



МЕТОДИКА FMEA

ПУТЬ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ

Все чаще высказываются справедливые опасения, что на российских предприятиях электронной промышленности ситуация с качеством и надежностью обстоит не самым лучшим образом. Увы, но это относится уже не только к предприятиям гражданской, но и оборонной отрасли. На совещании руководителей радиоэлектронной промышленности 24 марта 2009 года были озвучены тревожные цифры – 19% производимой сейчас электронно-компонентной базы (ЭКБ) не соответствуют требованиям надежности [1]. До 45% выходов из строя входящей в состав военной техники радиоэлектронной аппаратуры происходит по причине отказов элементной базы [2]. Однако среди предложений по исправлению сложившейся ситуации практически всегда за кадром остается методика, уже более полувека применяющаяся в промышленности западных стран при изготовлении любых видов сложной продукции – как гражданского, так и военного назначения. Речь идет о методике FMEA, появление которой в послевоенные годы в США стало ответом на возрастающие требования к надежности в условиях кардинального усложнения технических систем.

МЕТОДИКА FMEA

FMEA расшифровывается как Failure Mode and Effect Analysis – анализ видов и последствий отказов. Эта методика основана на трех основных «китах» [3]:

Оценка

Для любого потенциального дефекта или отказа определяют три показателя:

- **значимость**, определяемая с точки зрения тяжести последствий данного отказа;
- **вероятность появления** данного отказа;
- **возможность обнаружения** данного отказа до проявления его последствий.

Р.Розенталь
ЗАО «Центр «Приоритет»
rozental@centerprioritet.ru

Каждый показатель оценивается по 10-бальной шкале. Для первых двух критериев эта шкала возрастающая, т.е. чем выше значимость или частота появления отказа, тем выше соответствующие оценки. Для третьего критерия шкала убывает – чем выше возможность обнаружения данного отказа, тем ниже соответствующая оценка. Интегральная оценка критичности данного отказа (так называемое ПЧР – приоритетное число риска) вычисляется как произведение этих трех оценок. Ее величина может принимать значения от 1 до 1000 и служит оценкой уровня риска данного отказа. Одна из основных задач проведения FMEA – выявление отказов с максимальными ПЧР и их последовательное снижение.

Команда

Работа над проектом ведется временным коллективом из специалистов разного профиля (от четырех до восьми человек), работающих методом «мозгового штурма». Полный состав участников FMEA-команды должен быть неизменным, однако постоянное присутствие всех специалистов не обязательно, что зависит от специфики текущего обсуждения (рис.1).

Анализ и критика

Входящие в FMEA-команду специалисты должны обладать не просто высокой квалификацией. Крайне важна их способность формулировать «нехорошие» вопросы, направленные на выявление потенциальных дефектов: «Что может пойти не так?», «Какие обстоятельства могут вызвать отказ?» и т.п. На объект анализа должна обрушиться «ничем не ограниченная критика» [5]. Это помогает найти в рассматриваемом объекте как можно больше недостатков. Такой подход соответствует так называемому закону прогрессивной конструктивной эволюции, согласно которому переход к новым образцам техники возможен через выявление и устранение дефектов (недостатков) в существующем поколении технических объектов.

Специфика этой работы требует высокой культуры общения и взаимодействия в команде. В мировой практике эти вопросы регламентируются уже на уровне международных стандартов: «Важным личным качеством члена

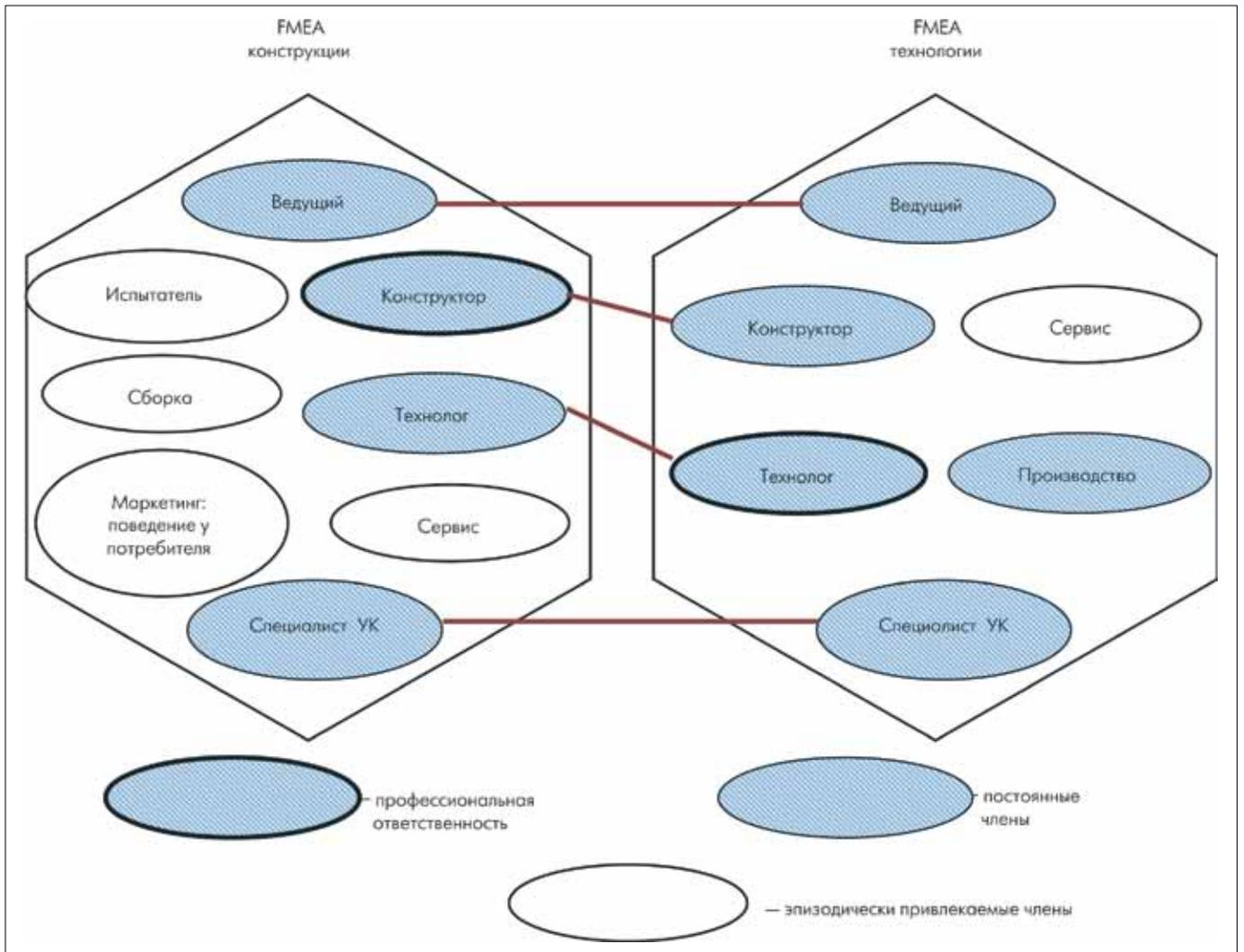


Рис.1. Рекомендуемый состав межфункциональных команд для проведения FMEA-анализа [4]

группы должна быть объективность. При необходимости члены группы должны отбросить свой прошлый технический опыт, если он диктует устаревшие технические решения. Члены группы должны оценивать информацию без предубеждений и/или эмоциональной сопричастности. Предубеждение может поставить под серьезную угрозу успех процесса анализа проекта. Необъективность любого члена группы может легко вызвать аналогичное поведение

других членов и свести на нет результативность анализа проекта.

Члены группы задают вопросы и отвечают на них, они должны осознавать (и поощряться к этому), что даже самые трудные и/или смущающие вопросы должны быть сформулированы в конструктивной и доброжелательной форме. В процессе работы персонал проектировщиков и разработчиков не должен чувствовать по отношению к себе персональную критику» [6].

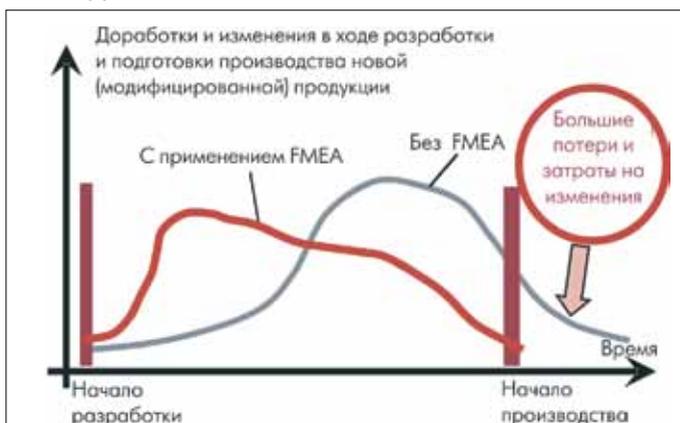


Рис.2. Характер изменения трудозатрат на различных этапах жизненного цикла продукции при внедрении методики FMEA [4]

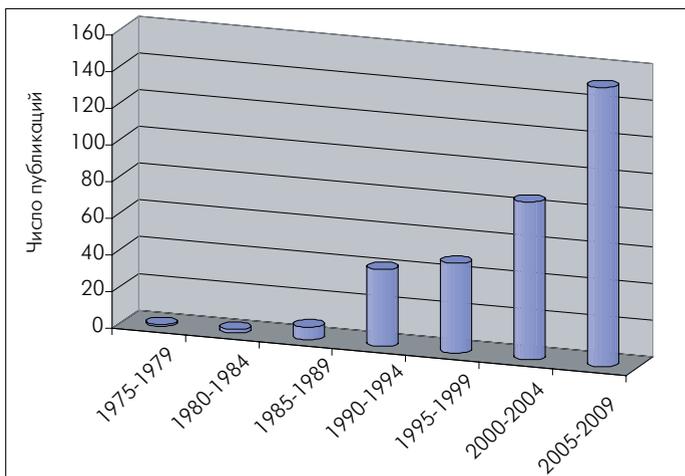


Рис.3. Число публикаций Института инженеров электроники и электротехники IEEE по применению методики FMEA (по пятилетним периодам с 1975 по 2009 гг.)

Крайне важен выбор времени проведения FMEA. Когда анализ выполняется на ранних этапах разработки, сохраняется возможность «безболезненного» корректирования схем системы или прибора, поскольку, как показывает практика, внесение изменений в уже готовый блок – процесс весьма трудоемкий и нежелательный (рис.2).

Тем не менее, методика FMEA эффективна и для совершенствования уже запущенных в производство изделий. Например, в публикации [7] сообщается о десятикратном (!) снижении уровня дефектности при производстве сложной продукции после внедрения FMEA.

Помимо своей основной задачи – выявления и устранения недостатков – проведение FMEA также стимулирует деятельность по обеспечению технологичности конструкций изделий, так как типичные подходы при выполнении FMEA во многом

пересекаются с содержанием работ по обеспечению технологичности [8].

ИСТОРИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И РАЗВИТИЯ FMEA

Методика FMEA появилась в 50-х годах прошлого века. Впервые требования к выполнению анализа отказов (Failure Analysis) были сформулированы в спецификациях систем управления полетами ВМС США [9]. В 1960-х годах эта методика была использована НАСА в процессе выполнения лунной программы Apollo [10]. В 1970-х годах идеи FMEA были подхвачены атомной промышленностью [11], тяжелым машиностроением [12] и разработчиками программного обеспечения [13]. В 1980-е годы FMEA стали активно применять производители автомобилей [14], гражданской электроники [15] и предприятия общего машиностроения [16]. К концу 20 века методика FMEA применялась почти во всех производственных отраслях, включая нефтехимию и энергетику [17]. Сегодня FMEA, как один из инструментов в системе оценки рисков [18], также используется и в самых разнообразных «нематериальных» сферах, таких как финансы, маркетинг, закупки, IT, человеческие ресурсы [19] и даже здравоохранение [20].

Особую важность применения FMEA в электронике доказывает, к примеру, тот факт, что в современном руководстве Министерства обороны США по надежности проектированию электронных систем FMEA обозначен как минимально необходимый шаг в разработке отказоустойчивых систем [21]. А в 2006 году департаментом вооружений США было выпущено специальное руководство по FMEA для систем управления, наблюдения и связи [22].

Общий рост популярности этой методики для радиоэлектронных приложений наглядно иллюстрируется практически экспоненциальным увеличением числа публикаций по этой теме (рис.3).

Несмотря на свой почтенный возраст, методика FMEA активно развивается (рис.4). Требования по выполнению FMEA включены в руководства по качеству ведущих компаний мира в области электроники, таких как Intel [23], National Semiconductor [24], NEC [25], Sony [26] и многих других.

Проведенный в 2007 году опрос 370 предприятий электронной промышленности, расположенных в Малайзии, показал, что методика FMEA применяется во всех компаниях, основанных японскими корпорациями. По мнению авторов исследования, использование FMEA – один из факторов высокой конкурентоспособности японских предприятий. Более того, среди множества других методик «создания качества» (quality development) FMEA применяется наиболее часто [27].

Космическое ведомство США, фактически являясь «родоначальником» FMEA, в 2000 году выпустило специальный библиографический сборник, охватывающий 10 основных на-

Аэрокосмическая	Военная	Электронная	Годы
Apollo (1)			1966
SAMSO (2)	MIL1629(11) MIL2070(12)	EIA (15)	1970 1979
NASA (3)	MIL1629A(13)		1980 1989
AIR 4845 (4) NASA(5)		Sematech (16) JEP 131 (17)	1990 1999
ARP5580 (6) NASA(7) ESA (8)	TM5 (14)	JEP 131A (18)	2000 2008
ESA (9) AIAA (10)			2009

Статус документа:
● — действующий, ● — пересмотрен, ● — отменен

Рис.4. «Карта» развития руководств и стандартов FMEA в аэрокосмической, военной и электронной отраслях промышленности западных стран



правлений применения FMEA [28]. Сам список этих направлений более чем убедительно доказывает широту применения этой методики:

- A. Авиация (Aeronautics)
- B. Космонавтика (Astronautics)
- C. Химия и материаловедение (Chemistry and Materials)
- D. Инженерия (Engineering)
- E. Науки о Земле (Geosciences)
- F. Биология, медицина (Life Sciences)
- G. Математика и вычислительная техника (Mathematical and Computer Sciences)
- H. Физика (Physics)
- I. Социальные науки и информатика (Social and Information Sciences)
- J. Науки о космосе (Space Sciences)
- K. Общие подходы (General)

Проведение FMEA полностью соответствует требованиям ИСО 9001 и, соответственно, стандартов, созданных на его основе, в соответствии с которыми «организация должна определять действия в целях устранения причин потенциальных несоответствий для предупреждения их появления» [29]. А применение FMEA в сочетании с такими инструментами, как план управления и статистическое управление процессами [30,31] позволяет организовать системную деятельность по предупреждению несоответствий [32–34].

FMEA В РОССИИ – ПЕРСПЕКТИВЫ И ПРОБЛЕМЫ

В России, как это, к сожалению, часто случается в нашей стране, рекомендации по применению FMEA появились со значительным опозданием. Перевод международного стандарта IEC 812 был выпущен только в 1987 году [35], и лишь в середине 1990-х на его основе был выпущен первый стандарт ГОСТ 27.310-95 [36]. В это же время ЦНИИ 22 МО РФ выпустил рекомендации по надёжностно-ориентированному проектированию и изготовлению, в которых декларировалась обязательность применения методики FMEA на всех этапах создания РЭА: «Процедура **анализа видов, причин и последствий отказов** радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) является обязательной составной частью процесса проектирования и отработки РЭА, начиная с разработки эскизного проекта и кончая испытаниями опытных образцов» [37]. В 2006 году Международная электротехническая комиссия (МЭК) выпустила обновленную версию стандарта по FMEA, российская версия которого получила обозначение ГОСТ Р 51901.12 [38].

Сегодня многие отечественные специалисты в самых разных отраслях промышленности оценили эффективность этой методики. Вне всяких сомнений, методика FMEA давно ожидаема среди российского инженерного сообщества. Это показывают результаты опроса специалистов, освоивших FMEA, которые оценили степень его практической полезности в среднем на 8,5 баллов по 10-балльной

Перечень руководств и стандартов по FMEA

Аэрокосмическая промышленность

Apollo Reliability and Quality Assurance Office, National Aeronautics and Space Administration, RA-006-013-1A, Procedure for Failure Mode, Effect, and Criticality Analysis (FMECA), August 1966.

The Space and Missile Systems Organization, SAMSO-STD-77-2, Failure Modes and Effects Analysis for Satellite, Launch Vehicle, and Reentry Systems, 22 November 1977.

National Aeronautics and Space Administration, NASA Space Transportation System, NSTS 22206, Space Shuttle. Requirements for Preparation and Approval of Failure Modes and Effect Analysis (FMEA) and Critical Items List (CIL), 09 October 1986.

Society of Automotive Engineers, Aerospace Information Report, SAE AIR 4845, The FMECA Process in the Concurrent Engineering (CE) Environment, 1993.

National Aeronautics and Space Administration, NASA Space Transportation System, NSTS 22206, Space Shuttle. Requirements for Preparation and Approval of Failure Modes and Effect Analysis (FMEA) and Critical Items List (CIL), Revision D, 10 December 1993.

Society of Automotive Engineers, Aerospace Recommended Practice, SAE ARP 5580, Recommended Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) Practices for Non-Automobile Applications, June 2000.

National Aeronautics and Space Administration, NASA Space Transportation System, NSTS 22206, Requirements for Preparation and Approval of Failure Modes and Effect Analysis (FMEA) and Critical Items List (CIL), Change No.32, 05 July 2001.

ESA Requirements and Standards Division, ECSS-Q-ST-30-02A, Space Product Assurance. Failure modes, effects (and criticality) analysis (FMEA/FMECA), 7 September 2001.

ESA Requirements and Standards Division, ECSS-Q-ST-30-02C, Space Product Assurance. Failure modes, effects (and criticality) analysis (FMEA/FMECA), 6 March 2009.

American Institute of Aeronautics & Astronautics Publications, AIAA S 102.2.4:2009, Performance-based Product Failure Mode, Effects And Criticality Analysis (FMECA) Requirements.

Военная промышленность

Department of Defense, MIL-STD-1629, Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis, 1 November 1974.

Department of Defense, MIL-STD-2070, Procedures for Performing a Failure Modes Effects and Criticality Analysis for Aeronautical Equipment, 12 June 1977.

Department of Defense, MIL-STD-1629A, Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis, 24 November 1980; Notice 1, 7 June 1983; Notice 2, 28 November 1984.

Department of the Army, TM 5-698-4, Failure Modes, Effects and Criticality Analyses (FMECA) for Command, Control, Communications, Computer, Intelligence, Surveillance, and Reconnaissance (C4ISR) Facilities, 29 September 2006.

Электронная промышленность

Electronic Industries Association, Reliability Bulletin, RB 9, Failure Mode and Effect Analyses, November 1971.

SEMATECH Technology Transfer #92020963B-ENG, Failure Mode and Effects Analysis (FMEA): A Guide for Continuous Improvement for the Semiconductor Equipment Industry, 30 September 1992.

JEDEC Publication, JEP131 Potential Failure Mode and Effects Analysis (FMEA), February 1998.

JEDEC Publication, JEP131A Potential Failure Mode and Effects Analysis (FMEA), May 2005.

шкале. При этом часть опрошенных считает, что **эта методология должна стать обязательной, необходимо запретить проектирование без ее применения** [39]. Регламентированное применение FMEA в процессе разработки и производства должно существенно улучшить качество производимой продукции и повысить ее конкурентоспособность.

Группа компаний «Приоритет» уже на протяжении более 10 лет занимается вопросами внедрения методики FMEA на российских предприятиях. Практика показала, что освоение FMEA дает предприятиям очевидные преимущества:

- интенсивный обмен информацией дает эффект **взаимного обучения**, передачи инженерного опыта и повышения квалификации членов команды в смежных областях;
- командная работа стимулирует возникновение новых технических идей, причем многие из них доходят до уровня патентов;
- нередко команда способна **выявить недостатки** конструкции и технологии, которые сами авторы не в состоянии увидеть из-за излишней «привязанности» к своему детищу;
- **снижаются потери**, связанные с доработками и изменениями на стадии производства;
- **улучшается репутация** предприятия, потребитель сразу получает завершённые и качественные изделия, а не «сырые» продукты, на доработку которых иной раз требуются годы.

Однако надо иметь в виду, что российский путь внедрения и развития FMEA несколько отличается от западного — из-за специфичных «болезней» российского управления. Производственные войны и баррикады, разрыв доверия, дисбаланс ответственности, полномочий и взаимодействия, агрессивность к лидерам и к лидерству [40] — все это, конечно, очень сильно тормозит развитие прогрессивных методов и технологий производства. Лечение этих болезней требует освоения непривычных для российского инженерного сообщества категорий, таких как лидерство, командная работа, ориентация на потребителя (конечного пользователя продукции) и прочих факторов, без развития которых сегодня вряд ли можно рассчитывать на достижение предприятием мирового уровня в надежности и качестве продукции.

Автор выражает признательность своим коллегам — специалистам консалтинговой компании ЗАО «Центр «Приоритет» — за помощь и поддержку при подготовке материала

ЛИТЕРАТУРА:

1. Расширенное совещание руководителей предприятий радиоэлектронной промышленности. — ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес, 2009, №3, с.4–8.
 2. **Маянский В.Д.** Анализ современного состояния ка-

чества серийного производства вооружения, военной и специальной техники по государственному оборонному заказу. — Бюллетень «Менеджмент Вооружение Качество», 2008, № 1(15).

3. **Розно М.И.** Как научиться смотреть вперед? Внедрение FMEA-методологии. — Методы менеджмента качества, 2000, № 6, с.25–28.
 4. FMEA. Failure and Effect Analysis. Метод анализа дефектов и их последствий. Мастер-класс Розно М.И. — Нижний Новгород: ЗАО «Центр «Приоритет», 2009.
 5. **Половинкин А.И.** Основы инженерного творчества. — М.: Машиностроение, 1988.
 6. ГОСТ Р МЭК 61160:2006. Менеджмент риска. Формальный анализ проекта.
 7. **G.Byrne and C.Sheahan.** Integrated risk minimization methodology for high volume manufacture. — Journal of Manufacturing Technology Management, 2007, v.18, №5, p.538–548.
 8. ГОСТ 14.201-83. Обеспечение технологичности конструкции изделий. Общие требования.
 9. Bureau of Naval Weapons, Department of the Navy. MIL-F-18372(Aer), General Specification for Design, Installation, and Test of Aircraft Flight Control Systems, 31 March 1955.
 10. North American Aviation, Space and Information System Division, SID-62-203-R-1, Apollo reliability Program Plan, 15 May 1963.
 11. **B.M.Tashjian.** The Failure Modes and Effects Analysis as a Design Tool for Nuclear Safety Systems. — IEEE PES Summer Meeting & Energy Resources Conference, Anaheim, California, July 14–19, 1974.
 12. **Onodera K. et al.** Reliability Assessment for Heavy Machinery by HI-FMECA Method. — Annual Reliability and Maintainability Symposium, Philadelphia, Pennsylvania, 1977.
 13. **D.J.Reifer.** Software Failure Modes and Effects Analysis. — IEEE Transactions on Reliability, 1979, v.28, № 3, p.247–249.
 14. **B.G.Dale, P.Shaw.** Failure Mode and Effects Analysis in the U.K. Motor Industry: A State of the Art Study — Quality & Reliability Engineering International, 1990, v.6, p.179–188.
 15. **Kenyon R.L., Newell R.J.** FMEA Technique for Microcomputer Assemblies — Annual Reliability and Maintainability Symposium, Los Angeles, CA, 1982.
 16. **B.Bertsche.** Reliability in Automotive and Mechanical Engineering. — VDI-Buch, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008.
 17. **M.Ainscough, B.Yazdani.** — Concurrent Engineering within British Industry — Concurrent Engineering, 2000, v.8, no.2, pp.2–11.
 18. ISO/IEC 31010:2009, Risk Management — Risk Assessment Techniques.
 19. **R.E.McDermott et al.** The basics of FMEA. — New York: Productivity Press, 2009.
 20. **P.L.Spath.** Using FMEA to improve patient safety — AORN Journal, July 2003, v.78, № 1, p.15–37.
 21. Department of Defense, MIL-HDBK-338B, Electronic Reliability Design Handbook, 1 October 1998.



22. Department of the Army, TM 5-698-4, Failure Modes, Effects and Criticality Analyses (FMECA) for Command, Control, Communications, Computer, Intelligence, Surveillance, and Reconnaissance (C4ISR) Facilities, 29 September 2006.
23. Intel Quality System Handbook, Revision 3, September 2008.
24. National Semiconductor, Quality Policy Manual, (SC)CP-0008, Revision BU, 23 May 2008.
25. NEC Electronics Corporation, Review of Quality and Reliability Handbook, 2006.
26. Sony Corporation, Semiconductor Network Company, Quality and Reliability HandBook, 2000.
27. **F.B.Ahmad et al.** Comparative Study of Quality Practices Between Japanese and Non-Japanese Based Electrical and Electronics Companies in Malaysia: A Survey — Jurnal Teknologi, 2007, v.47(A), p.75–89.
28. National Aeronautics and Space Administration, NASA/SP-2000-6110, Failure Modes and Effects Analysis (FMEA). A Bibliography, July 2000.
29. ГОСТ Р ИСО 9001-2008, Системы менеджмента качества. Требования.
30. **Кочетков Е.П.** О статистических методах при производстве продукции. — Н.Новгород: ООО СМЦ «Приоритет», 2006.
31. **Розно М.И., Касторская Л.В.** Пора заняться техпроцессом. Просто о статистическом взгляде на процесс и методологии SPC. — Н.Новгород: ООО «СМЦ «Приоритет», 2008.
32. **Кочетков Е.П.** Производство без потерь. Система методов — Методы менеджмента качества, 2005, №2, с.41–43; №3, с. 43–46.
33. Диалоги консультанта о предупреждении отказов — «Диалоги консультанта», кн. 6 — Н.Новгород: ООО СМЦ «Приоритет», 2007.
34. **Кочетков Е.П.** Управляйте не браком, а его причинами — Управление производством, 2009, №3–4, с.39–43.
35. МЭК 812. Техника анализа надежности систем. Метод анализа видов и последствий отказов.
36. ГОСТ 27.310-95. Надежность в технике. Анализ видов, последствий и критичности отказов. Основные положения.
37. РД В 319.01.10-95. Руководящий документ. Аппаратура радиоэлектронная. Методические рекомендации по надежно-ориентированному проектированию и изготовлению.
38. ГОСТ Р 51901.12:2007. Менеджмент риска. Метод анализа видов и последствий отказов.
39. **Розно М.И.** Проектирование: с FMEA или без? — Стандарты и качество, 2001, №9.
40. **Липидус В.А.** Всеобщее качество (TQM) в российских компаниях. — Н.Новгород: ООО «СМЦ «Приоритет», 2008.