

УДК 004.05 + 006

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АСУ ТП АЭС: ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ, ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ И ПРОБЛЕМЫ

Е.Ф. Жарко

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН

Россия, 117997, Москва, Профсоюзная ул., 65

E-mail: zharko@ipu.ru

Ключевые слова: обеспечение качества, программное обеспечение, модели качества, АСУ ТП, АЭС.

В докладе рассматриваются аспекты оценки качества программного в части теоретических основ, основных тенденций и проблем в этой области.

THEORETICAL FOUNDATIONS, BASIC TENDENCIES AND PROBLEMS OF ESTIMATING THE QUALITY OF SOFTWARE OF NPP APCS

E.Ph. Zharko

V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of the Russian Academy of Sciences

Russia, 117997, Moscow, Profsoyuznaya Street, 65

E-mail: zharko@ipu.ru

Key words: quality assurance, software, quality models, APCS (automated process control system), NPP (nuclear power plant).

In the paper, aspects of estimating the quality of software are considered in the part of theoretical foundations, main tendencies and problems in this area.

1. Введение

Процесс развития автоматизации сложных технологических объектов с повышенным риском эксплуатации в энергетике и других отраслях характеризуется тенденцией разработки и внедрения в состав штатных средств верхнего уровня автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП) систем информационной поддержки операторов [1].

Системы управления технологическими процессами в последнее десятилетие вышли на качественно новый уровень развития, связанный с возросшим уровнем автоматизации объектов управления и, как следствие, ростом числа диагностических и управляющих сигналов обрабатываемых системой в единицу времени. С другой стороны, практически линейный рост производительности вычислительных систем, которые могут быть использованы в АСУ ТП, позволил реализовать значительно более сложные алгоритмы управления и анализа данных с использованием сложных программно-технических комплексов. Однако, произошедший качественный скачок в составе ре-

шаемых задач, заставил пересмотреть соотношение составляющих жизненного цикла программного обеспечения.

Данные изменения хорошо прослеживаются на примере разработки программного обеспечения для АСУ ТП АЭС с требуемым сроком службы всего АСУ ТП АЭС не менее 30 лет. Это значительно превышает средний достигнутый на данный момент срок службы и хранения технических средств и заставляет уделять больше внимания тщательной разработке этапа модификации и сопровождения разработанного программного обеспечения (ПО) [2].

Обеспечение качества программного обеспечения – непрерывный процесс в течение всего жизненного цикла ПО, который охватывает:

- методы и средства анализа, проектирования и кодирования;
- технические отчеты, выполняющиеся на каждом шаге разработки ПО;
- методику многоуровневого тестирования;
- контроль программной документации и внесенных в нее изменений;
- процедуры обеспечения соответствия стандартам в области разработки ПО, соответствие которым определено в задании на разработку данного ПО;
- алгоритмы измерений и составления отчетов.

Качество программного обеспечения можно определить как соответствие явно установленным функциональным и эксплуатационным требованиям, явно указанным стандартам разработки и неявным характеристикам, которые ожидаются от профессионально разработанного программного обеспечения. Такое определение качества программного обеспечения подчеркивает три важных обстоятельства:

- требования к программному обеспечению – основа относительно которой определяется качество ПО;
- указанные стандарты определяют множество критериев проектирования, которое определяет стиль разработки ПО;
- существует множество неявных требований, о которых часто не упоминается (например, сопровождаемость и модифицируемость). Если программное обеспечение соответствует явным требованиям к его разработке, но не в состоянии выполнить неявные требования, то качество ПО является сомнительным.

Эти обстоятельства наиболее четко прослеживаются применительно к программному обеспечению систем высокой надежности, к которым относятся и подсистемы АСУ ТП АЭС, так как кроме полной корректности, программное обеспечение обладает и другими характеристиками, представляющими интерес потребителя данного ПО, такими как отсутствие ошибок во время выполнения, целостность данных, временные характеристики, точность, корректность типов, завершенность, функциональная надежность, безопасность, сопровождаемость, понятность, модифицируемость и другие.

2. Классификация систем важных для безопасности АЭС

При разработке систем для энергетики, где срок эксплуатации основного оборудования исчисляется десятками лет нужно использовать такие решения в АСУ ТП, которые бы позволяли эксплуатировать, ремонтировать и модернизировать поставленное оборудование без остановки основного технологического процесса. Кроме этого требования, ключевыми требованиями являются обеспечение высокой надежности, живучести и безопасности.

Анализ современных требований, настоящего состояния электроники и программного обеспечения, тенденций развития, позволил сформулировать общий подход к по-

строению систем для энергетики: системы должны строиться на основе либо собственных технологий, либо с использованием заимствованных технологий. При этом заимствованные технологии должны быть подвергнуты процессу адаптации, который должен сделать их прозрачными и управляемыми до такой степени, чтобы поставщик мог распространить на них собственные гарантийные обязательства продолжительностью в несколько десятков лет.

Серия стандартов МАГАТЭ по безопасности [3] устанавливает понятие о классификации систем АЭС в соответствии с их важностью для безопасности. Все устройства, системы и компоненты, включая программное обеспечение для контроля и управления, являющиеся элементами, важными для безопасности определяются, а затем классифицируются на основании выполняемой функции и важности для безопасности. Они проектируются, создаются и обслуживаются таким образом, чтобы их качество и надежность соответствовали данной классификации.

Стандарт [4] расширяет и детализирует классификацию МАГАТЭ, а также устанавливает критерии и способы, которые должны применяться при отнесении функций контроля и управления АЭС к одной из категорий А, В и С в зависимости от важности для безопасности или к неклассифицированной категории для функций, не играющих непосредственной роли в обеспечении безопасности.

Согласно международной классификации [2, 4, 5] различают системы важные для безопасности АЭС с точки зрения категорий функций, выполняемых этими системами:

Категория А – функции, которые играют основную роль в достижении или поддержании безопасности АЭС с целью предотвращения развития аварий до недопустимых последствий.

Категория В – функции, которые играют дополнительную роль по отношению к функциям категории А в достижении или поддержании безопасности АЭС, в особенности функции, необходимые для эксплуатации после достижения контролируемого состояния с целью предотвращения развития проектных событий (ПС) до недопустимых последствий или для смягчения последствий ПС.

Категория С – функции, которые играют вспомогательную или косвенную роль в достижении или поддержании безопасности АЭС.

Но тем не менее в мире не существует единой классификации систем АЭС. В Таблице 1 приведено сравнение классов безопасности систем АЭС, приведенных в различных нормативных документах. В зависимости от класса безопасности на программное обеспечение, разрабатываемого для этих систем накладываются ограничения связанные с применимостью операционных систем, языков программирования, детальностью документирования и т.д.

Таблица 1. Сравнение классов безопасности систем АЭС.

Стандарт	Классы безопасности (степень важности увеличивается слева направо)				
	Класс 4	Класс 3	Класс 2	Класс 1	
ПНАЭГ-01-011 [6]					
IAEA NS-R-1 [3]	Системы, не важные для безопасности	Системы, важные для безопасности		Нет	
		Системы, связанные с безопасностью	Системы безопасности		
ГОСТ Р МЭК 61226-2011 [4]	Неклассифицированные	Класс С	Класс В	Класс А	Нет
IEEE 603 [7]	Не класс 1E		Класс 1E	Нет	

3. Теоретическая основа оценки качества ПО: модели качества

Инженерия разработки программного обеспечения – это применение систематического подхода, стандартов и количественного измерения характеристик ПО к разработке, использованию и сопровождению программного обеспечения. В связи с развитием технологий важность программной инженерии постоянно растет, а соответственно все более востребованным являются методы определения качества программного обеспечения. Сложность процесса разработки и сопровождения программного обеспечения во многом обуславливается особыми требованиями, предъявляемыми к его качеству. Этот фактор обосновывает важность разработки формализованных методов управления качеством ПО. В настоящий момент используются несколько определений понятия качества ПО, которые в целом совместимы друг с другом. Обобщая определения стандартов, можно заключить, что качество программного обеспечения – это способность программного продукта (ПП) к удовлетворению установленных или предполагаемых потребностей при использовании в заданных условиях.

Качество программного обеспечения играет важную роль для всей системы в целом. Так, качество ПО рассматривается как очень важный аспект для разработчиков, пользователей и руководителей проектов. Качество программного обеспечения – величина отражающая в каком объеме в программный продукт включен набор желаемых функций для повышения эффективности ПП в течение жизненного цикла [8]. Для любой системы, использующей программное обеспечение, должны быть разработаны три вида спецификаций, такие как функциональные требования, требования к качеству, требования к ресурсам. Качество включает в себя все характеристики и существенные особенности продукта или его функционирования, которые относятся к удовлетворению заданных спецификациями требований.

Качество является обобщением характеристик или особенностей продукта или работ, которые имеют отношение к способности разработанного продукта удовлетворять заданным требованиям. Качество программного обеспечения можно разделить на две составляющие, такие как качество процедур разработки ПО и качество программного продукта. Разработка программного обеспечения, связывающая такие элементы как технологии, средства, сотрудники, организация и оборудование, рассматриваются в контексте качества процедур разработки ПО. Тем не менее, качество программного продукта состоит из определенных аспектов, таких как ясность документации и целостность, прослеживаемость проекта, надежность ПО и полнота тестирования основных характеристик программного продукта. Модель качества обычно определяется набором характеристик и отношений между ними, которые фактически обеспечивают основу как для определения требования качества, так и оценки качества программного обеспечения [9, 10]. Модель качества также можно определить структурированный набор свойств, которые необходимы для удовлетворения определенных целей [11]. Преимущество модели качества заключается в декомпозиции значимого для программного обеспечения объектов, таких как процессы жизненного цикла, программный продукт, на ряд своих характеристик/подхарактеристик. Качество, кроме описания и измерения функциональных аспектов программного обеспечения также описывает дополнительные функциональные свойства такие как «как был создан программный продукт» и «как он работает».

Пользователи программного обеспечения испытывают потребности в создании моделей качества программного обеспечения для оценки качества как качественно, так и количественно [12]. Модели качества, которые имеются в настоящее время, в большинстве случаев являются иерархическими моделями на основе критериев качества и связанных с ними показателей (метрик). Все модели качества могут быть разделены на три категории в соответствии с методами, на основе которых они были созданы. К первому виду можно отнести теоретические модели, основанные на гипотезе отношений между переменными качества. Ко второму виду относятся модели «управления данными», основанные на статистическом анализе. И наконец, комбинированная модель, в которой интуиция исследователя используется для определения нужного вида модели, а анализ данных используется для определения констант модели качества. Но все эти модели связывают интересы пользователя, т.е. исходящие свойства системы, с внутренними свойствами, которые понятны разработчикам.

В основе моделей качества лежит многоуровневый подход (количество слоев может быть 2 /модели МакКола и Бозма/ или 3 слоя /включая метрики/) (см. рис. 1), т.е. характеристики качества разделены на три группы:

- факторы (*factors*), описывающие ПП с позиций пользователя и задаваемые требованиями.
- критерии (*criteria*), описывающие атрибуты ПП с позиций разработчика и задаваемые как цели.
- метрики (*metrics*), используемые для количественного измерения наличия фактора в системе.

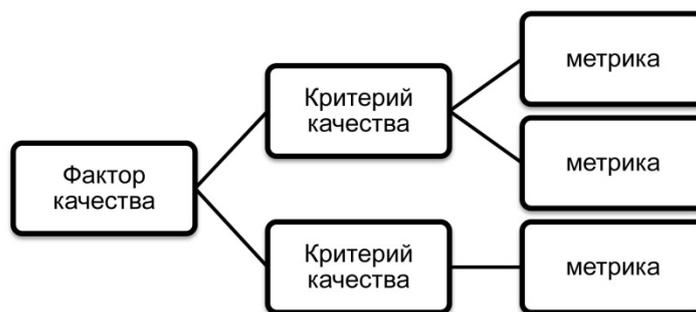


Рис. 1. Структура модели качества.

Сравнительный анализ характеристик различных моделей качества программного обеспечения приведен в таблице 2.

Таблица 2. Сравнительный анализ моделей качества программного обеспечения.

Характеристики качества	МакКол [13-15]	Бозм [16]	FURPS/ FURPS+ [17]	Гецци [18]	Дроми [19]	ISO 9126 [9]	Казман [20]	Хосрави [21]	Шармоа [22]
Корректность				+					
Надежность	+	+	+	+	+	+	+		+
Корректность	+								
Эффективность	+	+	+	+	+	+	+		+
Гибкость	+			+			+	+	
Функциональность			+		+	+	+		+
Эргономичность протестирования		+							

Характеристики качества	МакКол [13-15]	Бозм [16]	FURPS/ FURPS+ [17]	Геци [18]	Дроми [19]	ISO 9126 [9]	Казман [20]	Хосрави [21]	Шармоа [22]
Целостность				+					
Функциональная совместимость	+								
Сопровождаемость	+	+	+	+	+	+	+		+
Модифицируемость		+							
Производительность			+						
Мобильность	+	+		+	+	+			+
Зрелость процесса					+				
Возможность многократного использования	+			+				+	
Устойчивость								+	
Масштабируемость								+	
Безопасность			+				+		
Эксплуатационная пригодность			+						
Тестируемость	+	+					+		
Понятность		+	+						
Практичность	+		+	+	+	+	+	+	+

4. Обеспечение качества ПО

Обеспечение качества программного обеспечения – непрерывный процесс в течение всего жизненного цикла ПО [23], который охватывает:

- методы и средства анализа, проектирования и кодирования;
- технические отчеты, выполняющиеся на каждом шаге разработки программного обеспечения;
- методику многоуровневого тестирования;
- контроль программной документации и внесенных в нее изменений;
- процедуры обеспечения соответствия стандартам в области разработки программного обеспечения, соответствие которым определено в задании на разработку данного ПО;
- алгоритмы измерений и составления отчетов.

Качество программного обеспечения можно определить как соответствие явно установленным функциональным и эксплуатационным требованиям, явно указанным стандартам разработки и неявным характеристикам, которые ожидаются от профессионально разработанного программного обеспечения. Такое определение качества программного обеспечения подчеркивает три важных обстоятельства:

- требования к программному обеспечению – основа относительно которой определяется качество ПО;
- указанные стандарты определяют множество критериев проектирования, которое определяет стиль разработки ПО;
- существует множество неявных требований, о которых часто не упоминается (например, сопровождаемость и модифицируемость). Если программное обеспечение соответствует явным требованиям к его разработке, но не в состоянии выполнить неявные требования, то качество ПО является сомнительным.

Эти обстоятельства наиболее четко прослеживаются применительно к программному обеспечению систем высокой надежности, к которым относятся и подсистемы АСУ ТП АЭС, так как кроме полной корректности, программное обеспечение обладает и другими характеристиками, представляющими интерес потребителя данного ПО, такими как отсутствие ошибок во время выполнения, целостность данных, временные характеристики, точность, корректность типов, завершенность, функциональная надежность, безопасность, сопровождаемость, понятность, модифицируемость и другие.

Программное обеспечение вносит существенный вклад в функции, выполняемые системами важными для безопасности. Программное обеспечение может поддерживать дополнительные функции, введенные в соответствии с проектом разрабатываемой или уже функционирующей системы (например, инициализацию и контроль технического обеспечения, связь между подсистемами и т.д.). Для систем важных для безопасности АЭС жизненный цикл безопасности программного обеспечения тесно связан с жизненным циклом безопасности самой системы, а также спецификация требований к программному обеспечению является частью спецификации системы. На рис. 2 представлены работы, относящиеся к ПО, в жизненном цикле безопасности системы.

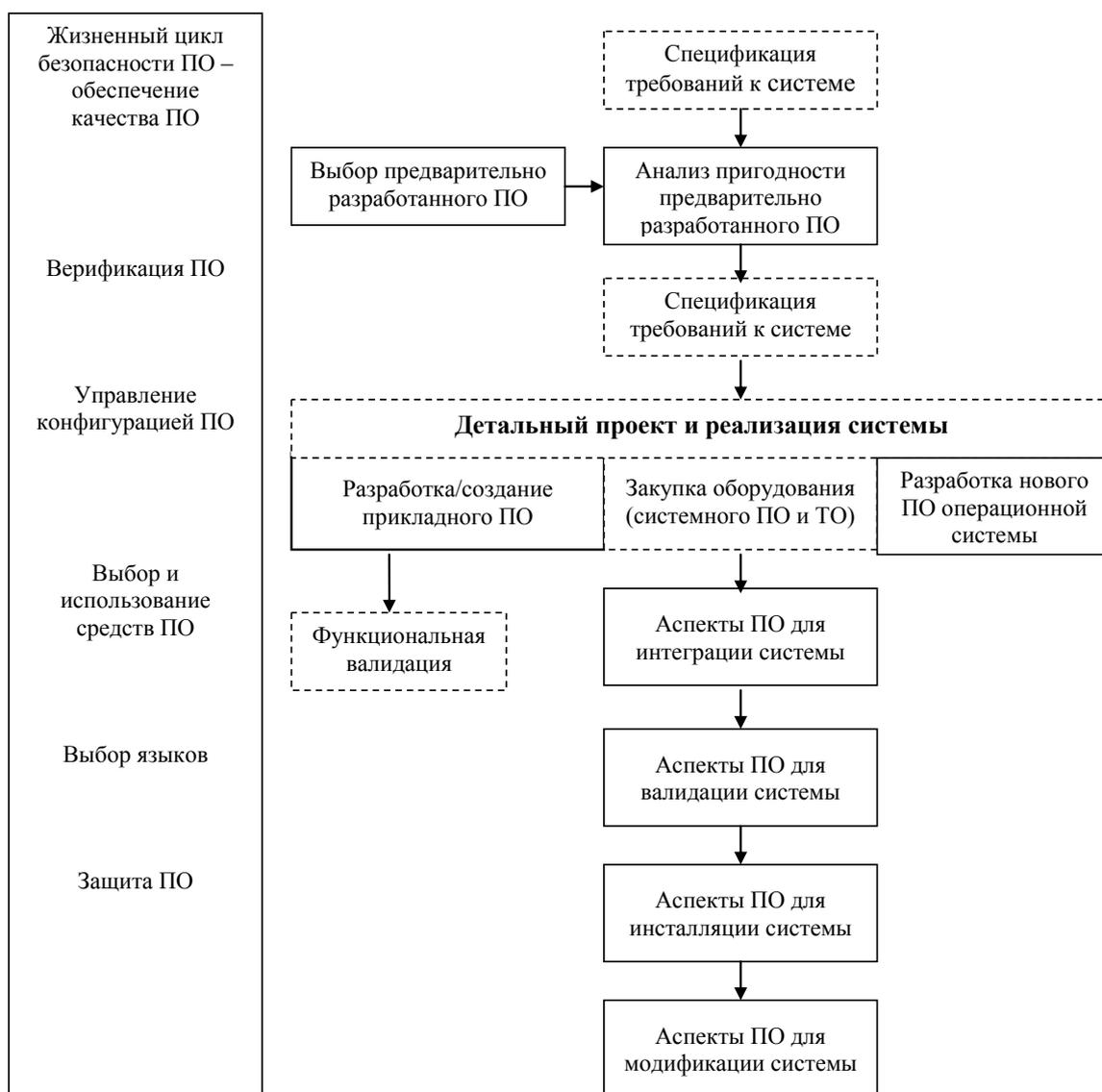


Рис. 2. Работы, относящиеся к ПО, в жизненном цикле безопасности системы.

Любые нарушения в технологическом процессе разработки ПО могут привести к нежелательным результатам:

- удорожание программного продукта из-за увеличения сроков его разработки;
- из-за ошибок, не выявленных при тестировании:
 - как минимум – снижение производительности программного продукта,
 - как максимум – снижение безопасности систем, критичных по безопасности;
- ошибки, непонятные сообщения, недружественный интерфейс и небрежное документирование создают неудобства для пользователей, что приводит их к выбору более качественного продукта конкурента.

Требуемое качество программного обеспечения трудно достичь, т.к. процесс получения требуемого качества ПО затрагивает процесс разработки, методы и управление процессом. Качество ПО достигается благодаря применению методологии разработки и использованию методов верификации и валидации в течение жизненного цикла разработки ПО для систем важных для безопасности АЭС. На рис. 3 представлено место верификации и валидации программного обеспечения в контексте обеспечения качества и иерархии стандартов в области разработки программного обеспечения для систем важных для безопасности АЭС. На рис. 4 представлена практическая иллюстрация V-модели разработки программного обеспечения, наиболее часто применяемая для ПО систем важных для безопасности АЭС. Левая сторона схемы V-модели представляет собой проектирование и верификация, а правая – реализацию и валидацию проекта программного обеспечения.



Рис. 3. Место верификации и валидации программного обеспечения в обеспечении качества ПО систем важных для безопасности АЭС.

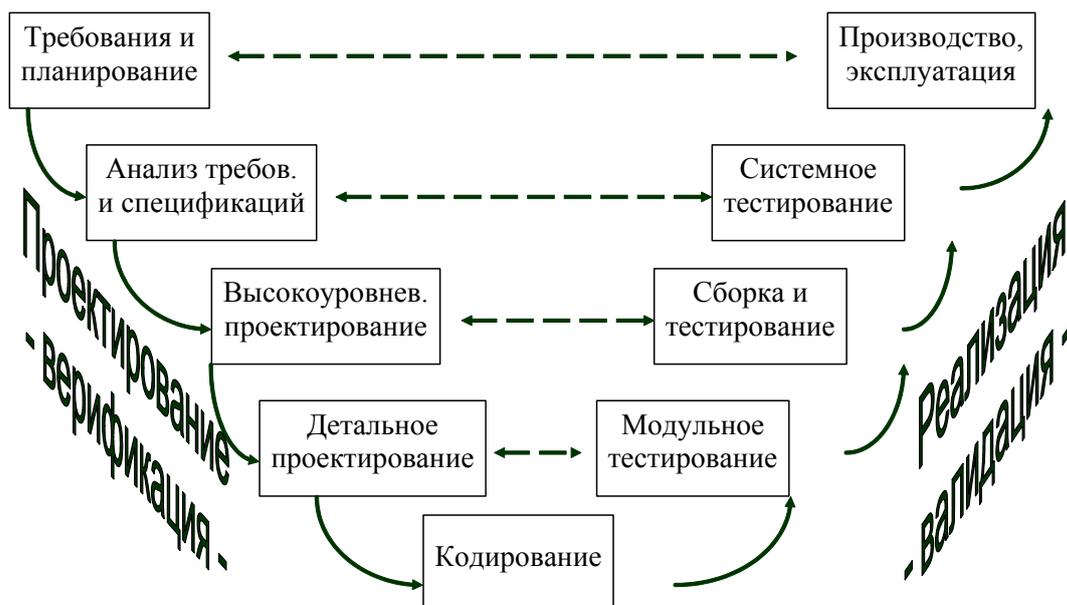


Рис. 4. V-образная модель жизненного цикла программного обеспечения в обеспечении качества ПО систем важных для безопасности АЭС.

5. Стандарты в области обеспечения качества ПО

На современном этапе развития в целях улучшения качества, разрабатываемого программного обеспечения разработаны ряд стандартов и руководящих документов, позволяющих с одной стороны обеспечить прозрачность процедур обеспечения качества ПО, а с другой за счет детальности описания процедур добиться улучшения качества ПО.

В настоящий момент в Российской Федерации и за рубежом действуют следующие стандарты в области качества программного обеспечения:

- **ГОСТ 28195-89.** Оценка качества программных средств. Общие положения [10];
- **ГОСТ 28806-90.** Качество программных средств. Термины и определения [24];
- **ГОСТ Р ИСО/МЭК 9126-93.** Информационная технология. Оценка программной продукции. Характеристики качества и руководства по их применению [28];
- **ISO/IEC TR 9126-1-4:2001-2004.** Software engineering — Product quality.
 - Part 1: Quality model (*Модель качества*) [9],
 - Part 2: External metrics (*Внешние показатели*) [29],
 - Part 3: Internal metrics (*Внутренние показатели*) [30],
 - Part 4: Quality in use metrics (*Качество при использовании показателей*) [31];
- **ISO/IEC 14598-5:1998.** Information technology - Software product evaluation - Part 5: Process for evaluators [32];
- **ISO/IEC 14598-6:2001.** Software engineering - Product evaluation - Part 6: Documentation of evaluation modules [33];
- **ISO/IEC 25000:2014.** Systems and software engineering - Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) - Guide to SQuaRE [34];
- **ISO/IEC 25001:2014.** SQuaRE - Planning and management [35];
- **ISO/IEC 25010:2011.** SQuaRE - System and software quality models [36];
- **ISO/IEC 25012:2008.** SQuaRE - Data quality model [37];

- **ISO/IEC 25020:2007.** SQuaRE - Measurement reference model and guide [38];
- **ISO/IEC 25021:2012.** SQuaRE - Quality measure elements [39];
- **ISO/IEC 25030:2007.** SQuaRE - Quality requirements [40];
- **ISO/IEC 25040:2011.** SQuaRE - Evaluation process [41];
- **ISO/IEC 25041:2012.** SQuaRE - Evaluation guide for developers, acquirers and independent evaluators [42];
- **ISO/IEC 25045:2010.** SQuaRE - Evaluation module for recoverability [43];
- **ISO/IEC 25051:2014.** SQuaRE - Requirements for quality of Ready to Use Software Product (RUSP) and instructions for testing [44];
- **ISO/IEC TR 25060:2010.** SQuaRE - Common Industry Format (CIF) for usability: General framework for usability-related information [45];
- **ISO/IEC 25062:2006.** SQuaRE - Common Industry Format (CIF) for usability test reports [46];
- **ISO/IEC 25063:2014.** SQuaRE - Common Industry Format (CIF) for usability: Context of use description [47];
- **ISO/IEC 25064:2013.** SQuaRE - Common Industry Format (CIF) for usability: User needs report [48];
- **ГОСТ Р ИСО/МЭК 15504-1-3:2009.** Информационная технология. Оценка процесса — Часть 1. Концепция и словарь [49]. Часть 2. Проведение оценки [50]. Часть 3. Руководство по проведению оценки [51]. Часть 4. Руководство по применению для улучшения и оценки возможностей процесса [52];
- **ISO/IEC 15504-5-9:2008-2013.** Information technology — Process assessment.
 - Part 5: An exemplar Process Assessment Model (*Пример модели оценки процесса*) [53];
 - Part 6: An exemplar system life cycle process assessment model (*Пример модель оценки процессов жизненного цикла системы*) [54];
 - Part 7: Assessment of organizational maturity (*Оценка организационной завершенности*) [55];
 - Part 8: An exemplar process assessment model for IT service management (*Модель образца оценки процесса для управления услугами ИТ*) [56];
 - Part 9: Target process profiles (*Профили целевого процесса*) [57].

6. Оценка качества ПО

Качество программного обеспечения определяется в стандартах ISO/IEC 9126-1:2001 [9] и ISO/IEC 25010:2011 [36] как всякая совокупность его характеристик, относящихся к возможности удовлетворять высказанные или подразумеваемые потребности всех заинтересованных лиц.

Различаются понятия внутреннего качества, связанного с характеристиками ПО самого по себе, без учета его поведения; внешнего качества, характеризующего ПО с точки зрения его поведения; и качества ПО при использовании в различных контекстах – того качества, которое ощущается пользователями при конкретных сценариях работы ПО. Для всех этих аспектов качества введены метрики, позволяющие оценить их. Кроме того, для создания надежного ПО существенно качество технологических процессов его разработки. Взаимоотношения между этими аспектами качества по схеме, принятой ISO/IEC 9126 (ISO/IEC 9126-1:2001 [9]; ISO/IEC TR 9126-2:2003 [29], ISO/IEC TR 9126-3:2003 [30], ISO/IEC TR 9126-4:2004 [31]), показано на рис 5.

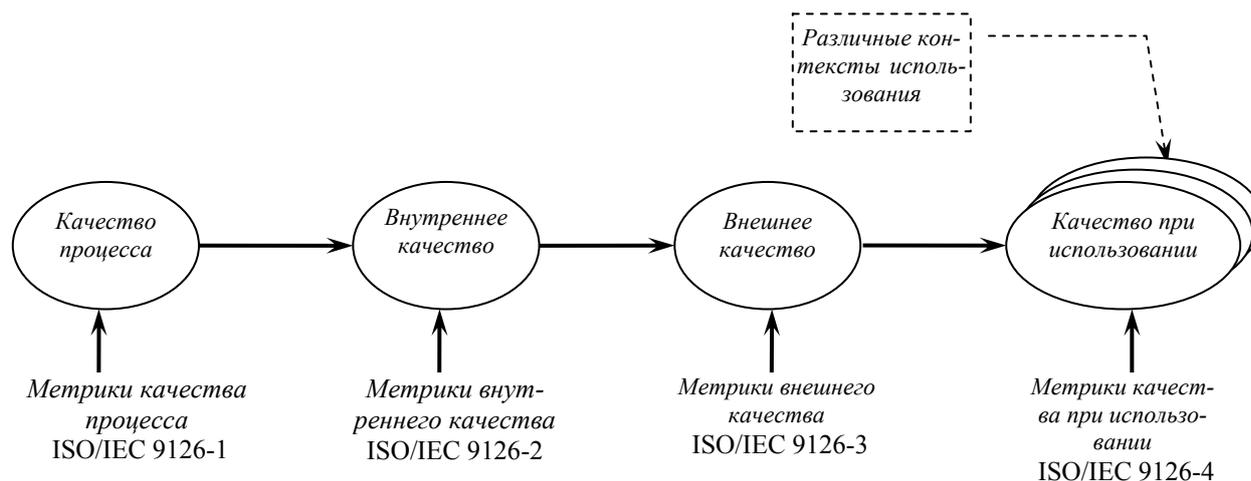


Рис. 5. Основные аспекты качества программного обеспечения по стандартам ISO/IEC 9126-1:2001 и ISO/IEC 25010:2011.

В таблице 3 приведен порядок оценки качества программного обеспечения. Качество ПО можно считать «достаточно хорошим» когда потенциально-положительные результаты создания или использования ПО приемлемо перевешивают потенциально-негативные мнения заказчиков. Такой подход проверяет, с точки зрения традиционного понятия качества ПО, различные варианты реализации. При таком подходе к качеству ПО высокие непроверенные требования заменяются оптимальными. Этот подход сфокусирован на идентифицирующих задачах и улучшении возможностей для принятия решений. Таким образом, проект разработки ПО для систем важных для безопасности АЭС должен быть скорее проблемно-ориентированным, чем целенаправленным на качество ПО. Также можно сказать, что качество ПО, согласно понятию «достаточно хорошее», – оптимальное множество решений данного ряда задач. Такой способ интерпретации должен согласовывать рассматриваемые задачи, вырабатывать компромиссные варианты, противопоставляя их соответствующим процессам жизненного цикла (ISO/IEC 12207:2008).

Таблица 3. Порядок оценки качества программного обеспечения.

Заинтересованные стороны	Этапы жизненного цикла ПО					
	Разработка	Испытания	Тиражирование	Внедрение	Сопровождение	Эксплуатация
Разработчик	Да	Да	Да	Да	Да	Да
Испытательные и сертификационные центры	-	Да	-	Да	-	Да
Пользователь	-	-	-	-	-	Да

Качество является «совокупность характеристик объекта, которые имеют отношение к его способности удовлетворять установленным и предполагаемым потребностям» [9]. Используя термин «удовлетворение», стандарт ISO/IEC 9126 подразумевает «возможности программного обеспечения для удовлетворения пользователей в заданном контексте использования». На рис. 6 представлены факторы и атрибуты внешнего и

- 1) **функциональность**, которая связана с тем, что программное обеспечение делает для выполнения потребностей пользователей как установленных, так и предполагаемых;
- 2) **надежность**, которая связана с оценкой возможностей программного обеспечения поддерживать определенный уровень качества функционирования;
- 3) **удобство использования (практичность)**, которое связано с оценкой того, насколько понятно и пригодно для использования рассматриваемое программное обеспечение;
- 4) **эффективность**, которая связана с оценкой способности программного обеспечения для обеспечения требуемой производительности отнесенной к количеству необходимых ресурсов;
- 5) **сопровождаемость**, оценка связанная с возможностями модификации программного обеспечения;
- 6) **мобильность**, оценка зависимости программного обеспечения от базового программного обеспечения.

Поскольку сфера применения концепции является оценка качества программного кода, то используются только метрики, непосредственно относимые к исходному коду, и в результате некоторые из шести характеристик согласно ISO/IEC-9126 не пригодны для оценки. В частности, такие характеристики как надежность и удобство применения (практичность) исключаются из рассмотрения качества программного кода, так как они больше связаны с динамическим поведением системы в целом. Таким образом, внутреннее качество программного кода оценивается на основе четырех характеристик (функциональность, эффективность, сопровождаемость и мобильность) и соответствующих им подхарактеристиками. Каждая из них характеризуется набором подхарактеристик, которые представлены на рис. 8. Данный комплекс качественных характеристик является достаточно общим, чтобы удовлетворить основную цель этой работы, которая заключается в создании концепции, которая поддерживает систему оценки качества программного кода.

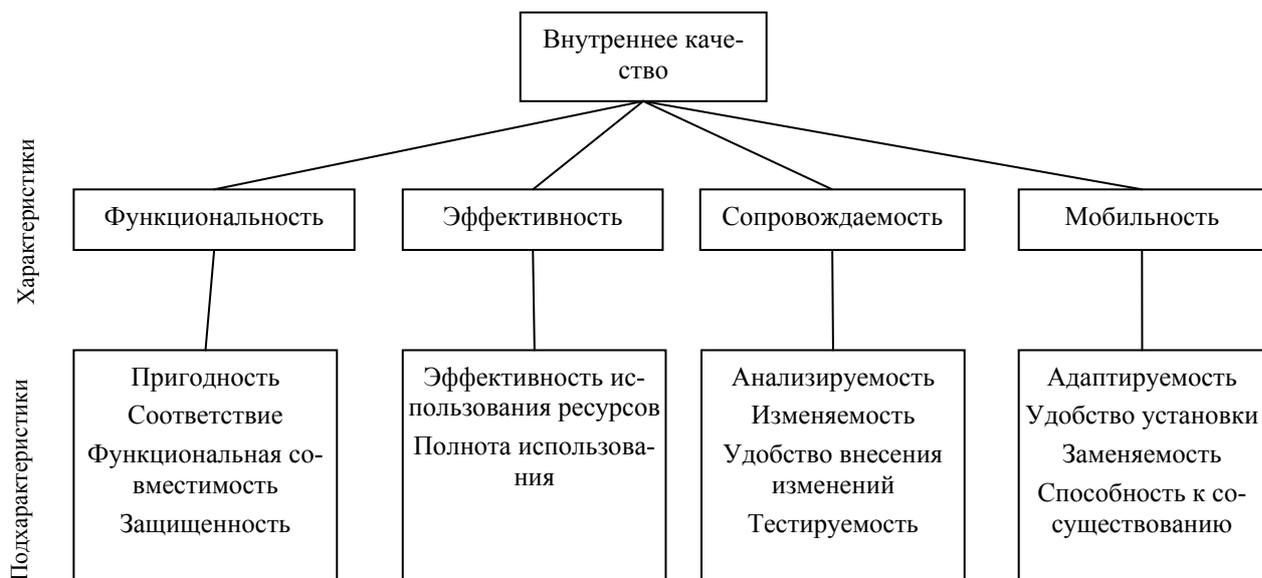


Рис. 8. Внешние характеристики и подхарактеристики согласно серии стандартов ISO/IEC 9126.

Список литературы

1. Бывайков М.Е., Жарко Е.Ф., Менгазетдинов Н.Э., Полетыкин А.Г., Прангишвили И.В., Промыслов В.Г. Опыт проектирования и внедрения системы верхнего блочного уровня АСУ ТП АЭС // Автоматика и телемеханика. 2006. № 5. С. 65-79.
2. Жарко Е.Ф. Оценка качества программного обеспечения систем, важных для безопасности АЭС // Информационные технологии и вычислительные системы. 2011. № 3. С. 38-44.
3. NS-R-1. Безопасность атомных станций: проектирование. Требования // Серия норм МАГАТЭ по безопасности. 2003.
4. ГОСТ Р МЭК 61226-2011. Атомные станции. Системы контроля и управления, важные для безопасности. Классификация функций контроля и управления.
5. Jharko E.Ph. Quality Assurance for Nuclear Power Plant Control System Software // IFAC-PapersOnLine. ISSN: 1474-6670. 2013. Vol.7 | Part# 1. Manufacturing Modelling, Management, and Control. P. 1102-1107.
6. НП-001-97 (ПНАЭ Г-01-011-97). Общие положения обеспечения безопасности атомных станций. ОПБ-88/97. Госатомнадзор России, 1997.
7. IEEE Std 603-2009. IEEE Standard Criteria for Safety Systems for Nuclear Power Generating Stations.
8. Firesmith D.G. Common concepts underlying safety, security, and survivability engineering, Technical Note CMU/SEI-2003-TN-033, Carnegie Mellon Software Engineering Institute. 2003.
9. ISO/IEC 9126-1:2001. Software engineering – Software product quality – Part 1: Quality model.
10. ГОСТ 28195-89. Оценка качества программных средств. Общие положения.
11. Fitzpatrick R. Software Quality: Definitions and Strategic Issues, Staffordshire University, School of Computing Report, 1996. 34 p.
12. Жарко Е.Ф. Сравнение моделей качества программного обеспечения: аналитический подход / XII Всероссийское совещание по проблемам управления. ВСПУ-2014. Москва, 16-19 июня 2014 г.: Труды. М.: ИПУ РАН, 2014. С. 4585-4594.
13. McCall J. A., Richards P.K., Walters G.F. Factors in Software Quality: Concept and Definitions of Software Quality. Final Technical Report. Vol. 1. National Technical Information Service, Springfield. 1977.
14. McCall J.A., Richards P.K., Walters G.F. Factors in Software Quality: Metric Data Collection and Validation. Final Technical Report. Vol. 2. National Technical Information Service, Springfield. 1977.
15. McCall J.A., Richards P.K., Walters G.F. Factors in Software Quality: Preliminary Handbook on Software Quality for an Acquisition Manager. Final Technical Report. Vol. 3. National Technical Information Service, Springfield. 1977.
16. Boehm B.W., Brown J.R., Kaspar H., Lipow M., MacLeod G.J., Merritt M.J.. Characteristics of Software Quality, TRW Series of Software Technology, Amsterdam, North Holland, 1978. 166 p.
17. Grady R.B., Caswell D.L. Software Metrics: Establishing a Company-Wide Program. Prentice-Hall, 1987. 275 p.
18. Ghezzi C., Jazayeri M., Mandrioli D. Fundamental of Software Engineering, Prentice-Hall, NJ, USA. 1991.
19. Dromey G.R. A model for software product quality // Transactions of Software Engineering. 1995. Vol. 21, No. 2. P.146-162.
20. Bass L., Clements P., Kazman R. Software Architecture in Practice. 2nd ed. Addison Wesley. 2003. 528 p.
21. Chang C., Wu C., Lin H. 2008. Integrating Fuzzy Theory and Hierarchy Concepts to Evaluate Software Quality // Software Quality Control. 2008. Vol. 16, No. 2. P. 263-267.
22. Sharma A., Kumar R., Grover P.S. Estimation of Quality for software components: an empirical approach // ACM SIGSOFT Software Engineering Notes. 2008. Vol. 33, No. 6. P. 1-10.
23. ISO/IEC 12207:2008. Systems and software engineering – Software life cycle processes.
24. ГОСТ 28806 90. Качество программных средств. Термины и определения.
25. IEEE Std 1012-2012. IEEE Standard for System and Software Verification and Validation.
26. ГОСТ Р МЭК 60880-2011. Атомные электростанции. Системы контроля и управления, важные для безопасности. Программное обеспечение компьютерных систем, выполняющих функции категории А.
27. ГОСТ Р МЭК 62138-2011. Атомные электростанции. Системы контроля и управления, важные для безопасности. Программное обеспечение компьютерных систем, выполняющих функции категории В и С.
28. ГОСТ Р ИСО/МЭК 9126-93. Информационная технология. Оценка программной продукции. Характеристики качества и руководства по их применению.
29. ISO/IEC TR 9126-2:2003 Software engineering – Product quality – Part 2: External metrics.
30. ISO/IEC TR 9126-3:2003 Software engineering – Product quality – Part 3: Internal metrics.
31. ISO/IEC TR 9126-4:2004 Software engineering – Product quality – Part 4: Quality in use metrics.

32. ISO/IEC 14598-5:1998. Information technology - Software product evaluation - Part 5: Process for evaluators.
33. ISO/IEC 14598-6:2001. Software engineering - Product evaluation - Part 6: Documentation of evaluation modules.
34. ISO/IEC 25000:2014. Systems and software engineering - Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) - Guide to SQuaRE.
35. ISO/IEC 25001:2014. Systems and software engineering - Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) - Planning and management
36. ISO/IEC 25010:2011. Systems and software engineering – Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) – System and software quality models.
37. ISO/IEC 25012:2008. Systems and software engineering - Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) - Data quality model
38. ISO/IEC 25020:2007. Systems and software engineering - Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) - Measurement reference model and guide
39. ISO/IEC 25021:2012. Systems and software engineering - Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) - Quality measure elements
40. ISO/IEC 25030:2007. Systems and software engineering - Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) - Quality requirements
41. ISO/IEC 25040:2011. Systems and software engineering - Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) - Evaluation process
42. ISO/IEC 25041:2012. Systems and software engineering - Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) - Evaluation guide for developers, acquirers and independent evaluators
43. ISO/IEC 25045:2010. Systems and software engineering - Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) - Evaluation module for recoverability
44. ISO/IEC 25051:2014. Systems and software engineering - Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) - Requirements for quality of Ready to Use Software Product (RUSP) and instructions for testing
45. ISO/IEC TR 25060:2010. Systems and software engineering - Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) - Common Industry Format (CIF) for usability: General framework for usability-related information
46. ISO/IEC 25062:2006. Systems and software engineering - Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) - Common Industry Format (CIF) for usability test reports
47. ISO/IEC 25063:2014. Systems and software engineering - Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) - Common Industry Format (CIF) for usability: Context of use description
48. ISO/IEC 25064:2013. SQuaRE - Common Industry Format (CIF) for usability: User needs report
49. ГОСТ Р ИСО/МЭК 15504-1:2009. Информационная технология. Оценка процесса — Часть 1. Концепция и словарь.
50. ГОСТ Р ИСО/МЭК 15504-2:2009. Информационная технология. Оценка процесса — Часть 2. Проведение оценки.
51. ГОСТ Р ИСО/МЭК 15504-3:2009. Информационная технология. Оценка процесса — Часть 3. Руководство по проведению оценки.
52. ГОСТ Р ИСО/МЭК 15504-4:2012. Информационная технология. Оценка процесса — Часть 4. Руководство по применению для улучшения и оценки возможностей процесса.
53. ISO/IEC 15504-5:2012. Information technology — Process assessment. — Part 5: An exemplar Process Assessment Model.
54. ISO/IEC 15504-6:2013. Information technology — Process assessment. — Part 6: An exemplar system life cycle process assessment model.
55. ISO/IEC 15504-7:2008. Information technology — Process assessment. — Part 7: Assessment of organizational maturity.
56. ISO/IEC 15504-8:2012. Information technology — Process assessment. — Part 8: An exemplar process assessment model for IT service management.
57. ISO/IEC 15504-9:2011. Information technology — Process assessment. — Part 9: Target process profiles.