обеспечение подхода, упрощающего доступ к входным данным.

Цифровая трансформация – изменение процессов, систем, людей и технологий, с целью повышения эффективности организации.

С целью повышения эффективности цифрового производства, управления информацией об изделии на всех этапах жизненного цикла внедряется концепция CALS (Continuous Acquisition and Life cycle Support) technology или, иначе, ИПИ (Информационная поддержка жизненного цикла изделий). Это – технологии непрерывной информационной поддержки жизненного цикла продукции. Стратегией CALS является создание единого информационного пространства для всех участников, вовлеченных в процесс управления жизненным циклом изделия. Единое пространство включает изделие и производственную среду всех этапов жизненного цикла [9].

Процесс разработки и эксплуатации технических систем на основе цифровых информационных моделей предоставляет широкие возможности для управления процессами надежности.

Внедрение системы управления надежностью и параллельная цифровизация всех инструментов позволит сократить затраты предприятия на проведение расчётов надёжности, на проведение испытаний на надёжность, на устранение отказов в эксплуатации, на расходы на эксплуатацию.

**Список литературы**

1. ГОСТ Р 27.102-2021. Надежность в технике. Надежность объекта. термины и определения.
2. Ушаков И.А. Надежность: прошлое, настоящее, будущее: Пленарный доклад на открытии конференции «Математические методы в надежности» (MMR–2000), Франция, 2000 // Надежность: Вопросы теории и практики: сетевой журн. – 2016. – №1(1). – С. 17-27. – URL: [http://www.gnedenko.net/Journal/2006/RTA\\_1\\_2006.pdf](http://www.gnedenko.net/Journal/2006/RTA_1_2006.pdf).
3. Боровков А.И., Рябов Ю.А., Кукушкин К.В. Цифровые двойники и цифровая трансформация предприятий ОПК // Оборонная техника. – 2018. – № 1. – С. 6-33. – URL: [https://assets.fea.ru/uploads/fea/news/2018/05\\_may/17/oboronnaya-technika.pdf](https://assets.fea.ru/uploads/fea/news/2018/05_may/17/oboronnaya-technika.pdf).
4. Левенчук А. Системно-инженерное мышление в управлении жизненным циклом // Лабораторный журнал. – 2014. – URL: <https://ailev.livejournal.com/1121478.html>.
5. Похабов Ю.П., Ушаков И.А. О безаварийности функционирования уникальных высокоответственных систем // Методы менеджмента качества. – 2014. – № 11. – С. 50-56.
6. Похабов Ю.П. Надежность в цифровых технологиях // Надежность. –2020. – Т. 20, № 2. – С. 3-11. – URL: <https://doi.org/10.21683/1729-2646-2020-20-2-3-11>.
7. Патент №213952 РФ. Радиально-упорный подшипник шариковый / А.В. Мещеряков, К.А. Григорьев, С.В. Зеленов, С.Ю. Богачева, В.А. Григорьев. – Заявка № 2022118448 от 06.07.2022; опубл. 05.10.2022, Бюл. №28.
8. SCADA TRACE MODE Российский инструмент №1 для разработки систем промышленной автоматизации [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.tracemode.ru>.
9. Судов Е.В., Левин А.И. Концепция развития CALS-технологий в промышленности России // НИЦ CALS-технологий «Прикладная логистика». – М., 2002. – URL: [https://cals.ru/sites/default/files/downloads/mdocs/concept\\_ipi.pdf?ysclid=lrpd6p9uq0149652204](https://cals.ru/sites/default/files/downloads/mdocs/concept_ipi.pdf?ysclid=lrpd6p9uq0149652204).

**Сведения об авторе:**

*Богачева Светлана Юрьевна* – к.т.н. доцент.